



10º CONGRESSO  
NACIONAL

STAB

20 A 22 DE SETEMBRO DE 2016

RIBEIRÃO PRETO - SP

TRABALHOS APRESENTADOS

## **Apresentação**

Finalizamos o 10º Congresso Nacional da STAB com esta memória que, com certeza, contribuirão com informações valiosas pois registramos os 78 trabalhos científicos/tecnológicos apresentados e as 75 palestras ministradas pelos especialistas convidados.

O que garante o sucesso do congresso, considerado como o melhor evento do setor sucroenergético realizado em 2016, foi justamente a inovação de se mesclar o programa alternando as apresentações de trabalhos selecionados, palestras e conferências. A surpresa e satisfação dos congressistas nos asseguram o êxito de mais essa realização.

Para a Regional Sul da STAB, promotora do Congresso, desde a idealização, preparação, boas vindas até a finalização, contabilizamos apreço, prestígio e motivação.

Outras palavras não cabem que não sejam as de reforçar a nossa satisfação de poder escrever, mais uma vez, outra linha na história dos Congressos da STAB.

Deixamos aqui, os sinais de progresso e inovações cuja execução prática possa redundar naquilo que é a finalidade máxima deste congresso: discutir e ouvir para melhor avançar e progredir.

A Comissão Organizadora do 10º Congresso agradece em nome da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB as instituições apoiadoras e aos voluntários, que atuaram como avaliadores dos trabalhos, coordenadores, palestrantes e conferencistas, bem como aos apresentadores de trabalhos, congressistas, diretorias e equipes de funcionários da STAB e das empresas fornecedoras de serviços, pelo estimável carinho e dedicação.

Esperamos que as atividades do Congresso enriqueçam e tragam subsídios que elevem o padrão de eficiência e produtividade do setor. Nosso objetivo é garantir a proximidade, diversidade, oportunidade de formação, conhecimento, crescimento e investimento nas pessoas.

José Paulo Stupiello  
Presidente Nacional da STAB

## **STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**

### **DIRETORIAS**

#### **DIRETORIA DA STAB NACIONAL E REGIONAL SUL**

Presidente: José Paulo Stupiello - Secretária/Tesoureira: Raffaella Rossetto - Conselheiros: Fernando Antônio da Costa Figueiredo Vicente, Ericson Ap. Marino, Florenal Zarpelon, Márcia Justino Rossini Mutton e Oswaldo Alonso.

#### **REGIONAL CENTRO**

Presidente: Nelson Élio Zanotti - Secretário/Tesoureiro: José de Sousa Mota - Conselheiros: Jaime de Vasconcelos Beltrão Júnior, José Emilio Teles Barcelos, Luiz Antônio de Bastos Andrade, Marcelo Paes Fernandes e Márcio Henrique Pereira Barbosa.

#### **REGIONAL LESTE**

Presidente: Cândido Carnaúba Mota - Secretário/Tesoureiro: Luiz Magno Epaminondas Tenório de Brito - Conselheiros: Antônio José Rosário de Sousa, Celso Silva Caldas, Cícero Augusto Bastos de Almeida, Jorge Sandes Torres e Meroveu Silva Costa Júnior.

#### **REGIONAL SETENTRIONAL**

Presidente: Djalma Euzébio Simões Neto - Secretário/Tesoureiro: Tiago Delfino de Carvalho Filho - Conselheiros: Antônio José Barros Lima, Emídio Cantídio Almeida de Oliveira, Henrique Joaquim Ferreira Cruz Filho, Jair Furtado Soares de Meireles Neto e Marlene de Fátima Oliveira.

#### **CONSELHOS ESPECIAIS DA STAB NACIONAL**

Antonio Maria Cardoso Rocha, Aloysio Pessoa de Luna, Carlos Alberto Cruz Cavalcanti, Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa, Giovani Cavalcante de Albuquerque, Guilherme Barreto do Livramento Prado, João Guilherme Sabino Ometto, João Gustavo Brasil Caruso, José Adalberto de Rezende, José de Sousa Mota, José Paulo Stupiello, Luiz Antonio Ribeiro Pinto, Luiz Chaves Ximenes Filho, Paulo de Campos Torres de Carvalho, Raffaella Rossetto e Sérgio Bicudo Paranhos.

#### **REGIONAL CENTRO**

Adilson Vieira Macabu, Aldo Alves Peixoto, Carlos Alberto Barbosa Zacarias, Cláudio Martins Marques, Fernando de La Riva Averhoff, James Pimentel Santos, José Adalberto de Rezende, José de Sousa Mota e Vidal Valentin Tuler.

#### **REGIONAL LESTE**

Alfredo Durval Villela Cortez, Antonio Maria Cardoso Rocha, Cariolando Guimarães de Oliveira, Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa, Giovani Cavalcante de Albuquerque, Luiz Chaves Ximenes Filho, Paulo Roberto Maurício Lira e Roberto Gomes Macias.

#### **REGIONAL SETENTRIONAL**

Adailson Machado Freire, Aloysio Pessoa de Luna, Carlos Alberto Cruz Cavalcanti, Carlos Eduardo Ferreira Pereira, Carlos Eduardo Lins e Silva Pires, Francisco de Melo Albuquerque, João Isaac de Miranda Rocha, Josué Felix Ferreira, Marcos Ademar Siqueira e Ricardo Otaviano Ribeiro de Lima.

#### **REGIONAL SUL**

Guilherme Barreto do Livramento Prado, Homero Correa de Arruda Filho, João Guilherme Sabino Ometto, João Gustavo Brasil Caruso, José Paulo Stupiello, Luiz Antonio Ribeiro Pinto, Paulo de Campos Torres de Carvalho, Paulo Nogueira Junior, Raffaella Rossetto e Sérgio Bicudo Paranhos.

## **Comissão Organizadora do 10º Congresso Nacional da STAB**

**Coordenador Geral:** José Paulo Stupiello

**Coordenadora da Secretaria/Tesouraria:** Raffaella Rossetto

**Coordenação de Comissões:**

**Promoção, Publicação e Divulgação:** Maria de Fatima P. Tacla, Diego Lopes e Bruno Yamanaka

**Inscrições:** Bruna Rando e Alessandra Medeiros

**Comissão Técnica:** Coordenador José Paulo Stupiello

**Assessores:** Raffaella Rossetto, Roberto Giacomini Chapola, Monalisa Sampaio Carneiro, Hermann Paulo Hoffmann, Paulo Roberto de Camargo Castro, Ericson A. Marino, Claudimir Pedro Penatti, André Cesar Vitti, Fabio Luis Ferreira Dias, Edgar Gomes Ferreira de Beauclair, Ivan Chaves de Sousa, Silvio Roberto Andrietta, Heitor Cantarella e Érika Nogueira de Andrade Stupiello.

**Coordenadores de Sessões:** Djalma Euzébio Simões Neto, Ericson A. Marino, Fernando Antonio da Costa Figueiredo Vicente, Jaime Finguerut, João Gustavo Brasil Caruso, Marcia Justino Rossini Mutton, Marcos Antonio da Fonseca Viana, Miguel Angelo Mutton, Nelson Elio Zanotti, Oswaldo Alonso, Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo, Raffaella Rossetto, Rodrigo Gazaffi, Tiago Delfino de Carvalho Filho e Victorio Laerte Furlani Neto.

**Relação de Apoio Institucional:** CANAOESTE, CANAPLAN, COPLACANA, CEISE, CTC, CPQBA/UNICAMP, CTBE, DATAGRO, EMBRAPA, ESALQ/USP, IAC, ORPLANA, RIDESA, UNESP, UNICA

# Relação dos Participantes do 10º Congresso Nacional da STAB

## BRASIL

**ALAGOAS:** Celso Silva Caldas, João Messias dos Santos, Jorge Sandes Torres, José Roberio Cavalcante da Silva, Tassiano Maxwell Marinho Camara, Vera Lucia Dubeux Torres.

**DISTRITO FEDERAL:** Nericlenes Chaves Marcante, Thomaz Adolpho Rein, Vinicius Bof Bufon.

**GOIÁS:** Jose Antonio Toniello, Lays Fabiana Dos Santos Costa, Marcelo Menezes Leite, Mariana Guimarães Silva, Ricardo Steckelberg, Walter Ventura Ferreira Junior

**MINAS GERAIS:** Adriano Cirino Tomaz, Afonso Da Costa Freitas, Ana Carolina Marostica Lino, Ana Claudia Dos Santos, André Luiz Mendes De Souza, Antonio Luiz Gazon, Artur Fernando Teixeira, Bruno Nicchio, Cícero Henrique Da Silva Neto, Fernando Cesar Calsoni, Gaspar Henrique Korndorfer, Gustavo Alves Santos, José Willams Da Silva Luz, Laerte Rocha Neves Pinto, Lucas Marins Rezende, Maiara Andrade Soares, Mateus Teles Vital Goncalves, Osania Emerenciano Ferreira, Oscar Ramiro Carrasque, Thiago Prudente Siqueira, Osvaldo Arce De Brito.

**PARAÍBA:** Erika Adriana de Santana Gomes, Solange Maria de Vasconcelos

**PERNAMBUCO:** Fernando Medeiros de Albuquerque

**PARANÁ:** Gisele Silva de Aquino

**RIO DE JANEIRO:** Ademario Afonso de Araujo Filho, Saulo Italo de Almeida Costa

**SÃO PAULO:** Achilles Aparecido Mollon, Adolfo Bergamo Arlanch, Adonis Arlindo de Camargo, Adriana Antonioli, Alessandra Durigan Alessandra Malagutti Feijó, Alex Roger Mendes, Alexei Barban do Patrocinio, Aline Costa de Almeida, Aline da Silva Bernardo, Aline Ferreira Silva, Almir Aparecido Torcato, Álvaro Sanguino, Ana Paula Contador Packer, Ana Paula Rodrigues de Oliveira, Andre Bosch Volpe, André Elia Neto, Andre Luis Silverio Mendes, André Vitti, Andrea Maria Sabiao, Andreia Vital, Antonio Alberto Stuchi, Antonio Carlos Cussiol Junior, Antonio Celso Joaquim, Antonio Celso Milan, Antonio Cesar Salibe, Antonio Francisco Pino Junior, Antonio Leandro Pagotto, Antonio Luiz Arraes de Castro Pereira, Antonio Pedro Teixeira de F de O Costa, Ariani Garcia, Aristides Bobroff-Maluf Arnaldo Antonio Bortoletto, Augusto Yukitaka Pessinatti Ohashi, Benito Felet Junior, Breno Henrique de Souza, Bruna Fernanda de Sousa Roque, Bruno Bernardes de Souza, Bruno Colling Klein, Bruno Henrique Silveira Mazon, Camila Beig Jordão, Camila Diniz Junqueira Carlos Alberto Mathias Azania, Carlos Alberto Pavanello Ortega, Carlos Alberto Pedrosa, Carlos Alexandre Costa Crusciol, Carlos Eduardo Vaz Rossel, Carlos Magno Evangelista, Carolina Oliverio, Carolina Pereira Gil, Catharina Pomim, Celso Albano de Carvalho, Celso Luiz Deliberto, Celso Paschoal, Celso Procknor, Celso Torquato Junqueira Franco, Cesar Augusto Santana, Cicero Junqueira, Cintia Franco, Claudimir Pedro Penatti, Claudio Henrique M Silva, Cleber de Moraes Hervatin, Cristhyane Millela de Freitas, Cristiano Rodrigo Quarantani, Cristina Saipp, Daniel Bolsoni, Daniel Nunes da Silva, Daniel Vitor Antunes, Daniela Moraes Pedrosa, Danilo Eduardo Cursi, Danilo Fonseca Mazoni, Danilo Manfrim, Danilo Tostes, Davi Gabriel Mariotto, Décio de Freitas, Dejanira Matsuoka, Diego Oliveira, Djalma Euzébio Simões Neto, Éder Antonio Gigliotti, Edgar Gomes Ferreira de Beauclair, Edivaldo Ferezini Filho, Edson Fernandes Junior, Edson Rodrigues da Silva, Eduardo Calichman, Eduardo Munhoz, Eduardo Ribeiro de Castro, Eduardo Vasconcellos Romão, Edvan Paulo Virberto Nicolini, Egon Scheiber, Elaine Dinorah Antunes de Oliveira, Elder Polo Zuza, Eliana M. Trivelin, Elke Meirelles, Eni Leila Costa Morsoletto, Enrico de Beni Arrigoni, Ericson Marino, Erika Scaloppi, Evandro Aparecido Carriel, Fábio Cesar da Silva, Fabio Guedes Dela Marta, Fábio Luis Ferreira Dias, Felipe Fragoso, Felipe Silveira, Felipe Wadhy Rebehy Bonini, Fernanda Penariol, Fernando Antonio da Costa Figueiredo Vicente, Fernando Aparecido Liotti, Fernando Cesar Bertolani, Fernando Cullen Sampaio, Fernando Enrique Yoshio Uema, Fernando Guerra, Filipe Aurélio Morsoletto, Filipe Jose Almeida Arruda, Flavio Mundim Rezende, Florenal Zarpelon, Francisco Eduardo A.J. Spadoni, Francisco Gheler Costa, Francisco Trindade Tatit, Gabriel Alves Godoy, Gabriela Aferri, Gabriela Ferraz de Siqueira, Gil Germano Percin, Gilberto Zanardo, Gilmar Galon, Gilvanize Maria de Luna, Giovanni Cesar Mossin, Giuliano da Costa Sanital, Godofredo Cesar Vitti, Guilherme Adalberto Ferreira Castioni, Guilherme Barretto do Livramento Prado, Guilherme Dumit, Guilherme José Baltazar Fernandes, Guilherme Lima Mantovani, Guilherme Martineli Sanches, Guilherme Massarani Ramos, Guilherme Nastari, Guilherme Procópio Heitor de Mendonça, Guilherme Urach Ferreira, Gustavo Afonso Junqueira, Gustavo Henrique Gravatin Costa, Gustavo Procopio de Araujo Fiori Cansian, Gustavo Righetti Dal Bello, Hamilton Seron Pereira, Heinz Theodoro Koch, Heitor Cantarella, Heiver Perea Valencia Helena Junqueira Franco, Helio do Vale Junior, Henrique Coutinho Junqueira Franco, Henrique Ziani de Cerqueira Luz, Hermann Paulo Hoffmann, Hermas Amaral Germeck, Hugo de Souza Dias, Ideraldo Luis Cibim, Iracema Alves Manoel Degaspari, Ismael Perina Junior, Iso Lima Brasil, Ivan Antonio dos Anjos, Ivan Barcellos Dalri, Ivan Chaves, Ivan Ferraz Correa, Ivan Pinheiro, Ivan Tilelli Burjaili, Ivo Francisco Bellinaso, Izaías Pinheiro Lisboa, Jader Sahade da Silva, Jahiz Cosmas Soucouroglou, Jaime Finguerut, Jaime Jose Stupiello, Jair Godoy Junior, Jairo Mazza, Jefferson Viana dos Santos, João Carlos De Souza, Joao Carlos Mazoni, Joao Carlos Miranda, Joao Carlos Rocha Abdo, João Domingos Rodrigues, Joao Francisco Antonio Maciel, Joao Gustavo Brasil Caruso, João Luís Nunes Carvalho, João Rossi Neto, Joao Valdir Sverzut Junior, Jorge Augusto Dietrich Ayala, Jorge Luis Donzelli, Jorge Luiz Scaff, Jose Rodolfo Penatti, José Alencar Magro, José Antonio de Souza Rossato Junior, Jose Carlos Domingues, José Darciso Rui, José Gerardo Espinoza Veliz, Jose Luis Moretti, José Luiz Gonzaga da Silva, José Luiz Ioriatti Demattê, José Luiz Papa, José Octávio Torres Rocca, José Olavo Bueno Vendramini, Jose Paulo Stupiello, José Tadeu Coleti, Jose Valter Tormes, Josiane Pomim, Juarez Rodolfo Feliciano, Juliana Pelegrini Roviero, Julio Cesar Garcia, Julio Cesar Zambão, Julio Marcos Campanhão, Karen Caroline Martins, Kauê Piccoli Ferreira, Larissa Pereira Lima, Lauren Maine Santos Menandro, Leandro Aparecido Pereira de Arruda, Leandro Carneiro Barbosa, Leandro Carolino Gonzaga, Leandro Lance, Leandro Leal Suppia, Leandro Reis da Silva, Leila Dinardo, Leonardo Lucas Madaleno, Leonardo Parente Buranello, Leontino Balbo Junior, Letícia Fernanda Tralli, Líbia Belisário Silva, Lidiane Carine Garzon, Lígia Helena Sordi, Lucas Aguilar Cortez, Lucas Aparício Castelli, Lucas Kellner, Lucas Lopes, Lucas Mina Viana, Lucas

Rossanez da Silva, Lucas Sant'Anna Trevizan, Luciana de Oliveira Souza Anjos, Luis Alberto Manoel, Luis Aparecido Fernandes, Luis Augusto Contin Silva, Luis Carlos Junco Filho, Luís Cortez, Luis Fernando Sanglade Marchiori, Luis Guilherme Polizel Libardi, Luis Gustavo Zanuzzi Inforçato, Luiz Alberto Gonçalves Bortoletto, Luiz Antonio de Melo Ferracciú, Luiz Antonio Magazoni, Luiz Antonio Manfrim, Luiz Carlos Basso, Luiz Carlos Bortoletti, Luiz Carlos Correa Carvalho, Luiz Carlos Dalben, Luiz Carlos de Almeida, Luiz Eduardo Toledo, Luiz Francisco Lomonaco Ferreira da Silva, Luiz Gustavo Junqueira Figueiredo, Luiz Octávio Junqueira Figueiredo, Manoel Carlos de Azevedo Ortolan, Manoel Regis Lima Verde Leal, Marcel Fernando da Silva, Marcel Tomaz Arantes, Marcelo Nishida, Marcelo Paes Fernandes, Marcelo Pinto de Moraes, Marcelo Vieira, Marcia Justino Rossini Mutton, Marcio Nunes, Marco Gonzalez, Marco Jorge Zimak, Marco Lorenzo Cunali Ripoli, Marcos Antônio da Fonseca Viana, Marcos Antônio Françaia, Marcos Antonio Marcari, Marcos Guimarães de Andrade Landell, Marcos Nishi, Marcos Vinicius Junqueira Domingues, Maria Augusta Slobodian Motta, Maria da Graça Stupiello Andrietta, Maria Leticia Guindalini Melloni, Maria Luiza Barbosa, Maria Sueli Mazza, Mario Henrique Miayesi, Mario Ortiz Gandini, Marisol Ap. Camolez, Matheus Uzelotto Lopes, Mathias Ambrozio da Silva, Maurilio Bianchini, Mauro Alexandre Xavier, Maximiliano Salles Scarpari, Michender Werison Motta Pereira, Miguel Angelo Mutton, Miguel Angelo Nappo Guazzelli, Mirela Peroni Garcia, Miriam Büchler Tarumoto, Miriam Roberta Henrique, Modesto Barreto, Mônica Bergamaschi, Murillo Savagnago Peticarari, Neivaldo Bittante, Nelson Elio Zanotti, Newton, Ney Prieto Peres, Nilton Albino Filho, Nilton Degaspari, Nilza Patrícia Ramos, Odair Bison, Olivia Junqueira Franco, Orivaldo Brunini, Oscar Braunbeck, Osmar Figueiredo Filho, Oswaldo Alonso, Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo, Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, Paulo de Araujo Rodrigues, Paulo de Tarso Delfini, Paulo Eduardo Martins Miguel, Paulo Henrique Pizzi de Santi, Paulo Henrique Vilas Boas Freitas, Paulo Montaboni, Paulo Paulista Leite Silva Junior, Paulo Roberto de Camargo Castro, Paulo Roberto Gallo, Pedro Henrique Costa de Mattos, Pedro Luiz Soares, Piter Barbosa, Rafael de Araujo Borges, Rafael Goncalves Peluco, Raffaella Rossetto, Raquel Castellucci Caruso Sachs, Reinaldo Scherner, Renan Batistella Trevizan, Renata Junqueira, Renato Populin, Renato Zapparoli, René de Assis Sordi, Ricardo Brunelli, Ricardo Curione Zion Almeida, Ricardo Pinto, Roberto Avalloni de Moraes, Roberto Rodrigues, Rodrigo de Souza Pinto, Rodrigo Gazaffi, Rodrigo Nogueira, Rogério Stenico Ferraciú, Rômulo Henrique Petri, Ronaldo Mineto, Rubens Leite do Canto Braga Junior, Rubismar Stolf, Salvador Baggio Neto, Samira Domingues Carlin Cavallari, Sérgio Antônio Veronez de Sousa, Sérgio Gustavo Quassi de Castro, Sergio Luiz Franco de Camargo, Sérgio Santo Luiz, Sidnei Brunelli, Sílvio A. Mesquita Carreira, Silvio Roberto Andrietta, Sinesio Antonio Guedes, Sizuo Matsuoka, Tamires Calabria, Tamires Esther Ferreira, Tércio Marques Dalla Vecchia, Terezinha de Fátima Cardoso, Thaís de Campos, Thiago Antonio Basso do Prado, Thiago Aziz Trevisan, Thiago Bernardi Verri, Thiago Ferreira Guerra, Thiago Fortunato, Thiago Rossi, Tiago Delfino de Carvalho Filho, Udo Rosenfeld, Valdir Aparecido da Silva, Valéria Aaprecida Berto Isola, Valéria Aaprecida Berto Isola, Valquiria da Veiga Balvedi, Vani Zarpelon, Vera Sales Furlani, Victor Hugo Pavelqueires da Silva, Victor Toshimi Shiraishi, Victório Laerte Furlani Neto, Viviane Raquel de Souza Perri Paro, Wesley Guidugli Teodoro, William José Dellabiglia, William Lee Burnquist, Wokimar Teixeira Garcia, Zailer Astolfi Filho, Zaqueu Fernando Montezano.

## **EXTERIOR**

**COLOMBIA:** Heiver Perea Valencia, Jesus Eliecer Larrahond

**COSTA RICA:** Carlos Saenz

**GUATEMALA:** Gerald Philip Luttmann Ruggeri, Milton Cifuentes, Mynor Rolando Estrada

**PARAGUAI:** Jorge Anibal Bonzi Campos

## ÍNDICE

### MELHORAMENTO

Revisão do índice de concentração varietal para cana-de-açúcar.....12

Cinquenta anos de contribuição da Serra do Ouro para o desenvolvimento de variedades RB de cana-de-açúcar .....17

Análise de trilha visando seleção de genótipos com elevado rendimento de sacarose em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar.....21

Evolução do cultivo de variedades dos tipos de cana-de-açúcar em Alagoas de 1970 a 2015 .....27

Identificação de cruzamentos promissores de cana-de-açúcar, fase um de seleção (FS1), com base nos teores de BRIX do caldo, determinado no campo .....31

### REGULADORES DE CRESCIMENTO

Aplicação de etefom em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) visando qualidade tecnológica da matéria-prima .....36

Resposta de maturadores sobre a produtividade e rendimento do açúcar em diferentes cultivares de cana-de-açúcar .....39

Bioestimulantes no perfilhamento, produção e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.....42

Uso de maturadores à base de silício e boro na cultura da cana-de-açúcar .....47

Variáveis fisiológicas da cana-de-açúcar fertirrigada com diferentes doses de n-fertilizante e inoculadas com bactérias diazotróficas .....54

### NUTRIÇÃO

Manejo da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar de acordo com a época de colheita no centro sul do Brasil .....59

Avaliação da produtividade agrícola da cana-planta e as soqueiras sob diferentes espaçamentos e arranjos entre plantas .....65

Acúmulo de matéria seca e nitrogênio em cana-de-açúcar fertirrigada com diferentes doses de N e inoculadas com bactérias diazotróficas .....70

Efeitos da aplicação de vinhaça “*in natura*” ou concentrada associada ao n-fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar .....74

Eficiência de uso de nitrogênio em genótipos de cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento .....79

Formas de aplicação de n-fertilizantes em soqueira de cana-de-açúcar.....84

### FITOSSANIDADE

Determinação da dose letal de irradiação em gemas germinadas de cana-de-açúcar (*Saccharum Spp*) .....89

Investigação do perfil de metilação de duas cultivares de cana-de-açúcar sob infecção com o Sugarcone mosaic virus (SCMV)- RIB1.....92

Reação de genótipos de cana-de-açúcar a *Meloidogyne javanica*.....96

### FITOTECNIA

Densidade aparente em latossol vermelho cultivado com cana-de-açúcar com biofertilizante líquido .....101

Impacto na produtividade da cana-de-açúcar em nitossolo com horizonte a preservado e erodido.....105

Impacto das épocas de corte na produtividade da cana .....108

Contribuições do preparo do solo para a produção e acúmulo de carbono na biomassa da cana-de-açúcar, sob plantio de novembro em Guaíra-SP.....113

Uran como fonte de nitrogênio na soqueira de cana .....117

Eficiência do fertilizante organomineral e micronutrientes quelatizados aplicados via foliar em cana-de-açúcar .....123

Modelagem de sistemas de produção e previsibilidade da produtividade de biomassa energética e de alimentos em rotação na reforma do canal, na plataforma CropSyst .....127

Modelagem matemática associada ao banco de dados na estimativa da safra canavieira .....133

Ausência de efeito residual do nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar em ensaio de longa duração .....136

Produção de cana-de-açúcar e extração de macronutrientes em experimento de longo prazo associado a doses de N .....142

## **AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Determinação de grade amostral de solo por meio de ferramentas de agricultura de precisão baseada na variabilidade espacial da argila.....150

Produção de colmos e biomassa radicular em diferentes espaçamentos de plantio da cana-de-açúcar .....155

Produtividade de cana-de-açúcar e biomassa de raízes em diferentes configurações de plantio e tráfego de máquinas .....160

Efeito da rotação de culturas e do preparo do solo na biomassa radicular da cana planta.....166

Variação do número de máquinas e implementos agrícolas com a área de produção das unidades de açúcar e álcool e o Proálcool .....171

## **IRRIGAÇÃO E FBN**

Acúmulo e partição de biomassa da cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos na região no cerrado.....178

Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar fertirrigada com diferentes doses de N e inoculadas com bactérias diazotróficas .....184

Inoculação de *Azospirillum brasiliense* na produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.....188

Aplicação foliar de fertilizantes no desenvolvimento, produção e qualidade de soqueira de cana-de-açúcar .....192

Avaliação de soqueira de cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas no plantio .....197

## **PRAGAS**

Avaliação da resistência de progênies de irmãos completos à broca-da-cana .....203

Parâmetros genéticos e seleção de clones de cana-de-açúcar para resistência à broca-da-cana .....207

## **MPB**

Crescimento e eficiência no uso da água de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em diferentes substratos .....212

Avaliação morfológica e nutricional de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes substratos .....217

Cana-de-açúcar para a produção de material de propagação nos sistemas de mudas pré-brotadas (MPB) e tradicional.....221

Avaliação de substratos para produção de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.....224

Produtividade de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de N no sistema de plantio com mudas pré-brotadas .....228

Produtividade de cana-de-açúcar em fases iniciais de seleção de programa de melhoramento genético utilizando o método de multiplicação por mudas pré-rotadas .....234

Mudas pré-brotadas (MPB) e produtividade de cana-de-açúcar .....238

Fertilizantes de liberação controlada na formação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar .....241

Influência da arquitetura do Dossel, população e espaçamento entre as linhas e distância entre mudas pré-brotadas na produtividade agrotecnológica da cana-de-açúcar .....245

Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência sobre mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar .....249

## **SORGO**

Avaliação da enzima  $\alpha$ -amilase no tratamento do caldo de sorgo sacarino .....254

Avaliação da produtividade agrotecnológica do sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura e sistema de plantio na reforma do canavial .....259

Caracterização químico-tecnológicas de cultivares de sorgo sacarino com desponte de panículas.....263

## **INDUSTRIAL**

Uso da água condensada da vinhaça concentrada na diluição do mosto e influência no processo fermentativo .....268

Aplicação do carvão vegetal para tratamento da vinhaça e uso do filtrado na fermentação etanólica .....272

Floculantes orgânicos no tratamento do caldo de cana .....276

Evaporador de tubo longo EVTL - uma interessante alternativa para evaporadores de caldo de cana .....280

Aplicação de  $\alpha$ -amilase no processo e residual zero de enzima no açúcar .....286

Avaliação do açúcar comercial por granulometria e filtrabilidade .....291

## **PALHA**

Análise de viabilidade econômica do recolhimento e uso da palha de cana-de-açúcar .....296



Quantidade de palhada retirada do solo e impactos no sistema radicular e produtividade de cana-de-açúcar.....301

## MATÉRIA-PRIMA

Colheita mecanizada de cana bisada: influência na qualidade da matéria-prima.....306

Adição de impurezas vegetais na cana crua e influência na qualidade do caldo e da cana.....310

Armazenamento da cana crua picada e efeito sobre a qualidade do caldo e da cana.....314

## DIVERSIFICAÇÃO

Co-digestão anaeróbia e potencial de produção de biometano de vinhaça e torta de filtro.....319

Caracterização do melão de cana-de-açúcar para aproveitamento como nutriente de microrganismos produtores de celulase.....324

Multiplificação de *Rhodotorula rubra* em meio de glicose, suplementado com micronutrientes para produção de carotenóides.....328

Desenvolvimento de uma rota tecnológica para produção de etanol celulósico de segunda geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar.....332

Uso do efluente da produção de biogás para diluição do mosto de melão e influência na fermentação.....337

Torta de filtro in natura e compostada como substrato para produção de biometano .....341

Emissões de CO<sub>2</sub> observadas durante a reforma de canavial .....345

O programa nacional do álcool, proálcool – breve histórico década a década do etanol no Brasil .....349

Eficiência e rendimento industrial das usinas .....353

Avaliação operacional de centrais cogeneradoras de energia visando maximizar a eficiência energética das plantas industriais .....359

Uso do eucalipto na entressafra do setor sucroenergético .....365

Inovação biológica e a evolução da produtividade da cana de açúcar no Estado de São Paulo .....370

Gestão Sustentável da Reversão Produtiva do Complexo Sucroenergético do Nordeste do Brasil: Redimensionamento do Espaço Canvaieiro de Alagoas .....375

## ÍNDICE DE AUTORES

A. A. F. Garcia, 21  
A. Antonioli, 65  
A. B. Arlanch, 54, 184  
A. B. do Patrocínio, 332  
A. Bobroff-Maluf, 365  
A. Bonomi, 296  
A. C. B. Cunha, 301  
A. C. P. de Vasconcelos, 47  
A. C. S. Zina, 217  
A. C. Tomaz, 203, 207  
A. C. Vitti, 136, 142, 228  
A. Castro, 127  
A. E. Coutinho, 203, 207  
A. F. Silva, 254, 263, 306, 328  
A. F. Pino Jr, 123  
A. G. Ramos, 105  
A. J. A. Viveiros, 17, 27  
A. J. R. Sousa, 17, 27  
A. L. Belloni, 217  
A. L. Porteira Jr, 301  
A. L. Scavazza, 217  
A. Luchiari Jr, 245  
A. M. B. do Nascimento, 319, 341  
A. P. C. Packer, 113, 345  
A. P. M. Azania, 249  
A. P. R. de Oliveira, 171  
A. R. de Moraes, 31  
A. R. Fernandes Jr, 21  
A. Y. P. Ohashi, 212, 241  
B. F. C. Nascimento, 17, 27  
B. J. R. Alves, 74

B. Nicchio, 42, 47, 192  
B. P. Brasileiro, 203, 207  
C. A. A. Mendonça Jr, 54, 184  
C. A. de Andrade, 345  
C. A. Diniz, 17, 276  
C. A. Fermino, 310, 314  
C. A. G. Ribeiro, 17, 27  
C. A. M. Azania, 39, 249  
C. A. Rateiro, 314  
C. A. Santana, 217  
C. C. Medina, 301  
C. Caldana, 79  
C. D. Borges, 84  
C. Fortes, 36  
C. M. de Freitas, 254, 263, 276, 306, 328  
C. M. Evangelista, 353  
C. N. F. Medeiros, 92  
C. Pires, 345  
D. A. O. Kussaba, 301  
D. A. Silvestre, 301  
D. Banzatto, 328  
D. C. Costa, 301  
D. E. Cursi, 21  
D. F. De Souza, 113  
D. F. G. Oliveira, 286  
D. N. Silva, 238  
D. Perecin, 221, 234, 238  
D. T. de Oliveira, 286  
E. A. S. Gomes, 291, 324  
E. C. Gomes, 301  
E. Francisco, 117

E. H. Ferri, 310, 314  
E. L. Finoto, 127  
E. Tomaz, 74  
E. C. da Silva, 65, 74, 89, 127, 245, 259, 332  
F. Coelho, 117  
F. G. da Silveira, 74  
F. L. F. Dias, 117, 123  
F. Q. Mendes, 254, 276  
F. Sampaio Filho, 17, 27  
F. V. Scarpone, 70  
G. A. F. Castioni, 155, 160, 166  
G. A. M. Araújo, 203, 207  
G. A. Santos, 42, 47, 192  
G. Aferri, 221, 234  
G. H. G. Costa, 276, 306  
G. H. Korndörfer, 42, 47, 192  
G. Hipolito, 245  
G. J. C. Gava, 54, 70, 184  
G. K. Donagemma, 65  
G. M. Sanches, 59, 79, 84, 150, 166  
G. Rodrigues, 245  
G. S. de Aquino, 301  
G. S. P. L. da Silva, 74, 89  
G. V. Gomes, 113  
G. V. S. Barbosa, 17, 27  
G. Z. de Andrade, 105  
H. Arizono, 108,  
H. B. Zotelli, 65,  
H. C. de Freitas, 345  
H. C. J. Franco, 59, 79, 84, 150, 155, 160, 166, 296  
H. C. P. Rossetto, 245

H. Cantarella , 136, 142, 228  
 H. do Prado, 105  
 H. R. Carregari, 221, 238  
 H. S. Pereira, 42, 47, 192  
 H. Vasquez, 113  
 H.P Hoffmann, 21  
 H.W. Joris, 142  
 I. A. M. Degaspari, 136, 142, 228  
 I. C. Rosa, 178  
 I. S. Borges, 249  
 I. S. Masson, 306  
 I. Teodoro, 17, 27  
 J. A. Ferreira, 217  
 J. A. L. Lavorenti, 217  
 J. B. S. Ferreira Filho, 370  
 J. C. Casagrande, 217  
 J. C. Garcia, 133, 188, 197, 212, 224, 241  
 J. H. dos Santos Jr, 301  
 J. L. N. Carvalho, 155, 166  
 J. M. de Oliveira, 286  
 J. M. dos Santos, 17, 27, 178  
 J. O. Rocca 197  
 J. P. Roviero, 263, 306, 328  
 J. R. P. de Carvalho, 65  
 J. R. Soares, 136, 142  
 J. R. Teixeira, 268, 272, 310, 337  
 J. Rossi Neto, 155, 160, 166  
 J. V. Fracasso, 96  
 K. P. R. de Campos, 259  
 K. S. S. Rocha, 217  
 L. A. B. Andrade, 31  
 L. A. Borges, 65  
 L. A. de Freita, 254, 263, 306, 328  
 L. A. de Oliveira, 47  
 L. A. Ramos, 42, 192  
 L. C. Barbosa, 155, 160, 166  
 L. C. C. Xavier, 291  
 L. C. Gonzaga, 136, 142, 228  
 L. C. S. Medeiros, 291, 324  
 L. E. Giroto, 188  
 L. F. Almeida, 301  
 L. F. S. Costa, 319, 341  
 L. F. S. Marchiori, 74, 89, 259  
 L. F. Tralli, 328  
 L. G. Teixeira, 238  
 L. I. Prochinow, 117  
 L. L. Dinardo-Miranda, 96  
 L. L. Madaleno, 268, 272, 310, 314, 337  
 L. M. de Araújo, 291, 324  
 L. Mattiello, 79  
 L. P. Buranello, 359  
 L. P. Cruz, 79  
 L. P. M. Silva, 212, 224, 241  
 L. R. Pinto, 92  
 L. Soares, 17, 27  
 L. Stenico, 259  
 L.R.N. Pinto, 136, 142, 228  
 M. A. Donegá, 36  
 M. A. Kesslerlingh, 337  
 M. A. Marinho, 101  
 M. A. Mutton, 263, 306  
 M. A. P. Bidoia 238  
 M. A. Xavier, 31, 188, 212, 221, 224, 234, 238, 241, 249  
 M. C. de Oliveira, 263  
 M. C. Gonçalves, 92  
 M. C. Martins, 79  
 M. D. Avila, 117  
 M. D. B. Watanabe, 296  
 M. F. Chagas, 296  
 M. F. da Silva, 92  
 M. G. A. Landell, 12, 221, 224, 234, 238  
 M. G. Silva, 319, 341  
 M. H. P. Barbosa, 203, 207  
 M. J. R. Mutton, 254, 263, 276, 306, 328  
 M. L. S. Silva, 133  
 M. M. Cruz, 17, 27  
 M. P. Fernandes, 280  
 M. P., Campana, 221, 234  
 M. R. de Carvalho, 310  
 M. R. L. Azevedo, 291, 324  
 M. R. L. V. Leal, 296  
 M. R. Soares, 217  
 M. S. Brito, 92  
 M. S. G. da Silva, 113  
 M. S. Raposo, 89  
 M. S. Scarpari, 133, 197  
 M. T. V. Gonçalves, 203, 207  
 M. V. De Luca, 70  
 M. W. M. Pereira, 101  
 N. C. Marcante, 178  
 N. F. de Paula, 252  
 N. N. Ribeiro, 268, 314  
 N. P. Ramos, 113, 345  
 O. A. Braunbeck, 296  
 O. Cavalett, 296  
 O. E. Ferreira, 263  
 O. F. Emerenciano, 254  
 O. M. R. Cabral, 345  
 O. T. Kölln, 59, 79, 84, 150, 155, 160, 166  
 P. A. S. Faustino, 272  
 P. A. Vieira Jr, 127  
 P. C. O. Trivelin, 79  
 P. E. M. Miguel, 188, 197, 221  
 P. H. P. de Santi, 217  
 P. L. de Freitas, 65, 127, 245  
 P. N. T. Moreira, 291, 324  
 P. S. G. Magalhães, 59, 150  
 R. A. Borges, 286  
 R. A. de Oliveira, 337  
 R. A. Sordi, 108  
 R. C. A. Ribeiro, 319, 341  
 R. C. C. Sachs, 370  
 R. C. M. Pires, 212, 241  
 R. F. da Rosa, 39  
 R. F. Pires, 65  
 R. G. Chapola, 21  
 R. Gazaffi, 21  
 R. H. Petri, 188,212, 224, 238  
 R. L. C. Braga Jr, 12, 108  
 R. L. Cobra, 101  
 R. L. Villas Boas, 70  
 R. M. de Souza, 241  
 R. M. Duda, 337  
 R. P. Alves, 113  
 R. P. de Araújo, 105  
 R. Ramos, 113  
 R. Rossetto, 117, 123, 136, 142, 228  
 R. S. Berton, 74  
 R. S. Santos, 178  
 R. Stolf, 171, 349  
 R. V. Franzé, 310, 314  
 R. Vitorino, 249  
 R. Z. Sousa, 178  
 S. A. M. Carreira, 36  
 S. A. Q. Castro, 59, 166  
 S. C. Bassetto, 54  
 S. Creste, 92,  
 S. D. Carlin, 249  
 S. D. Sartório, 217  
 S. G. Q. Castro, 59, 79, 84, 150, 155, 166  
 S. M. Vasconcelos, 291, 324  
 S. P. Venzke Filho, 101  
 S. Soares, 332  
 S. Tavares, 123  
 S. V. Cuadra, 65, 245  
 T. A. B. do Prado, 105  
 T. E. Ferreira, 113  
 T. F. Cardoso, 296  
 T. G. Goia, 89  
 T. P. Siqueira, 47  
 V. Arthur, 89  
 V. B. Bufon, 178  
 V. C. S. Cruzeiro, 184  
 V. H. P. da Silva, 31  
 V. L. D. Torres, 17, 27, 375  
 V. Nardy, 12  
 V. Teixeira, 254, 263, 276, 306, 328  
 W. J. Dellabiglia, 54, 70, 184  
 W. M. Leandro, 319, 341  
 Z. M. de Souza, 155, 160, 166  
 Z.F. Montezano, 136, 142, 228

# MELHORAMENTO

## REVISÃO NO ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO VARIETAL PARA CANA-DE-AÇÚCAR

R. L. C. BRAGA JR.<sup>1</sup>, M. G. A. LANDELL<sup>2</sup>, V. NARDY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Consultor

<sup>2</sup>IAC – Instituto Agronômico de Campinas

<sup>3</sup>CTC – Centro de Tecnologia Canavieira

### Resumo

Assim como em outros setores da economia, o uso de indicadores nos permite mensurar a eficiência de práticas agronômicas na cultura da cana-de-açúcar. Isso pode ser aplicado, por exemplo, com a finalidade de avaliar a diversificação e qualidade do plantel varietal utilizado nos canaviais brasileiros. O presente artigo visa apresentar os índices de atualização e concentração varietal bem como retratar uma revisão deste último, eliminando possíveis vieses que uma análise simplificada poderia apresentar. Assim, o Índice de Concentração Varietal Ajustado (I.C.V.A) mostrou-se adequado ao reclassificar 13 unidades produtoras e permitir uma análise mais adequada da situação das mesmas.

**Palavras chaves:** Variedades cultivadas, censo varietal, melhoramento genético

### Summary

As used in other's economy sectors, we can use indicators to measure the agronomic practices efficiency in sugarcane fields. It can be used, for example, to evaluate quality and diversity in the sugarcane varieties in Brazilian fields. This article presents the index that measures updates and concentration and promotes a review of the concentration index to eliminate some bias that a simple analysis can conclude. The Adjusted Concentrated Index showed its success when reclassified 13 sugarcane mills and allowed a more appropriate analysis of its situation.

**Keywords:** Varieties, cultivated, variety census, breeding

### Introdução

Os índices de comparação da eficiência são amplamente utilizados em todos os setores da economia nacional. O uso mais habitual são os índices financeiros que são publicados com diversas periodicidades e balizam as empresas na definição de suas estratégias.

Na agricultura, o uso de índices também é amplamente difundido sendo aplicados nas mais diversas culturas. Estudos mostram a existência de índices de seleção em programas de melhoramento genético que podem ser vistos na cultura da soja (SANTOS, 2005), feijão-caupi (BERTINI et al., 2009), algodão herbáceo (FARIAS, 2005) e outras.

Na cultura da cana-de-açúcar o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), obtido por sensoriamento remoto está relacionado com o vigor vegetativo da cultura e a produtividade agrícola (PICOLI et al., 2009).

Em trabalho anterior (BRAGA JR. et al., 2013) foram apresentados índices para avaliar a concentração do plantel em poucas variedades de cana-de-açúcar e o uso de variedades mais modernas. Esse trabalho tem como objetivo reavaliar os resultados obtidos pelo Índice de Concentração Varietal e, a partir dessa avaliação, propor ajustes quando necessário.

### Material e Métodos

No ano de 2013, BRAGA JR., et al. apresentaram dois índices para a comparação do uso de variedades de cana. Esses índices foram os seguintes:

O Índice de Atualização Varietal (I.A.V.), que é usado para medir a velocidade de adoção das variedades liberadas pelos produtores de cana-de-açúcar do país. O Índice de Concentração Varietal (I.C.V.), usado para medir o nível de concentração das variedades utilizadas por uma unidade produtora, estado ou região e cuja metodologia será revisada mais adiante neste artigo.

O I.A.V. é obtido pela média ponderada da idade de uma variedade em função da porcentagem que ela ocupa, ou seja, é o somatório das diferenças entre o ano atual e o ano do cruzamento das variedades, ponderado pela porcentagem de utilização das variedades na unidade produtora analisada.

Avaliando os dados, foi possível observar que o tempo entre o cruzamento até a variedade atingir o máximo de ocupação demora em média 20 anos. Isso pode ser observado pelos resultados da (Tabela 1), onde estão listadas todas as variedades que atingiram pelo menos 1% da área da região Centro-Sul do Brasil nos últimos 25 anos.

**Tabela 1.** Número de anos após o cruzamento para a variedade atingir o máximo de participação no censo varietal da região centro-sul do Brasil.

Variedade	% máxima atingida	Nº de anos	Variedade	% máxima atingida	Nº de anos	Variedade	% máxima atingida	Nº de anos
CTC9	1,2	20	RB845210	1,5	20	SP79-1011	10,6	18
IAC64-257	1,3	25	RB845257	2,9	17	SP79-2233	1,7	20
PO88-62	1,1	20	RB855113	3,5	17	SP80-1816	6,2	23
RB72454	25,8	25	RB855156	3,9	21	SP80-1842	8,2	21
RB735275	1,2	15	RB855453	7,0	26	SP80-3280	2,9	26
RB765418	4,3	19	RB855536	8,3	18	SP81-3250	14,3	23
RB785148	5,9	19	RB935744	1,0	19	SP83-2847	6,0	24
RB806043	3,7	18	SP70-1143	25,7	20	SP87-365	1,2	18
RB825336	2,5	18	SP70-1284	4,0	21	SP89-1115	1,3	21
RB835054	2,4	28	SP70-3370	1,6	20	SP91-1049	1,7	17
RB835089	4,2	17	SP71-1406	20,1	20			
RB835486	9,8	20	SP71-6163	21,1	22	<b>MÉDIA</b>	<b>6,4</b>	<b>20</b>

Tendo isso em mente e objetivando facilitar a interpretação dos dados, adotou-se subtrair 20 anos do valor obtido como complemento da equação, assim o I.A.V. pode ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{I.A.V.} = \sum i [(\text{ano atual} - \text{ano de cruzamento da variedade}) \times \% \text{ da área cultivada da variedade}] / 100 - 20, \text{ onde } i \text{ varia de } 1 \text{ até o número de variedades cultivadas}$$

Esse índice representa a média da idade do plantel varietal, de modo que quanto maior o valor do I.A.V., mais antigas são as variedades adotadas na unidade produtora, estado ou região analisados.

Avaliando os resultados históricos de I.A.V. entre os produtores de cana-de-açúcar no Brasil chegou-se a classificação que pode ser vista na Tabela 2

**Tabela 2.** Classificação dos locais em relação ao índice de atualização varietal (IAV).

IAV	Nível
Menor que 5 anos	Satisfatório
Entre 5 e 7 anos	Intermediário
Maior que 7 anos	Não recomendado

A partir desse índice, com a intenção de destacar os produtores que adotam as variedades mais modernas e promovem a disseminação da tecnologia, o CTC classificou as unidades produtoras de acordo com o I.A.V. e premiou nos últimos três anos os produtores que se destacaram nas principais regiões produtoras do Centro-Sul com o Prêmio INOVA (BRAGA JR., 2015).

Após a apresentação do I.A.V., passamos para a avaliação do segundo índice, o I.C.V. que é o foco deste artigo. Como visto anteriormente, o I.C.V. mede o nível de concentração das variedades e é dado em porcentagem, obtido pela soma da participação percentual das três principais variedades na área total cultivada em uma unidade produtora, estado ou região usando a seguinte equação:

$$\text{I.C.V.} = \sum i (\% \text{ da variedade}), \text{ onde } i \text{ varia de } 1^{\text{a}} \text{ variedade mais cultivada até a } 3^{\text{a}} \text{ variedade mais cultivada}$$

Os parâmetros de referência para este índice foram instituídos pela observação de que não é recomendável que uma unidade produtora tenha mais do que 15% de sua área cultivada com uma única variedade (LANDELL et al, 2015). Essa recomendação decorre do fato que após o plantio eram colhidos, em média, cinco cortes nos canaviais e, desse modo, em apenas uma safra quase seria possível erradicar uma variedade sem causar grandes efeitos na produção total da unidade produtora.

A partir dessa premissa criou-se uma classificação das unidades produtoras a partir do I.C.V.. Essa classificação que pode ser vista na Tabela 3.

**Tabela 3.** Classificação dos locais em relação ao índice de concentração varietal (ICV).

ICV	Nível
Menor 40%	Satisfatório
Entre 40 e 50%	Intermediário
Maior que 50%	Não recomendado

Para a análise e apresentação dos resultados foram utilizados os dados da revista Censo Varietal 2012 publicado pelo CTC (BRAGA JR. et al., 2013).

Esse trabalho propõe uma revisão do Índice de Concentração Varietal de modo a obter novas formas de medição e a corrigir algum possível desvio que esse índice possa conter.

### Resultados e discussão

Como se viu anteriormente, não é recomendado que uma variedade ultrapasse 15% da área de uma unidade produtora para que se possa assim diminuir riscos fitossanitários. No caso do I.C.V., pode-se intuir que a melhor condição se apresenta quando as três variedades mais cultivadas de uma unidade produtora ou região atingem o máximo 15% da área cultivada. No entanto, em alguns casos a soma das três primeiras variedades pode ser inferior a 40% e ainda assim a unidade produtora pode estar cultivando uma variedade com uma área muito superior a 15%, o que não é desejável.

Para resolver essa situação propõe-se acrescentar dois termos a fórmula atual:

1. Incluir ao I.C.V. o valor da diferença entre a variedade mais cultivada e a terceira variedade mais cultivada visando penalizar as unidades produtoras com grande concentração em uma única variedade.
2. Adicionar ao índice a porcentagem de cada variedade que ultrapassar o valor de 15% de modo a penalizar as unidades produtoras que ultrapassem o valor desejável.

Nesse caso o Índice de Concentração Varietal Ajustado (I.C.V.A.) será dado pela seguinte equação:

$$ICVA = \sum i (\% \text{ da variedade}_i) + (\text{Variedade}_1 - \text{Variedade}_3) + \sum i (\% \text{ da variedade}_i - 15\%),$$

onde  $i$  varia de 1ª variedade mais cultivada até a 3ª variedade mais cultivada.

O terceiro termo da equação só é aplicado quando  $\text{variedade}_i > 15\%$

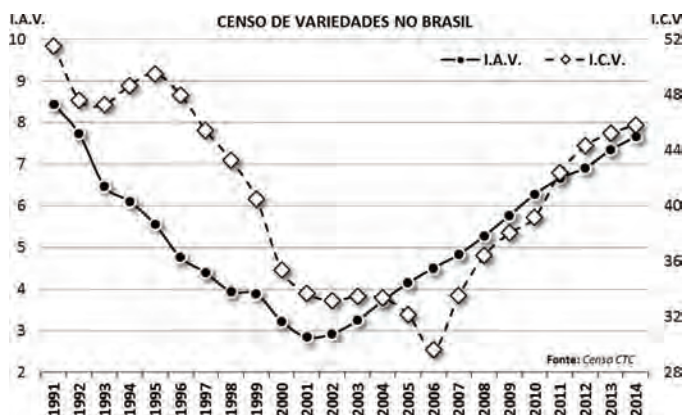
A partir dessa premissa criou-se uma nova classificação para o I.C.V.A. que pode ser vista na (Tabela 4).

**Tabela 4.** Classificação dos locais em relação ao índice de concentração varietal ajustado (ICVA).

ICVA	Nível
Menor 45%	Satisfatório
Entre 45 e 75%	Intermediário
Maior que 75%	Não recomendado

O nível de concentração em poucas variedades era muito elevado no início da realização do censo varietal do CTC no Brasil, em 1991, sendo que o I.C.V. foi superior a 50% nesse ano. Esse valor foi diminuindo ao longo dos anos até chegar a ser inferior a 30% em 2006. Nos últimos anos o ICV dos produtores brasileiros voltou a crescer, chegando a 46% em 2014 (Figura 1).

**Figura.** Histórico do índice de atualização varietal e índice de concentração varietal nas unidades produtoras do Brasil.



É interessante observar que entre os produtores de cana-de-açúcar da Florida, uma região importante na produção de cana-de-açúcar nos Estados Unidos, está acontecendo o oposto. O I.C.V. que era de 64% em 2005, está reduzindo ao longo dos anos, chegando a 41% em 2014 (RICE et al., 2015), mostrando a preocupação desses produtores em diversificar os canaviais.

Em relação à rapidez de adoção de novas variedades pelos produtores, o valor do Índice de Atualização Varietal (I.A.V.), que decresceu quase que linearmente entre os anos de 1991 e 2001 (quando foi igual a 2,8 anos), passou a crescer a partir de 2012 chegando ao valor de 7,7 anos no ano de 2014.

Estudo realizado nos ensaios do Programa de Variedades do CTC (BRAGA JR. *et al.*, 2013) mostra que a cada ano a menos no I.A.V. acrescenta-se 1,5% na produtividade média em toneladas de pol por hectare. Também PERECIN *et al.*, em 2009, constatou para o Programa Cana IAC, que os progressos genéticos, na média dos cortes, foram anualmente de: 0,87% para TCH (tonelada de colmos por hectare) e 1,35% para TPH (tonelada de pol por hectare). Isto demonstra que uma grande parte das unidades produtoras brasileiras está perdendo a chance de obter grandes vantagens com a adoção de novas variedades mais adaptadas ao manejo totalmente mecanizado adotado nos últimos anos.

Quando se estuda o I.C.V. ou o I.C.V.A. chega-se a proporções similares, onde para o I.C.V. apenas 12 unidades (5%) podem ser classificadas no nível satisfatório, 13% no nível intermediário e a grande maioria (88%) estão no nível não recomendado. Já para o I.C.V.A., os mesmos 5% são classificadas no nível satisfatório, o nível intermediário sobe para 17% e consequentemente reduz-se para 78% aquelas que estão no nível não recomendado. Esses resultados causam preocupação em função do elevado número de produtores utilizando poucas variedades e aumentando o risco de quebra de produção caso haja uma nova doença que comprometa os canaviais.

Avaliando os resultados dos índices em nível estadual (Tabela 5), em relação ao I.A.V. o estado que apresentou os melhores resultados foi Alagoas, sendo o único que pode ser classificado no nível intermediário. O mesmo Estado, apresenta porém, um dos mais altos valores de I.C.V.. Essa aparente contradição ocorre pelo fato da grande adoção de uma variedade relativamente nova, utilizada em grande parte da área cultivada, que é o caso da RB92579.

**Tabela 5.** Área média, número de unidade e índices por estado.

Estados	Nº unidades	ÁREA (ha)	I.A.V.	I.C.V.	I.C.V.A.
AL	12	13.067	5,4	70,8	131,7
GO	26	27.215	8,2	66,6	118,7
MG	29	17.867	8,1	68,0	115,6
MS	14	32.670	8,1	66,2	120,5
MT	7	20.818	8,7	69,6	130,3
PE	6	15.026	7,5	67,5	116,6
PR	26	25.053	6,9	67,1	131,3
SP	135	23.997	6,4	58,8	95,9
Outros	11	9.984	7,7	78,1	153,9
<b>Total</b>	<b>266</b>	<b>22.844</b>	<b>7,0</b>	<b>63,6</b>	<b>110,4</b>

Já para o I.C.V e I.C.V.A. os melhores resultados foram obtidos em São Paulo, no entanto, todos os estados foram classificados no nível não recomendado.

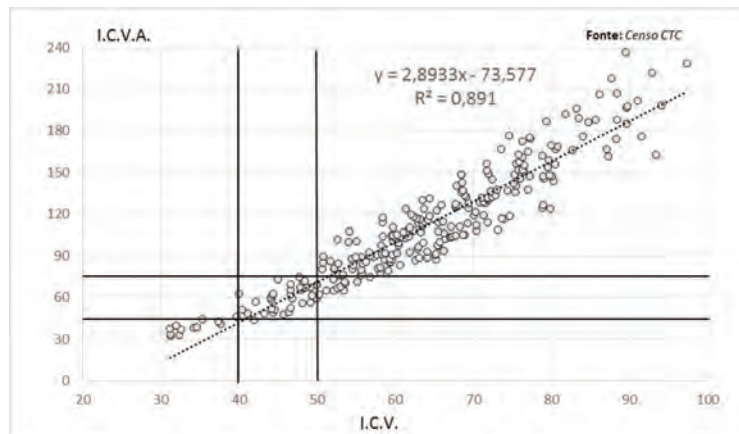
A área cultivada média das unidades produtoras brasileiras foi de aproximadamente 23 mil hectares. Entretanto, os índices varietais de atualização e concentração não são influenciados pela área cultivada. O coeficiente de correlação linear de Spearman é sempre não significativo nessas comparações (Tabela 6).

**Tabela 6.** Coeficiente de correlação de spearman para área cultivada e índices varietais.

	ÁREA	I.A.V.	I.C.V.	I.C.V.A.
ÁREA	1			
I.A.V.	-0,0282	1		
I.C.V.	-0,0671	0,3886	1	
I.C.V.A.	-0,0130	0,3139	0,9439	1

O ajuste no Índice de Concentração Varietal se mostrou eficiente em reclassificar as unidades. Apesar da alta correlação entre o I.C.V. e o I.C.V.A., 13 unidades produtoras tiveram as classificações ajustadas possibilitando uma melhor análise dos dados (Figura 2).

**Figura 2** - Relação entre índice de concentração varietal e índice de concentração varietal ajustado, nas unidades produtoras do Brasil.



### Conclusões

Nos últimos anos, os produtores de cana brasileiros estão aumentando significativamente o nível de concentração de seus canaviais em poucas variedades. A maioria desses produtores está acima do nível de concentração recomendado ampliando assim o risco fitossanitário da produção de cana-de-açúcar brasileira.

Apesar de estar demonstrado que variedades modernas apresentam melhores produtividades, a adoção de novas variedades tem sido restrita o que pode ser um dos fatores que vêm deixando a produtividade média dos canaviais brasileiros praticamente estagnada na última década.

Pela análise do coeficiente de correlação linear de Spearman, os índices varietais não estão correlacionados com o tamanho, em área, das unidades produtoras podendo ser aplicados para avaliar inclusive estados e regiões produtoras.

O Índice de Concentração Varietal Ajustado se mostrou eficiente para detectar unidades produtoras que concentram o seu cultivo em uma única variedade configurando assim o caso mais grave de concentração e que poderia não ser identificado na aplicação do índice proposto anteriormente.

### Referências Bibliográficas

- BERTINI, C.H.C.M.; ALMEIDA, W.S.; SILVA, A.P.M.; LIMA, J.W.; TEOFILO, E.M. **Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi**. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 32, n. 4, p.613-619, jan. 2009.
- BRAGA JR., R.L.C.; ANDRADE, F.S.; NARDY, V. **Censo Varietal 2012 Brasil**. Piracicaba, 24p, jul 2013.
- BRAGA JR., R.L.C.; SELEGATO, S.M.; RAIZER, A.J. **Índices de eficiência no uso de variedades de cana-de-açúcar**. Piracicaba, Revista RPA News, Ano 12, Número 151/152. jul/ago. 2013.
- BRAGA JR., R.L.C. Prêmio INOVA 2015, **Revista da STAB**, Vol.33 nº 5. mai/jun. 2015.
- FARIAS, F.J.C. **Índice de seleção em cultivares de algodoeiro herbáceo**. 2005. 121p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LANDELL, M.G.A.; BERRO, C.D.; SILVA, D.N.; XAVIER, M.A. **Manejo varietal em cana-de-açúcar: Aspectos teóricos e aplicação de conceitos**. In: Belardo, G.C.; Cassia, M.T.; Silva, R.P. Jaboticabal, SP. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**. 273-288, 2015
- PERECIN, D.; LANDELL, M.G.A.; XAVIER, M.; ANJOS, I.A.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, D.N. Progresso agrônomo e genético em programa de Melhoramento de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Biometria**, São Paulo, v.27, n.2, p.279-287, 2009.
- PICOLI, M.C.A.; RUDORFF, B.F.T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. **Índice de vegetação de sensor modis na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar**. Bragantia, Campinas, v. 68, n. 3, p.789-795, 20 mar. 2009.
- RICE, R.; BAUCUM, L.; DAVIDSON, W. Sugarcane Variety Census: Florida 2014. **Sugar Journal**, jul. 2015.
- SANTOS, V.S. **Seleção de pré-cultivares de soja baseada em índices**. 2005. 104 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.



## CINQUENTA ANOS DE CONTRIBUIÇÃO DA SERRA DO OURO PARA O DESENVOLVIMENTO DE VARIEDADES RB DE CANA-DE-AÇÚCAR

João M. Santos<sup>1</sup>; Geraldo V. S. Barbosa<sup>1</sup>; Carlos A. Diniz<sup>1</sup>; Marcelo M. Cruz<sup>1</sup>; Antônio J. R. Sousa<sup>1</sup>; Carlos A. G. Ribeiro<sup>1</sup>; Antônio J. A. Viveiros<sup>1</sup>; Francisco Sampaio Filho<sup>1</sup>; Iêdo Teodoro<sup>1</sup>; Lailton Soares<sup>1</sup>; Vera L. D. Torres<sup>1</sup>; Bruno F. C. Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Centro de Ciências Agrárias, RIDESA, Campus Delza Gitai, BR104 Norte, km 85, 57.072-900, Rio Largo, AL,

*jms.agronomia@gmail.com*

### Resumo

Este trabalho objetiva descrever os resultados de cinquenta anos de pesquisa da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro no desenvolvimento de variedades RB. Em 1966 os rendimentos agroindústrias da cana-de-açúcar no Brasil eram muito baixos, com pouca adoção de tecnologias. Nesse ano a classe produtora de Alagoas em convênio com o Instituto do Açúcar e do Alcool implantou o banco de germoplasma da Serra do Ouro, em Murici-AL, para realizar cruzamentos e obter variedades RB (República do Brasil). De 1971 a 1990, a Serra do Ouro foi administrada pelo PLANALSUCAR; em 1990 passou para o Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. Durante cinquenta anos a Serra do Ouro produziu espiguetas/cariopses de cana-de-açúcar que deram origem a 94 variedades RB. Dessas, 19 foram desenvolvidas e liberadas pelo PLANALSUCAR, 35 desenvolvidas inicialmente pelo PLANALSUCAR e liberadas pela RIDESA e 40 desenvolvidas e liberadas exclusivamente pela RIDESA. Em 2015 as variedades RB ocuparam 68% da área canavieira do Brasil, evidenciando que as atividades de pesquisa realizadas na Serra do Ouro têm significativa participação na produção de açúcar e na matriz energética brasileira.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.* Banco de germoplasma. Melhoramento genético.

### Summary

This paper has as objective to describe the results of fifty years of research of the “Serra do Ouro” in the development of RB sugarcane varieties. In 1966, sugarcane agribusiness yields in Brazil were very low, with little use of technology. This year, the productive class of Alagoas, in partnership with the Sugar and Alcohol Institute, implemented the germplasm bank of “Serra do Ouro” in Murici, Alagoas, Brazil, to perform crossings and obtain RB (Republic of Brazil) varieties. From 1971 to 1990, “Serra do Ouro” was administrated by PLANALSUCAR; in 1990, it was taken over by the Agricultural Science Center of the Federal University of Alagoas. During these fifty years, “Serra do Ouro” has produced spikelets/caryopses of sugarcane that originated 94 RB sugarcane varieties, of which 19 were developed and released by PLANALSUCAR, 35 were initially developed by PLANALSUCAR and released by RIDESA and 40 were developed and released exclusively by RIDESA. In 2015, the RB varieties occupied 68% of sugarcane area in Brazil, showing that the research activities carried out in “Serra do Ouro” have had a significant participation in sugar production and the Brazilian energy matrix.

**Keywords:** *Saccharum spp.* Germplasm bank. Genetic improvement.

### Introdução

Em 1966, a área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil era pouco superior a um milhão de hectares. O rendimento agrícola médio era inferior a 40 toneladas de colmos por hectare (TCH), o teor de açúcares da cana era muito baixo, com rendimento inferior a 4 toneladas de açúcar por hectare (TAH); nesse período, o nível de adoção de tecnologias nas diversas áreas era insignificante, caracterizado por pouco uso de insumos e a maioria dos canaviais predominava o cultivo de variedades das siglas CB (Campos, Brasil), Co (Coimbatore, Índia), IAC (Instituto Agrônomo de Campinas, Brasil) e CP (Canal Point, EUA). Também em 1966, o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) promoveu a visita ao Brasil do pesquisador americano Albert J. Mangelsdorf, da Hawaiian Sugar Planter's Association. Durante seis semanas, ele conheceu os principais centros produtores de cana do país e em seu relatório apresentou detalhadamente os requisitos básicos e procedimentos para a implantação de um programa nacional de melhoramento genético da cana-de-açúcar (IAA, 1972). Além da formação de uma equipe competente de pesquisadores e estreita colaboração entre o programa de melhoramento e a indústria açucareira, ele elencou a instalação de uma estação de floração e cruzamento situada em área favorável ao abundante florescimento e à produção de pólen fértil, dispondo de coleção de variedades com os melhores genitores de diversas origens do mundo para a realização de cruzamentos genéticos, utilizando-se técnica de hibridação que aproveitasse eficientemente durante um curto período as panículas disponíveis (MANGELSDORF, 1966).

O Governo Federal e a classe produtora de Alagoas reconheceram essa necessidade e em 13 de maio de 1966 criaram a Estação Experimental da Cana-de-açúcar de Alagoas – EECAA, através de um convênio entre o IAA e o Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas (OITICICA, 1994). Foi criada uma equipe técnica local e incorporou renomados especialistas em cana-de-açúcar estrangeiros para transmitir seus conhecimentos aos técnicos brasileiros, dos quais destacou-se o geneticista do Hawaii, Rokuro Urata, que anteriormente tinha desenvolvido inúmeras variedades da sigla H (OITICICA, 1994).

Nesse mesmo ano formou-se o banco de germoplasma (BAG) da cana-de-açúcar da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro (EFCO), em Murici – Alagoas, localizada em ambiente com condições edafoclimáticas privilegiadas, que permite o florescimento natural e abundante da cana-de-açúcar para a realização de hibridações. Essas atividades iniciaram com 220 acessos de diversas origens do mundo e em 1971, esta base de pesquisa passou a ser gerenciada pelo PLANALSUCAR, órgão criado pelo IAA, sendo ponto de partida para a obtenção das cariopses das variedades RB (República do Brasil), sigla registrada no Germplasm Committee of International Society of Sugar Cane Technologists - ISSCT (PLANALSUCAR, 1977).

Em 1990 ocorreu a extinção do IAA e, conseqüentemente, do PLANALSUCAR, sendo transferidas suas estruturas físicas, tecnológicas e de recursos humanos para as Universidades Federais que instituíram a RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucreenergético (UFAL, UFSCar, UFPR, UFV, UFRPE, UFRRJ, UFS, UFG, UFMT e UFPI), que deram continuidade ao desenvolvimento de variedades RB, por meio do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) (DAROS *et al.*, 2015).

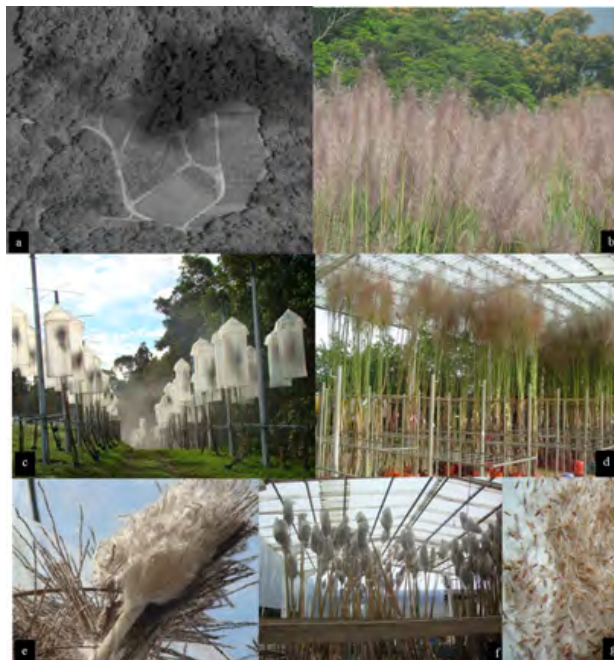
Este trabalho tem como objetivo descrever os principais resultados dos últimos cinquenta anos de atividade de pesquisa da EFCSO no desenvolvimento de variedades RB.

### Material e Métodos

O sucesso de hibridações de cana-de-açúcar se deve ao florescimento profuso e boa deiscência das anteras. A EFCSO Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, fica localizada em Murici-AL (09°13'S; 35°50'W; 515 m), a 34 km de distância geográfica do litoral e tem área total de 32 hectares; o solo é classificado como argissolo vermelho amarelo (AVA), o relevo é ondulado (10 a 12% de declividade), apresenta estação chuvosa de março a agosto e estação seca de setembro a fevereiro, com pluviosidade anual média de 2.363mm, temperatura mínima média de 18,2°C e temperatura máxima média de 27,9°C. O BAG da cana-de-açúcar tem seus campos plantados e/ou renovados anualmente, conforme o período de florescimento dos genótipos (precoce, intermediário, tardio ou relutante). Em 2016 o BAG apresenta 3.099 acessos, entre espécies do complexo *Saccharum* e híbridos de diversos programas de melhoramento do mundo.

Anualmente, 90% dos acessos do BAG florescem naturalmente entre 01 de abril e 15 de junho, período esse que são realizados os cruzamentos genéticos. Antes das hibridações são realizados censos de florescimentos e as paniculas são coletadas semanalmente e mantidas em solução nutritiva desenvolvida no Hawaii (MANGELSDORF, 1966). Os tipos de cruzamentos mais empregados são Biparental (BP) e Múltiplo Parental (MP). Depois de completado todo o processo de fecundação, inicia-se o período de maturação, coleta, secagem, beneficiamento e armazenamento das espiguetas/cariopses (*fuzz*) conforme (Figura 1).

**Figura 1.** Ilustrações e Procedimentos De Hibridação Da Cana Na Estação De Floração E Cruzamento Serra Do Ouro – Ceca/Ufal, Murici, Alagoas. (A): Vista Aérea Da Serra Do Ouro; (B): Campo Com Profuso Florescimento Da Cana; (C): Cruzamentos Do Tipo Biparental; (D): Cruzamentos Do Tipo Múltiplo Parental; (E): Panicula Com Espiguetas/Cariopses; (F): Amadurecimento Das Espiguetas/Cariopses; (F): Espiguetas Com Destaque De Cariopses.



### Resultados e Discussão

#### Produção de cariopses pela Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro

Desde a implantação do banco de germoplasma da cana-de-açúcar na Serra do Ouro, houve a produção de duas toneladas de espiguetas/cariopses oriundas das hibridações realizadas, que foram distribuídas para outras regiões do Brasil para o desenvolvimento de variedades RB, quantidade suficiente para produção de mais de 150 milhões de seedlings (plântulas), ou indivíduos candidatos a variedades RB. Ocorreram duas fases, de 1970 a 1989, com distribuição de espiguetas/cariopses para as coordenadorias do PLANALSUCAR; e de 1991 a 2015, com distribuição para os programas de melhoramento das Universidades Federais da RIDESA. Em 1990 não houve atividades na Serra do Ouro.

### **Desenvolvimento de variedades RB pelo PLANALSUCAR**

Os cruzamentos realizados na Serra do Ouro em 1970 pela EECOA geraram as primeiras variedades registradas com a sigla RB e liberadas pelo PLANALSUCAR. Foram elas: RB7096, RB70141, RB70194, RB705007, RB705051, RB705146, RB705440. Dessas, tiveram destaque no início da década de 80 no nordeste brasileiro as variedades RB70141 e RB70194. Também foram desenvolvidas e liberadas nesse período mais 12 variedades – RB72454, RB721012, RB725147, RB725828, RB732577, RB735220, RB735275, RB739735, RB754665, RB765418, RB785148, RB785750.

Dentre essas, quem mais se destacou foi a RB72454, dadas as boas qualidades agrônômicas, de ampla adaptabilidade às diferentes condições de clima e de solo do Brasil. Sua espiguetta/cariopse foi semeada em 1972 pela equipe do PLANALSUCAR regional, em Rio Largo, Alagoas e selecionada por três etapas sucessivas durante seis anos, sendo intercambiada para as demais regiões do Brasil para avaliações, e em 1987 o PLANALSUCAR fez o seu lançamento nacional. A RB72454, durante diversos anos foi a variedade mais plantada no Brasil, ocupando 22,1% da área cultivada com cana em 1995, assumindo essa posição até 2005.

### **Desenvolvimento de variedades RB pelo PLANALSUCAR/RIDESA**

Com a transferência em 1990 dos recursos humanos, infraestrutura e clones RB inicialmente selecionados pela equipe do PLANALSUCAR para as Universidades da RIDESA, foi possível a continuidade do desenvolvimento das variedades RB. Com isso, aliando-se os esforços das equipes das Universidades com a parceria com o setor produtivo nacional, foram liberadas pelas Universidades da RIDESA 35 variedades nos primeiros anos de pesquisa da rede, conforme segue: UFAL (RB75126, RB83102, RB83160, RB83252, RB83594, RB8495, RB842021, RB855463 e RB855511); UFSCar (RB785750, RB806043, RB825336, RB835089, RB835486, RB835019, RB855156, RB855453, RB855563, RB835054, RB845257, RB855535, RB855113, RB855546 e RB855035); UFSCar/UFPR (RB845197, RB845210, RB865230 e RB855036); UFRPE (RB763710, RB813804, RB863129 e RB872552); UFRRJ (RB758540 e RB858927); UFV (RB867515).

Ressalte-se que todas essas variedades RB tiveram origem em cruzamentos realizados antes de 1990 na Serra do Ouro pela equipe do PLANALSUCAR, que também selecionou os clones em diversas etapas do melhoramento. Complementando, as equipes das Universidades Federais da RIDESA deram continuidade a esses trabalhos, por meio de experimentação, avaliações de doenças e multiplicação, até a liberação das variedades. Dentre essas, duas merecem ser destacadas, a RB855156 e a RB867515.

A RB855156 foi desenvolvida e liberada em 1995 pela UFSCar, tendo como motivo sua riqueza em sacarose e maturação hiperprecoce. É uma das principais variedades para colheita no início de safra e em 2015 ocupou cerca de 5% dos canaviais da Região Centro-Sul do Brasil (DAROS *et al.*, 2015).

A RB867515 foi desenvolvida e liberada em 1998 pela UFV. É a variedade de maior contribuição dos trabalhos de melhoramento genético da cana iniciado pelo PLANALSUCAR e concluídos pelos pesquisadores da RIDESA. Apresenta bons desempenhos agroindustriais, mesmo em áreas de cultivo com solos de baixa fertilidade, arenosos e com restrições hídricas, onde outras variedades não têm apresentado desempenho similar. Em 2015 foi a variedade mais cultivada no Brasil, com cerca de 25% da área canavieira (DAROS *et al.*, 2015).

### **Desenvolvimento de variedades RB pela RIDESA**

Em 1991 as atividades de hibridação da cana-de-açúcar foram retomadas na Serra do Ouro, com a produção de cariopses para a obtenção de variedades RB. Cada Universidade Federal da RIDESA criou um Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar (PMGCA), desenvolvido em parceria com o setor canavieiro ao qual a instituição está inserida. Com esse modelo, anualmente são intercambiados entre as Universidades clones RB promissores, de modo que aqueles desenvolvidos por um programa sejam avaliados em experimentos nos ambientes das demais universidades. Desde então, foram desenvolvidas e liberadas 40 variedades RB, dentro da logística de trabalho do serviço público federal, mas com a participação de empresas privadas no aporte de recursos financeiros e estruturas para a pesquisa (áreas, máquinas, insumos e mão-de-obra).

As variedades RB desenvolvidas e liberadas nesse período foram: UFAL (RB92579, RB93509, RB931530, RB931003, RB931011, RB951541, RB98710, RB99395, RB961552, RB991536); UFSCar (RB925211, RB925268, RB925345 e RB935744, RB965902, RB965917, RB975201, RB975242, RB975952 e RB985476); UFPR (RB946903, RB956911, RB966928, RB036066, RB036088 e RB036091); UFV (RB928064, RB937570, RB987935 e RB988082); UFRPE (RB932520, RB943365, RB943538, RB962962, RB002504, RB992506 e RB002754); UFRRJ (RB969017 e RB988503); UFG (RB034045). Entre essas variedades, as que mais se destacam são a RB92579 e RB966928.

Dentre as variedades desenvolvidas exclusivamente pela RIDESA, a primeira a ser amplamente adotada foi a RB92579. Ela foi desenvolvida e liberada pela UFAL em 2003. Desde a sua liberação, a RB92579 vem apresentando expressivo crescimento de área cultivada pelas empresas nordestinas, em função de seus vantajosos rendimentos agroindustriais, de 30% a 40% acima das outras variedades que eram mais cultivadas. Em 2015, a RB92579 foi cultivada em 40% dos canaviais da Região Nordeste do Brasil, representando também área significativa em todo o país (cerca de 8%) (DAROS *et al.*, 2015).

A RB966928 foi desenvolvida e liberada em 2010 pela UFPR. Seu cultivo tem aumentado principalmente na Região Sul e Centro-Sul, em função da precocidade e da estabilidade da produção em plantios e colheitas mecanizados, com manutenção do rendimento de 15% acima das outras cultivadas na mesma época de colheita.

### Uso de parentais nas hibridações

A aplicação das estratégias e operacionalização do melhoramento genético da cana-de-açúcar de uma região pode não ter o mesmo resultado em outra região (BURNQUIST *et al.*, 2010). Os programas mundiais diferem na estratégia do uso de parentais nas hibridações; na Austrália e em Barbados são usadas frequentemente espécies básicas do complexo Saccharum; alguns programas usam consistentemente híbridos estrangeiros; a base do ganho genético conquistado pelos híbridos atuais tem origem nos cruzamentos entre clones POJ e Co realizados na primeira metade do século XX; mas a maioria dos programas usam preferencialmente clones selecionados no próprio local (MING *et al.*, 2006); esta prática também é adotada no programa RIDESA, pois nas duas primeiras décadas de atividades na Serra do Ouro, os genótipos que mais participaram nas hibridações eram provenientes de programas de melhoramento de outros países e nos últimos anos, os genótipos RB participaram em mais da metade dos cruzamentos genéticos realizados. Registre-se que a RB72454 é genitora de 25 variedades RB entre as 94 liberadas no Brasil até 2015 (26,6%).

### Ganhos atribuídos ao melhoramento genético da cana-de-açúcar

Os trabalhos para a obtenção de variedades RB tiveram início em 1966, com a implantação da EFCSO, sendo estabelecido o seu banco de germoplasma. Em média, o tempo entre hibridação e liberação de uma variedade é de 15 anos; até a efetiva adoção da variedade pelos produtores, são mais cinco anos. Assim, os resultados do melhoramento genético da cana-de-açúcar com o cultivo significativo de variedades só aparecem 20 anos após os cruzamentos genéticos (BRAGA JR *et al.*, 2011; BURNQUIST *et al.*, 2010). Isto também foi verificado com o cultivo das variedades RB, pois em 1990, ano da extinção do PLANALSUCAR, tinham apenas 5% da área canavieira do Brasil. No entanto, com a grande oferta de variedades RB com vantajosos rendimentos agroindustriais, passados cinquenta anos do estabelecimento da EFCSO, fica confirmado o grande êxito do programa de desenvolvimento de variedades da sigla RB, que em 2015 atingiu 68% da área canavieira do Brasil.

O Brasil é o maior produtor da cana-de-açúcar do mundo, bem como dos produtos açúcar, etanol e eletricidade tendo como fonte essa matéria prima. Além disso, o país é responsável por mais de 50% do açúcar comercializado no mundo (CONAB, 2015), e essa biomassa foi responsável por mais de 15,7% da Matriz Energética do Brasil em 2015 (EPE, 2015). O melhoramento genético da cana-de-açúcar tem elevada participação nesse contexto, pois a substituição contínua de variedades aumenta o rendimento médio dos produtos finais das empresas entre 1 e 2% ao ano (MING *et al.*, 2006). Em 2015 os indicadores agroindustriais do setor canavieiro brasileiro apresentaram área próxima a nove milhões de hectares, média de 70,5 TCH, açúcar total recuperável (ATR) médio de 136,8 kg por tonelada de cana, perfazendo rendimento médio próximo a dez toneladas de açúcar por hectare. Barbosa *et al.* (2012) apuraram o ganho atribuído ao melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil de 1970 a 2011 e relataram incremento médio anual de 155,7 kg de ATR por hectare, correspondente a 4% ao ano, sendo que metade desse índice se deveu a substituição contínua de variedades. Isto representou, em 2011, para uma área de nove milhões de hectares, uma contribuição do melhoramento genético de US\$ 175 milhões. Esse montante aponta para a grande contribuição da EFCSO para o país.

### Conclusões

Nesses cinquenta anos, as espiguetas/cariopses de cana-de-açúcar produzidas na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro deram origem a 94 variedades RB, que em 2015 ocuparam 68% da área canavieira do Brasil. Isto evidencia que as pesquisas realizadas na Serra do Ouro têm significativa participação na produção de açúcar e na matriz energética brasileira.

### Referências Bibliográficas

- BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S.; BARBOSA, G.V.S.; OLIVEIRA, R.A.; PETERNELLI, L.A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** S2, v.12, p.87-98, 2012.
- BRAGA JR., R. L.C.; OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, J. A. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos vinte anos. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.30, p.46-50, 2011.
- BURNQUIST, W.L.; REDSHAW, K.; GILMOUR, R.F. Evaluating sugarcane R&D performance: evaluation of three breeding programs. **International Society Sugar Cane Technologists**. v.27, p.1-15, 2010.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Primeiro levantamento Safra 2015/2016**. Brasília: CONAB, abril 2015. 28 p.
- DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA, G. V. S. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. Curitiba: Graciosa, 2015. 156 p.
- EPE. **Balanco Energético Nacional/Relatório síntese**. Brasília: EPE, 2015. 62 p.
- IAA. BRASIL/AÇÚCAR. Rio de Janeiro: MIC/IAA, **Coleção Canavieira n° 8**, 1972. 244 p.
- MANGELSDORF, A. J. Um programa de melhoramento da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira do Brasil. Rio de Janeiro: IAA/DAP, 1966. 63 p.
- MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K-K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. **Sugarcane improvement through breeding and biotechnology**. In: JANICK, J. (Ed.). *Plant Breeding Reviews*, v.27. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006. p. 15-118.
- OITICICA, J. E. R. **Revivescências. Maceió: Lumen Editoração Eletrônica**, 1994. 218 p.
- PLANALSUCAR. **Novas variedades RB**. Maceió: PLANALSUCAR, 1977. 29 p.

## ANÁLISE DE TRILHA VISANDO SELEÇÃO DE GENÓTIPOS COM ELEVADO RENDIMENTO DE SACAROSE EM FASES INICIAIS DO MELHORAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Cursi, D.E.<sup>1,2</sup>; Hoffmann, H.P.<sup>2,3</sup>; Chapola, R.G.<sup>2</sup>; Fernandes Júnior, A.R.<sup>2</sup>; Gazaffi, R.<sup>2,3</sup> Garcia, A.A.F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Departamento de Genética e Melhoramento de Plantas.

<sup>2</sup> Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar - RIDESA/UFSCar.

<sup>3</sup> Universidade Federal de São Carlos, Araras/SP - Departamento de Biotec. e Produção Animal e Vegetal.

### Resumo

O objetivo do presente trabalho foi identificar os principais caracteres a serem considerados durante a seleção em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar. Para isso, utilizaram-se dados provenientes de um experimento de seleção de família, instalado em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por dois sulcos com 5 m de comprimento. Os principais caracteres agrônômicos foram avaliados em 7.360 indivíduos, pertencentes a 92 famílias de irmãos-completos. De posse dos dados, formulou-se o diagrama de trilha. A predição dos valores genotípicos foi obtida por meio da abordagem de modelos mistos. Observou-se que os efeitos diretos dos dados genotípicos das variáveis altura e número médio de colmos apresentaram maiores efeitos para o incremento do rendimento de cana por hectare (TCH). Por outro lado, a seleção direta via Brix incrementou de forma indireta o componente Pol cana, ou seja, Brix pode ser utilizado como um bom indicador do potencial em se produzir PC. De forma conjunta, observou-se que as variáveis, altura, número médio de colmos e Brix apresentaram os maiores efeitos e as maiores correlações totais, indicando haver grande contribuição destas variáveis para o aumento do rendimento de Pol por hectare (TPH). Portanto, recomenda-se a seleção indireta para estes três caracteres objetivando o incremento do rendimento de Pol em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.*; Correlação entre caracteres; Irmãos-completos.

### Summary

The goal of this study was to identify the main characters to be considered during the selection at early stages of sugarcane breeding. Data were measured on a family selection trial set under a complete randomized block design with four replications, planted in double-row 5-m plots. The main agronomic traits were assessed in 7.360 individuals belonging to 92 full-sib families. Based on data, a path diagram was proposed. The genotypic prediction values were obtained through the mixed model approach. It was observed that the direct effects of genotypic data of the variables height and number of stalks had larger effects to increase the cane yield (TCH). In contrast, direct selection via Brix increased indirectly the component Pol cane, i.e. Brix can be used as a good indicator of the potential of producing PC. Jointly, it was observed that the variables height, average number of stalks and Brix had the greatest effect and the highest total correlation indicating that there is great contribution of these variables to increased Pol yield (TPH). Therefore, it is recommended indirect selection for these three characters aiming to increase the Pol yield at early stages of sugarcane breeding.

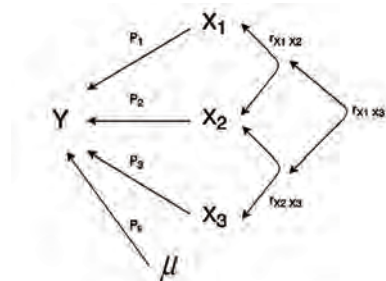
**Keywords:** *Saccharum spp.*; Correlation between traits; Full-sib families.

### Introdução

Os coeficientes de correlações, apesar de serem de grande utilidade na inferência do grau de associação entre caracteres, não permitem concluir sobre relações de causa e efeito. Dada à importância dessas relações, Wright (1921) desenvolveu uma forma de decompor as correlações entre um conjunto de variáveis de forma que fosse possível inferir a importância dos efeitos diretos e indiretos de variáveis independentes explicativas sobre uma variável dependente principal. Tal método é conhecido como análise de trilha (“*path analysis*”), cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas.

Normalmente, a relação de causa e efeito estabelece-se pelo conhecimento prévio do pesquisador de suas importâncias e de possíveis inter-relações expressas em “diagramas de trilha”. Por exemplo, considerando o caractere produtividade de cana por hectare (Y). Este é função (efeito) de vários componentes (fatores causais), como altura dos colmos (X1), diâmetro dos colmos (X2) e número de colmos (X3), conforme ilustra a (Figura 1).

**Figura 1.** Diagrama das relações de causa e efeito do caráter toneladas de cana por hectare (Y).



Na (Figura-1), fica claro que o caráter toneladas de cana por hectare (Y) é resultante de X1, X2 e X3 e de outro fator, ou conjunto de fatores residuais, denominado  $\mu$ . As variáveis X1, X2 e X3 são correlacionadas entre si; P1, P2, P3 e PE são os coeficientes de trilha ou de passo determinantes de Y. Subentende-se que Y é o efeito, e X1, X2, X3 e  $\mu$  as suas causas.

Assim, de forma generalizada, os coeficientes de trilha são estimados a partir do sistema de equação, sendo:

$$X'Y = \begin{bmatrix} r_{Y,X1} \\ r_{Y,X2} \\ \dots \\ r_{Y,Xn} \end{bmatrix} \quad X'X = \begin{bmatrix} 1 & r_{X1,X2} & \dots & r_{X1,Xn} \\ r_{X2,X1} & 1 & \dots & r_{X2,Xn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{Xn,X1} & r_{Xn,X2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{Y,X1} \\ \hat{\beta}_{Y,X2} \\ \dots \\ \hat{\beta}_{Y,Xn} \end{bmatrix}$$

de modo que se tenha:

$$r_{Yi} = \hat{\beta}_i + \sum_{j \neq i}^n \hat{\beta}_j r_{ij}$$

em que:

$r_{Yi}$  = correlação entre a variável principal (Y) e a i-ésima variável explicativa;

$\hat{\beta}_i$  = medida do efeito direto da variável i sobre a variável principal; e

$\hat{\beta}_j r_{ij}$  = medida do efeito indireto da variável i, via variável j, sobre a variável principal.

O coeficiente de determinação do diagrama de trilha é dado por:

$$R^2 = \hat{\beta}_{Y,X1} r_{Y,X1} + \hat{\beta}_{Y,X2} r_{Y,X2} + \dots + \hat{\beta}_{Y,Xn} r_{Y,Xn}$$

O efeito residual é assim estimado:

$$PE_{\mu} = (1 - R^2)^{1/2}$$

De acordo com Gonçalves e Fritsche-Neto (2012), as principais propriedades da análise de trilha são:

- I - a trilha ("path") é direcional e seus coeficientes, que expressam os efeitos diretos de caracteres, podem assumir valores maiores que a unidade, sendo negativos ou positivos;
- II - pode ser usada para comparar efeitos de caracteres mensuráveis em escalas diferentes, pois é um coeficiente de regressão padronizado;
- III - duas variáveis podem não ser correlacionadas, mas o coeficiente de trilha pode assumir valores diferentes de zero; e IV - duas variáveis podem ser completamente determinadas pela mesma causa em comum e, mesmo assim, não apresentarem correlação.

Com o desdobramento de coeficientes de correlação em seus efeitos diretos e indiretos, surgem algumas situações (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992):

- I - a correlação semelhante em sinal e magnitude com o efeito direto evidencia que a variável independente é determinante das variações na variável básica;
- II - se a correlação for positiva, mas seu efeito direto, negativo ou pequeno, deve ser considerado os efeitos indiretos; e
- III - a correlação negativa associada ao efeito direto positivo e alto indica que a variável independente não deve ser descartada.

A técnica de análise de trilha pode apresentar dificuldades, pois seus parâmetros são estimados a partir de matrizes de correlações ou covariâncias fenotípicas ou genotípicas, as quais podem ser mal condicionadas por efeito de multicolinearidade entre as variáveis envolvidas (ESPÓSITO, 2010). Segundo Cruz (2010), havendo multicolinearidade em níveis considerados moderados e severos, entre um conjunto de variáveis explicativas, torna-se difícil avaliar sua influência sobre a resposta na variável principal, e ignorar os seus efeitos pode provocar resultados danosos ou absurdos. Dessa forma, o diagnóstico de multicolinearidade deve ser feito de forma a viabilizar certos estudos.

O objetivo do presente trabalho foi identificar os principais caracteres a serem considerados durante a seleção em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar, com base em suas relações inferidas a partir da análise de trilha.

## Material e Métodos

Para a explicação das possíveis inter-relações de causa e efeito entre as principais variáveis, normalmente consideradas em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar, utilizou-se dados provenientes de 92 cruzamentos de irmãos-completos, realizados no ano de 2011, na Estação de Floração e Cruzamento da Serra do Ouro, município de Muricí-AL. No total, foram avaliados 7.360 indivíduos. Todas as etapas de avaliação foram realizadas na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus de Araras, SP, sendo uma das dez universidades pertencentes à Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA).

O experimento foi instalado em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por dois sulcos com 5 m de comprimento, espaçados a 1,4 m entre linhas, com dez plântulas por sulco (espaçadas a 0,5 m), perfazendo uma área total da parcela de 14m<sup>2</sup>. Os seguintes caracteres foram avaliados nos 7.360 indivíduos: i) número de colmos (NC): obtido pela contagem do número total de colmos em cada seedling (indivíduo); ii) diâmetro do colmo (DC): obtido pela medição do terço médio de um colmo por indivíduo, escolhido de forma aleatória, com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 1mm; iii) altura do colmo (AC): medida em centímetros, em um colmo por indivíduo, escolhido de forma aleatória, do nível do solo até a inserção da primeira folha, com o auxílio de uma trena graduada; iv) teor de sólidos solúveis (Brix): obtido através da medição no terço médio de um colmo por indivíduo, escolhido de forma aleatória, com o auxílio de um refratômetro de mão; e v) peso total da parcela (PP). Para a avaliação dos caracteres tecnológicos, fibra, pureza e Pol, foram amostrados, dentro de cada parcela, um colmo por plântula (*seedling*), somando um total de 20 colmos/parcela ou 80 colmos/repetição considerando as quatro repetições. Todas as amostras foram pesadas e, posteriormente, analisadas pelo Laboratório de Análises e Simulações Tecnológicas (LAST/UFSCar). O caráter toneladas de cana por hectare (TCH) foi estimado a partir da seguinte equação:

$$TCH = \frac{(PP \times 10)}{TP}$$

em que PP é o peso total da parcela e TP o tamanho da parcela em m<sup>2</sup>, neste caso igual a 14 m<sup>2</sup>. O caráter toneladas de Pol por hectare (TPH) foi obtido pela seguinte equação:

$$TPH = \frac{(TCH \times Pol\ cana)}{100}$$

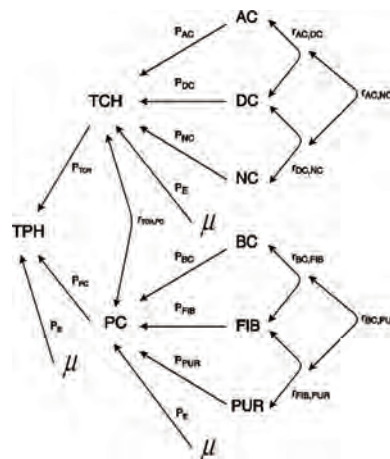
A partir dessas informações, formulou-se o diagrama de trilha, (Figura-2). Como a relação entre as variáveis primárias, secundárias e a variável principal (TPH) é multiplicativa, foi realizada a transformação dos dados para a escala logarítmica, de modo que fosse obtida a determinação completa do modelo aditivo de regressão linear múltipla.

Antes da execução da análise de trilha realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade nas matrizes de correlações genotípicas e fenotípicas, de acordo com o fator de inflação das variáveis, obtido por meio da seguinte equação (LIN, 2009):

$$VIF = \frac{1}{(1 - R^2)}$$

Considerou-se multicolinearidade severa, quando  $VIF \geq 10$  (GUJARATI, 2006; HAIR et al., 2009). Todas as análises foram executadas pelo software R (R TEAM DEVELOPMENT CORE, 2015), utilizando o pacote “agricolae” (versão 1.2-3).

**Figura 2.** Diagrama causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos de alguns componentes secundários, altura dos colmos (AC), diâmetro dos colmos (DC), número de colmos (NC), BRUX dos colmos (BC), teor de fibras (FIB) e pureza (PUR), sobre os componentes primários, toneladas de cana por hectare (TCH) e POL cana (PC), e a variável principal, toneladas de POL por hectare (TPH).



O valor genotípico de cada indivíduo foi predito com base no seguinte modelo estatístico:

$$y = Xr + Zg + Wp + \varepsilon$$

em que, y é a unidade de observação; r é o vetor de efeito de repetição, assumido como fixo; g é o vetor de efeito genotípico, assumido como aleatório; p é o vetor de efeito de parcela, assumido como aleatório; e ε é o erro. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

### Resultados e Discussão

Após a realização do diagnóstico de multicolinearidade dos dados fenotípicos e genotípicos, observa-se, na (Tabela 1), que todas as variáveis da Cadeia 2 estudadas, altura (AC), diâmetro (DC) e número médio de colmos (NC), Brix (BC), fibra (FIB) e pureza (PUR) não apresentaram colinearidade em nível considerados moderados a severos, com base no fator de inflação das variáveis ( $VIF \leq 10$ ). Portanto, nenhum processo alternativo precisou ser realizado para solucionar o problema adverso da multicolinearidade. Este resultado evidencia a existência de relação linear perfeita entre as variáveis de um modelo de regressão, ou seja, são estimativas confiáveis dos efeitos diretos e indiretos das variáveis da Cadeia 2 sobre a variável principal, toneladas de Pol por hectare (TPH).

**Tabela 1.** Análise de trilha com dados fenotípicos e genotípicos e estimativas dos efeitos diretos ( $\pi_i$ ) e indiretos ( $\pi_i R_{ij}$ ) das variáveis da cadeia 2: altura média dos colmos (AC), diâmetro médio dos colmos (DC) e número médio de colmos (NC), teor médio de sólidos solúveis (BRX), teor médio de fibras (FIBRA) e teor médio de pureza (PUREZA), sobre a variável principal toneladas de pol por hectare (TPH).

Associação - TPH (Cadeia 2) versus	Dados fenotípicos			Dados genotípicos		
	Efeito direto ( $\pi_i$ )	Efeito indireto ( $\pi_i R_{ij}$ )	Correlação ( $r_{ij}$ )	Efeito direto ( $\pi_i$ )	Efeito indireto ( $\pi_i R_{ij}$ )	Correlação ( $r_{ij}$ )
<b>Variável Altura dos Colmos</b>						
Efeitos:	0,3226			0,4645		
Indireto via Diâmetro		0,0870			0,0679	
Indireto via NC		0,0421			0,0785	
Indireto via Brix		0,0874			0,0726	
Indireto via Fibra		-0,0011			-0,0083	
Indireto via Pureza		0,0320			-0,0053	
Total (Direto + Indireto)			0,5700			0,6700
<b>Variável Diâmetro dos Colmos</b>						
Efeitos:	0,1933			0,1213		
Indireto via Altura		0,1452			0,2601	
Indireto via NC		-0,0211			-0,0124	
Indireto via Brix		0,0556			0,1117	
Indireto via Fibra		0,0014			0,0226	
Indireto via Pureza		0,0256			-0,0133	
Total (Direto + Indireto)			0,4000			0,4900
<b>Variável Número de Colmos</b>						
Efeitos:	0,2631			0,4132		
Indireto via Altura		0,0516			0,0883	
Indireto via Diâmetro		-0,0155			-0,0036	
Indireto via Brix		-0,0185			-0,1285	
Indireto via Fibra		-0,0005			-0,0015	
Indireto via Pureza		-0,0102			0,0222	
Total (Direto + Indireto)			0,2700			0,3900
<b>Variável Brix</b>						
Efeitos:	0,2648			0,5587		
Indireto via Altura		0,1065			0,0604	
Indireto via Diâmetro		0,0406			0,0243	
Indireto via NC		-0,0184			-0,0950	
Indireto via Fibra		-0,0023			-0,0203	
Indireto via Pureza		0,1089			-0,0780	
Total (Direto + Indireto)			0,5000			0,4500
<b>Variável Fibra</b>						
Efeitos:	-0,0079			-0,0886		
Indireto via Altura		0,0452			0,0279	
Indireto via Diâmetro		-0,0329			0,0182	
Indireto via NC		0,0158			-0,1033	
Indireto via Brix		0,0768			0,4917	
Indireto via Pureza		0,0231			-0,0158	
Total (Direto + Indireto)			0,1200			0,3300
<b>Variável Pureza</b>						

continua ...

Variável Pureza

A análise de trilha com dados fenotípicos e genotípicos e as estimativas dos efeitos diretos e indiretos explicam de forma eficiente a variação da variável toneladas de Pol por hectare, como indicado pelo alto valor do coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,5214$  e  $0,7480$ ), assim como, o baixo valor do efeito residual ( $PE = 0,6918$  e  $0,5020$ ).

Considerando os efeitos diretos dos dados fenotípicos e genotípicos sobre toneladas de Pol por hectare, observa-se que as variáveis, altura, número médio de colmos e Brix apresentam os maiores efeitos e as maiores correlações totais, com exceção da variável diâmetro dos colmos, indicando haver grande contribuição destas variáveis para o aumento do rendimento de Pol por hectare. Além disso, tanto os efeitos diretos quanto a correlação, para todos os caracteres, apresentam valores semelhantes em magnitude e sinal, portanto, estas correlações explicam a verdadeira associação existente.

No que diz respeito às variáveis, diâmetro dos colmos e pureza, apesar de apresentarem alto valor de correlação fenotípico e genotípico os efeitos diretos são relativamente baixos. Segundo Cruz *et al.* (2004), isto ocorre devido à ação indireta de outras variáveis, neste caso, altura dos colmos e Brix, respectivamente.



Por outro lado, os efeitos indiretos que apresentam valores negativos indicam que a variável em questão não pode ser considerada como sendo uma relação de causa e efeito. Neste caso, a seleção indireta de diâmetro (DC) via número de colmos (NC) reduz consideravelmente o rendimento de Pol por hectare. O mesmo ocorre se realizado uma seleção indireta de número de colmos (NC) via Brix dos colmos (BC), a qual também contribuirá na redução do rendimento de açúcar por hectare, conforme indicam os valores negativos dos efeitos fenotípicos e genotípicos indiretos, -0,0185 e -0,1285, respectivamente.

A análise de trilha para a variável toneladas de cana por hectare (TCH) e seus componentes primários, altura (AC), diâmetro (DC) e número médio de colmos (NC) forneceu conhecimento quanto à grandeza dos efeitos diretos na produção de cana e dos efeitos indiretos através de outros componentes. Assim como para as variáveis TCH e PC, o diagnóstico de multicolinearidade dos dados fenotípicos e genotípicos dos componentes primários sobre TCH apresentaram baixa colinearidade, com base no fator de inflação das variáveis (VIF  $\leq$  10), conforme (Tabela-2). Este resultado evidencia que são confiáveis as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias sobre a variável principal.

**Tabela 2.** Análise de trilha com dados fenotípicos e genotípicos e estimativas dos efeitos diretos ( $P_i$ ) e indiretos ( $P_i.R_{ij}$ ) das variáveis: altura média dos colmos (AC), diâmetro médio dos colmos (DC) e número médio de colmos (NC), sobre toneladas de cana por hectare (TCH).

Efeitos:	0,1281	-0,0886	
Indireto via Altura	0,0807	0,0279	
Indireto via Diâmetro	0,0387	0,0182	
Indireto via NC	-0,0211	-0,1033	
Indireto via Brix	0,2251	0,4917	
Indireto via Fibra	-0,0014	-0,0158	
Total (Direto + Indireto)	0,4500	0,3300	
Fator de Inflação das Variáveis - VIF			
Altura dos colmos	1,4810	1,7961	
Diâmetro dos colmos	1,4126	2,0238	
Número de colmos	1,0746	1,1409	
Brix	4,0852	4,8405	
Fibra	1,2140	1,4560	
Pureza	3,6865	4,5317	
Resíduo ( $P_E$ )	0,6918	0,5020	
Coefficiente de determinação ( $R^2$ )	0,5214	0,7480	
$r_{ij}$ : coeficiente de correlação.			

Entretanto, o baixo valor do coeficiente de determinação para os dados fenotípicos ( $R^2 = 0,3401$ ) sugere que as estimativas dos efeitos direto e indireto não expliquem de forma eficiente a variação sobre a variável toneladas de cana por hectare, assim como, o alto valor do efeito residual ( $P_E = 0,8123$ ). Segundo Kang *et al.* (1983), quando os valores de coeficientes de correlações fenotípicos e genotípicos são diferentes em magnitude ou sentido, as correlações genotípicas são intrinsecamente mais úteis que as fenotípicas. Neste sentido, e por apresentarem maior valor de coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,5651$ ), somente os resultados genotípicos serão apresentados a seguir.

Em relação aos efeitos diretos dos dados genotípicos, observa-se na (Tabela 2) que os efeitos das variáveis altura e número médio de colmos apresentam maiores efeitos para o incremento do rendimento de cana por hectare (TCH). Em estudo de análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes de rendimento, Espósito *et al.* (2012) relatou que a variável NC foi a que maior contribuiu para o incremento de TCH. Por outro lado, Chaudhary *et al.* (2005) preconiza a seleção via altura e peso individual dos colmos.

Em contrapartida, observa-se que a prática da seleção indireta via número de colmos não estaria contribuindo para o incremento da variável diâmetro dos colmos. Isto pode ser explicado devido ao valor do efeito indireto praticamente nulo (0,0185). O mesmo pode ser observado quando se realiza uma seleção indireta para número de colmos via diâmetro dos colmos. O valor do efeito indireto é negativo (-0,0074), ou seja, os caracteres são inversamente relacionados e em direções opostas. Este fenômeno é conhecido como correlação negativa (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Na (Tabela 3), estão apresentados os efeitos diretos e indiretos dos componentes primários, Brix (BC), fibras (FIB) e pureza (PUR) sobre a variável Pol cana (PC), em condição de multicolinearidade fraca (VIF  $\leq$  10). Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) fenotípico e genotípico foram superiores a 0,99 e os efeitos residuais inferiores a 0,07. Assim, o modelo explicativo adotado expressou a relação de causa e efeito entre as variáveis primárias e a variável PC.

Verifica-se que os dados fenotípicos e genotípicos das estimativas dos efeitos direto e indireto, assim como os coeficientes de correlação, são bastante semelhantes em magnitude e sinal. Dentre as variáveis dos componentes primários, observa-se que Brix e pureza são as que apresentam maiores correlações com a variável principal; entretanto, a variável Brix possui efeito direto maior. Portanto, sugere-se que a seleção direta via Brix incrementa de forma indireta o componente Pol %cana, ou seja, Brix pode ser utilizado como um bom indicador do potencial em se produzir PC.

**Tabela 3.** Análise de trilha com dados fenotípicos e genotípicos e estimativas dos efeitos diretos ( $\pi_i$ ) e indiretos ( $\pi_i r_{iy}$ ) das variáveis: teor médio de sólidos solúveis (BRIX), teor médio de fibra (FIBRA) e teor médio de pureza (PUREZA), sobre POL CANA (PC).

Associação - TCH versus	Dados fenotípicos			Dados genotípicos		
	Efeito direto ( $\pi_i$ )	Efeito indireto ( $\pi_i r_{iy}$ )	Correlação ( $r_{iy}$ )	Efeito direto ( $\pi_i$ )	Efeito indireto ( $\pi_i r_{iy}$ )	Correlação ( $r_{iy}$ )
Variável Altura dos Colmos						
Efeitos:	0,3396			0,4961		
Indireto via Diâmetro dos Colmos		0,0904			0,1059	
Indireto via Número de Colmos		0,0499			0,0880	
Total (Direto + Indireto)			0,4800			0,7000
Variável Diâmetro dos Colmos						
Efeitos:	0,2055			0,1857		
Indireto via Altura dos Colmos		0,1494			0,2828	
Indireto via Número de Colmos		-0,0250			-0,0185	
Total (Direto + Indireto)			0,3200			0,4600
Variável Número de Colmos						
Efeitos:	0,2055			0,4632		
Indireto via Altura dos Colmos		0,1494			0,0943	
Indireto via Diâmetro dos Colmos		-0,0250			-0,0074	
Total (Direto + Indireto)			0,3600			0,5600
Fator de Inflação das Variáveis - VIF						
Altura dos colmos		1,4780			1,4780	
Diâmetro dos colmos		1,2501			1,2501	
Número de colmos		1,1458			1,1458	
Resíduo ( $P_E$ )		0,8123			0,6807	
Coefficiente de determinação ( $R^2$ )		0,3401			0,5651	

$r_{iy}$  : coeficiente de correlação.

### Conclusões

Com base na análise de trilha, a seleção em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar deve ser fundamentada em mais de um caráter, visando à seleção indireta de TPH, sendo eles: número de colmos, altura e Brix.

### Agradecimentos

A toda equipe do Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da RIDEA/UFScar, pela grande contribuição na coleta dos dados fenotípicos.

### Referências Bibliográficas

- CHAUDHARY, R.R.; JOSHI, B.H. **Correlation and Path Coefficient Analyses in Sugarcane**. Nepal Agric. Res. J. Vol. 6, 2005.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. 390p.
- CRUZ, C.D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa: UFV, 2006.
- ESPÓSITO, D.P. **Análise de trilha em dados de produção e tecnológicos de cana-de-açúcar. Dissertação de mestrado (Estatística Aplicada a Biometria)**. Viçosa: UFV, 2010.
- ESPÓSITO, D.P.; PETERNELLI, L.A.; DE PAULA, T.O.M.; BARBOSA, M.H.P. **Análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes do rendimento na seleção de famílias de cana-de-açúcar**. Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.1, p.38-44, jan, 2012.
- GONÇALVES, M.C.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Tópicos especiais de biometria no melhoramento de plantas**. Visconde de Rio Branco. 282 p.1. ed. 2012.
- GUJARATI, D. **Econometria básica**. Tradução de M.J. CYHLAR. Elsevier. 4. Ed. 812p. 2006.
- HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, D.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. Bookman, 6.ed. 2009.
- KANG, M.; MILLER, J.; TAI, P. **Genetic and Phenotypic Path Analyses and Heritability in Sugarcane**. *Crop Science Society of America*. V.23. p. 643-647. 1983.
- LIN, D.; FOSTER, D.P. **VIF regression: A fast regression algorithm for large data**. Proceedings – IEEE International Conference on Data Mining, ICDM. P. 848-853. 2009.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2009. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Associação entre caracteres**. In: Genética Biométrica no Fitomelhoramento, capítulo 5. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, 496p. 1992.
- WRIGHT, S. **Correlation and causation**. *Journal of Agricultural Research*. v.20, p. 557-585. 1921.

## EVOLUÇÃO DO CULTIVO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS DE 1970 A 2015

Geraldo V. S. Barbosa<sup>1</sup>; Carlos A. Diniz<sup>1</sup>; João M. Santos<sup>1</sup>; Marcelo M. Cruz<sup>1</sup>; Antônio J. R. Sousa<sup>1</sup>; Carlos A. G. Ribeiro<sup>1</sup>; Antônio J. A. Viveiros<sup>1</sup>; Francisco Sampaio Filho<sup>1</sup>; Iêdo Teodoro<sup>1</sup>; Lailton Soares<sup>1</sup>; Vera L. D. Torres<sup>1</sup>; Bruno F. C. Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Centro de Ciências Agrárias, RIDESA, Campus Delza Gitai, BR104 Norte, km 85, 57.072-900, Rio Largo, AL

*gvsbarbosa@gmail.com*

Na safra 1970/1971, Alagoas cultivou 175 mil hectares de cana-de-açúcar, a moagem era de 6,4 milhões de toneladas de cana, que se transformaram em 0,6 milhão de toneladas de açúcar e 12,4 milhões de litros de etanol. Predominava o cultivo das variedades Co331 e CB45-3, com baixos rendimentos em açúcar. Investimentos realizados pelos setores públicos e privados desenvolveram variedades modernas. Com área de 385,3 mil hectares na safra 2014/2015, foram colhidas 22,4 milhões de toneladas de cana, que se transformaram em 1,9 milhão de toneladas de açúcar e 516,9 milhões de litros de etanol. Este trabalho pretende registrar a evolução do censo de cultivo de variedades da cana-de-açúcar em Alagoas, entre as safras 1970/1971 e 2014/2015. Cinco variedades lideraram a área de cultivo: Co331, CB45-3, RB72454, SP79-1011 e RB92579. O melhoramento genético deu grande contribuição para essa cadeia produtiva, uma vez que em 2015 as variedades RB atingiram quase dois terços da área cultivada.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.* Melhoramento genético. Censo varietal.

### Summary

In the 1970/1971 harvest, the state of Alagoas cultivated 175,000 hectares of sugarcane, the milling was of 6.4 million tons of sugarcane, which produced 0.6 million tons of sugar and 12.4 million liters of ethanol. At that time, the cultivation of varieties Co331 and CB45-3 predominated, which had low sugar yielding. Investments done by the public and private sectors, developed and introduced modern varieties. With 385,300 hectares in the 2014/2015 harvest, 22.4 million tons of sugarcane were harvested, which were transformed into 1.9 million tons of sugar and 516.9 million liters of ethanol. This work intends to register the evolution of the cultivation census of sugarcane varieties in Alagoas, between the harvests of 1970/1971 and 2014/2015. The following five varieties have led the cultivation area: Co331, CB45-3, RB72454, SP79-1011 and RB92579. The genetic improvement has given great contribution to this productive chain, since in 2015 the RB varieties reaching almost two-thirds of the cultivated area.

**Keywords:** *Saccharum spp.* Genetic improvement. Variety census.

### Introdução

Em Alagoas, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar tem grande importância socioeconômica. Historicamente, o Estado sempre esteve entre os principais produtores do Brasil. Na safra 1970/1971, os canaviais alagoanos ocupavam área de 175 mil hectares, a moagem era de 6,4 milhões de toneladas de cana, que se transformaram em 0,6 milhão de toneladas de açúcar e 12,4 milhões de litros de etanol. Os rendimentos agroindustriais eram muito baixos, caracterizados por pouco uso de tecnologias. Nos canaviais predominava o cultivo das variedades Co331, com 68% e CB45-3, com 20% (IAA, 1972).

Em 1966 foi criada a Estação Experimental da Cana-de-açúcar de Alagoas (EECAA), convênio entre o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e o Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas (SINDAÇÚCAR-AL), que estabeleceu a Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, em Murici, Alagoas, constituindo um Banco de Germoplasma com espécies do gênero *Saccharum* e híbridos de diversos programas mundiais de melhoramento genético da cultura. A Serra do Ouro, em 1971 passou para o PLANALSUCAR, tornando-se base de obtenção de cariópses das variedades RB - República do Brasil (BARBOSA et al., 2002; BARBOSA et al., 2012).

Em 1990 ocorreu a extinção do IAA e, conseqüentemente, do PLANALSUCAR. As unidades desse órgão de pesquisa foram incorporadas por Universidades Federais, havendo a transferência das estruturas físicas, tecnológicas e de recursos humanos para as Universidades Federais de Alagoas (UFAL), Rural de Pernambuco (UFRPE), Viçosa-MG (UFV), São Carlos-SP (UFSCar), Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Paraná (UFPR), Sergipe (UFS), Goiás (UFG), Mato Grosso (UFMT) e Piauí (UFPI). Essas Universidades instituíram a RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético) e definiram um modelo institucional para o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA). Atuam conjuntamente por meio de convênios, e mantêm acordos de parceria com empresas do setor sucroenergético para o desenvolvimento de cultivares RB (BARBOSA et al., 2012; DAROS et al., 2015).

De outra parte, em 1983, a Cooperativa Regional dos Produtores do Açúcar e Alcool de Alagoas, através do Núcleo de Absorção e Transferência de Tecnologias (NATT), estabeleceu parceria com a COPERSUCAR, para importação e testagem em Alagoas de clones SP (CARVALHO, 2000).

Com base nessas ações público-privadas houve grande mudança no uso de tecnologias, tais como: a adoção de modernas cultivares RB e SP, melhora no manejo da cultura (irrigação, adubação, controle de pragas etc.), e maior eficiência na recuperação industrial dos açúcares da cana (DAROS et al., 2015). Com área de 385,3 mil hectares na safra 2014/2015, foram colhidas em Alagoas 22,4 milhões de toneladas de cana, que se transformaram em 1,9 milhão de toneladas de açúcar e 516,9 milhões de litros de etanol (SINDAÇÚCAR, 2015).

Este trabalho pretende registrar a evolução do censo de cultivo de variedades da cana-de-açúcar em Alagoas, entre as safras 1970/1971 e 2014/2015.

### Materiais e Método

Os dados foram obtidos por meio de levantamentos realizados em publicações do IAA/PLANALSUCAR (Relatórios Anuais de 1972 a 1985), NATT (Relatórios Anuais de 1986 a 2004); PMGCA/UFAL/RIDESA (Relatórios Anuais de 1995 a 2015), e também com a aplicação de questionários nas empresas do setor sucroenergético alagoano, contendo as informações sobre área colhida para cada variedade, em hectares. Os dados foram analisados e apresentados em tabelas e gráficos.

**Tabela 1.** Percentagem de área cultivada das principais variedades de cana-de-açúcar em alagoas, entre 1970 e 2015.

VARIETADE	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
B34104	0,9									
B4362			0,3							
CB41-76	0,8									
CB45-155	0,4	0,2								
CB45-27	1,2	0,4	1,2	0,7						
CB45-3	19,5	24,2	39,8	41,8	61,7	29,7	9,7	0,5		
CB47-15			0,4							
CB47-355				0,4						
CB56-20	1,2			0,5						
Co331	68,0	70,1	43,2	26,2	9,5	1,0	0,1			
Co419	2,3	0,6								
Co421	0,6	0,2								
Co997				4,6	17,0	19,3	8,7	1,8	0,7	
CP51-22		1,7	1,8	3,1	1,9	2,9	0,4			
CTC2										1,7
CTC21										0,5
IAC52-148		0,2	0,8							
IANE55-33		0,4	0,5							
IANE55-34		0,2								
NA56-79				0,7	3,8	1,9	0,7			
RB70141			2,4	1,0	0,2					
RB70194			5,4	5,2	0,2					
RB72454					3,0	21,2	14,0	5,3	0,9	
RB75126							3,9	3,6	0,8	
RB83102						0,6	8,6	2,2	0,2	
RB83160								3,4	0,9	
RB855113									1,2	
RB855463								2,8	0,8	
RB863129									0,8	1,9
RB867515								0,2	11,6	12,3
RB92579								6,6	27,6	34,7
RB93509								0,9	4,6	6,1
RB931003										0,4
RB931011									0,7	1,0
RB951541									0,3	4,2
RB98710									0,1	0,8
RB011518										0,4
SP70-1143					1,4	9,6	8,2			
SP71-1406					1,3	11,4	6,1	0,4		
SP71-6949						1,8	6,9	4,2	1,6	0,6
SP78-4764							3,6	3,8	1,3	0,6
SP79-1011						0,4	11,7	32,9	21,2	12,8
SP81-3250							2,8	14,2	9,0	7,6
VAT90-212							0,3	3,3	5,8	5,7
OUTRAS	5,1	1,7	4,3	15,9	0,0	0,1	8,9	5,0	6,3	5,5
OUTRAS RB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	9,0	3,5	3,1
ÁREA RECENSEADA (mil ha)	170,0	319,1	382,4	460,1	264,9	230,8	257,0	216,4	302,2	238,8

### Resultados e Discussão

A (Tabela 1) contém a série histórica da área cultivada, em percentagem, das principais variedades de cana-de-açúcar em Alagoas, entre 1970 e 2015. Verifica-se que cinco variedades ocuparam posição de liderança neste período.

Nas décadas de 1970 e 1980 prevaleceu o cultivo de variedades estrangeiras (siglas B, Co, CP e NA) ou variedades de programas de melhoramento nacionais obtidas até o ano de 1950 (siglas CB, IAC e IANE). A variedade Co331 foi a mais cultivada no início da década de 1970 e liderou essa posição até 1980, deixando de ser cultivada a partir de 1995. Registre-se que esta variedade ocupou 19% dos canaviais do Brasil (BARBOSA *et al.*, 2012), mas seu cultivo ficou restrito à Região Nordeste, dada a sua rusticidade e tolerância à seca; também a Co331 não foi adotada na Região Centro-Sul devido à suscetibilidade à doença Carvão (*Sporisorium scitamineum*) (SEGALLA; ALVAREZ, 1956).

Entre 1985 e 1995, quem predominou nos canaviais alagoanos foi a CB45-3, devido à sua característica de bom rendimento agrícola. Esta variedade atingiu 61,7% da área em 1990, mas pelo seu baixo conteúdo de sacarose deixou de ser plantada a partir de 2005. A CB45-3 foi

a variedade mais cultivada no Brasil entre 1985 e 1995, mas também devido à suscetibilidade ao Carvão, seu plantio se restringiu à Região Nordeste, e aos Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (BARBOSA *et al.*, 2012). Conforme Matsuoka *et al.* (2005), as variedades Co331 e CB45-3 foram as que tiveram a maior durabilidade de cultivo nos canaviais do Brasil no século passado. Ressalte-se que a Co331 e CB45-3 foram adotadas pelos produtores alagoanos por mais de meio século, considerando o momento de suas introduções em Alagoas e o período avaliado neste estudo.

A RB72454, selecionada em Alagoas pelo PLANALSUCAR e liberada em 1987 para as demais Regiões do Brasil, tem alto rendimento agrícola e bom conteúdo em sacarose. Nos canaviais de Alagoas esteve à frente entre as safras 1995 e 2000. É importante realçar que a RB72454 foi a cultivar de maior potencial produtivo dentre todas aquelas desenvolvidas pelo PLANALSUCAR (BARBOSA *et al.*, 2012). Também foi a mais plantada no Brasil de 1997 a 2007 (BRAGA JR. *et al.*, 2011; BARBOSA *et al.*, 2012). No entanto, nos ambientes de Alagoas e do Nordeste brasileiro, ela apresenta alta sensibilidade à escassez hídrica, o que ocasionou declínio da sua área plantada.

A SP79-1011 liderou a partir de 2000, por conta da sua rusticidade, tolerância à seca, estabilidade de rendimento agrícola e bom conteúdo em sacarose. No entanto, ela tem mediana produtividade, sendo pouco responsiva à melhoria ambiental. Atingiu o topo em 2005 (32,9% da área), mas gradativamente tem sido substituída por outras variedades de maior rendimento agroindustrial. Esta variedade ocupou expressiva área no Brasil, com 10,4% em 2005 (BARBOSA *et al.*, 2012) e obteve média de 7% da área cultivada no Brasil de 1991 a 2010 (BRAGA JR. *et al.*, 2011).

A RB92579, liberada em 2003 pela UFAL/RIDESA, desde então tem apresentado alta taxa de crescimento do percentual de cultivo nos canaviais alagoano. A partir de 2005 ela comanda a área cultivada, em decorrência do seu elevado rendimento agroindustrial, que é de 30 a 40% superior aos genótipos utilizados comercialmente antes de 2003 e 60% superior as mais usadas entre 1970 a 1990. Indubitavelmente, o desenvolvimento deste híbrido foi um marco histórico da contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar, pois tem impactado a produtividade da cultura no Estado e na Região Nordeste do Brasil. De acordo com Daros *et al.* (2015), a RB92579 foi colhida em 2015 em 37% dos canaviais da Região Nordeste do Brasil, representando ainda área significativa de 7% dos canaviais do Brasil, conceito atribuído por Braga Jr. *et al.* (2011) quando a variedade, em pelo menos um ano, atinge o percentual de 5% ou mais do cultivo de uma região.

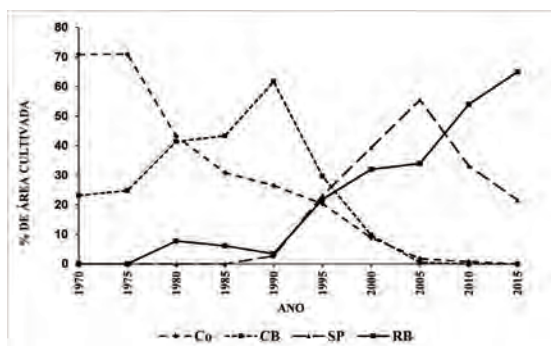
Também tiveram áreas significativas e acima de 5% até o ano 2000: RB70194, Co997, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949 e RB83102. As demais variedades ocuparam áreas inferiores a 5%. Alguns desses genótipos que tiveram áreas significativas foram preteridos para os plantios pelos produtores em virtude de serem suscetíveis a doenças: as cultivares NA56-79, SP70-1143, SP71-1406 e RB83102 foram afetadas pela Ferrugem Marrom (*Puccinia melanocephala*); e Co997 foi afetada pelo Raquitismo das Soqueiras (*Leifsonia xyli subsp. xyli*). Matsuoka *et al.* (2009) afirmam que a cana-de-açúcar é afetada por doenças que causam queda de rendimentos em açúcar e provocam a substituição de importantes variedades. Afirmaram ainda que a liberação de um grande número de cultivares no Brasil nas últimas décadas reduziu o risco de perdas de safras provocadas por doenças.

A partir do ano 2000, além da SP79-1011 e RB92579, as variedades com maiores participações no censo foram: SP81-3250, que atingiu 14,2% em 2005, mas teve reduzida sua parcela nos últimos anos por conta da sua suscetibilidade a Ferrugem Alaranjada (*Puccinia kuehni*); RB867515, RB93509 e VAT90-212, que em 2015 atingiram 12,3%, 6,1% e 5,7%, respectivamente, devem permanecer nesse patamar nos próximos anos. Ressalte-se que a SP81-3250 foi uma das mais importantes variedades para o Brasil nas últimas dez safras (BRAGA JR. *et al.*, 2011; BARBOSA *et al.*, 2012) e que a RB867515, selecionada pelo PLANALSUCAR, em Minas Gerais e liberada pela UFV/RIDESA em 1997 (BARBOSA *et al.*, 2001), é atualmente, a cultivar mais importante para o Brasil e ocupou 22,1% da área plantada no país em 2011 (BARBOSA *et al.*, 2012).

Além dessas variedades com resultados significativos de áreas cultivadas, pode-se elencar as mais recentes liberações dos principais programas de melhoramento genético, que estão com áreas crescentes de plantio em Alagoas, com destaque para as variedades RB951541 e CTC2, além do clone RB011518.

O reflexo do melhoramento genético para a economia canieira alagoana pode ser apurado pelo alto nível de adoção das cultivares RB no Estado, vez que atingiu 65% da área cultivada em 2015 (Figura 1). Note-se que até 1975 havia o domínio da sigla Co, que atingiu cerca de 70% da área; entre 1980 e 1995 liderou a sigla CB, atingindo até 62% da área; de 1995 até 2005 predominou a sigla SP, atingindo 55,5% em 2000; e desde 2005 lidera a sigla RB. O melhoramento genético da cana-de-açúcar tem elevada participação nos ganhos de rendimento médio dos produtos finais das empresas do setor sucroenergético mundial, entre 1 e 2% ao ano (MING *et al.*, 2006). Barbosa *et al.*, (2012) apuraram o ganho atribuído ao melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil e relataram incremento médio anual de 155,7 kg de ATR por hectare, correspondente a 4% ao ano, sendo que metade desse índice se deveu a substituição contínua de variedades, representando, uma contribuição do melhoramento genético de US\$ 175 milhões por ano.

**Figura 1.** Evolução do cultivo de variedades de cana-de-açúcar por sigla em alagoas, no período de 1970 a 2015.



### Conclusões

Os resultados analisados e discutidos neste artigo permitem as seguintes conclusões com respeito ao uso de variedades de cana-de-açúcar em Alagoas entre 1970 e 2015: Cinco variedades lideraram a área de cultivo: CO331, CB45-3, RB72454, SP79-1011 e RB92579. As variedades RB apresentaram significativo crescimento nesse período, atingindo quase dois terços da área cultivada em 2015. Em diversos períodos, o melhoramento genético deu grande contribuição para essa cadeia produtiva. Mas, acertadamente, o marco maior foi a cooperação entre agentes públicos e privados, que estabeleceram em 1966 o Banco de Germoplasma da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, sob o comando do programa de melhoramento da UFAL/RIDESA, que foi fundamental para o desenvolvimento das cultivares RB, em parceria com demais Universidades da RIDESA e empresas do setor sucroenergético brasileiro.

### Referências Bibliográficas

- BARBOSA, M.H.P.; SILVEIRA, L.C.I.; OLIVEIRA, M.W.; SOUZA, V.F.M.; RIBEIRO, S.N.N. RB867515 **Sugarcane cultivar. Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p.437-438, 2001.
- BARBOSA, G.V.S.; CRUZ, M.M.; SOARES, L.; ROCHA, A.M.C.; RIBEIRO, C.A.G.; SOUZA, A.J.R.; FERREIRA, J.L.C.; BARRETO, E.J.S.; SILVA, W.C.M.; SANTOS, A.V.P. A brief report on sugarcane breeding program in Alagoas, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, p.613-616, 2002.
- BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S.; BARBOSA, G.V.S.; OLIVEIRA, R.A.; PETERNELLI, L.A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology S2**, v.12, p.87-98, 2012.
- BRAGA JR., R. L.C.; OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, J. A. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos vinte anos. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.30, p.46-50, 2011.
- CARVALHO, C. P. O. Análise da reestruturação produtiva da agroindústria sucro-alcooleira alagoana. Maceió: EDUFAL, 2000. 74p.
- DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA, G. V. S. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. Curitiba: Graciosa, 2015. 156 p.
- IAA. BRASIL/AÇÚCAR. Rio de Janeiro: MIC/IAA, **Coleção Canavieira nº 8**, 1972. 244 p.
- MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento de cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed., Viçosa: Editora da UFV, p.205 – 274. 2005.
- MATSUOKA, S.; FERRO, J.; ARRUDA, P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. **In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant**, v.45, p.372–381, 2009.
- MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K-K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. **Sugarcane improvement through breeding and biotechnology**. In: JANICK, J. (Ed.). *Plant Breeding Reviews*, v.27. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006. p. 15-118.
- SEGALLA, A. L.; ALVAREZ, R. **Ensaio de variedades de cana de açúcar: I-Série de ensaios realizados de 1951 a 1954**. Bragantia, v.15, p.373-392, 1956.
- SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió, 2015. Disponível em: <http://www.sindicucar-al.com.br>. Acesso em: 06 de maio de 2016.

## IDENTIFICAÇÃO DE CRUZAMENTOS PROMISSORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, FASE UM DE SELEÇÃO (FS1), COM BASE NOS TEORES DE BRIX DO CALDO, DETERMINADO NO CAMPO

Victor Hugo Pavelqueires da Silva<sup>1</sup>; Mauro Alexandre Xavier<sup>2</sup>;  
Luiz Antônio de Bastos Andrade<sup>3</sup>; Augusto Ramalho de Morais<sup>3</sup>

<sup>1</sup>FUNDAG – Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola – Campinas, SP  
<sup>2</sup>IAC/APTA – Centro de Cana-de-açúcar – C.P. 206 – Ribeirão Preto, SP  
<sup>3</sup>UFLA – Av. Doutor Sylvio Menicucci, 1001 – Lavras, MG

mxavier@iac.sp.gov.br

### Resumo

Dos fatores de produção de cana-de-açúcar, a variedade ocupa lugar de destaque. Por isso, novas e melhores variedades têm sido disponibilizadas a cada ano no Brasil pelos programas de melhoramentos. O objetivo deste trabalho foi o de identificar cruzamentos promissores do Programa de Melhoramento de Cana-de-açúcar do IAC-SP, que apresentavam na fase F1, maiores teores de Brix caldo, auxiliando na formação de um banco de germoplasma. O material utilizado originou-se de seleção a partir de cruzamentos realizados em estação de hibridação na Bahia, série 2007, fase um de seleção. Foram avaliados três cruzamentos diferentes (“Cruz. 10”, “Cruz. 510” e “Cruz. 557”), através de estudos de análise de variância, distribuição normal e probabilidade verificou-se que o “Cruz. 10” mostrou-se como mais promissor para auxiliar na composição de um Banco de Germoplasma.

### Summary

Regarding sugarcane production factors, variety occupies a prominent place. Therefore, new and improved varieties have been released every year in Brazil by the improvement programs. The aim of this study was to identify promising crosses from the Improvement Program of Cane Sugar IAC-SP, which had stage F1, higher levels of Brix juice, in orders to assist in the formation of a germplasm bank. The material used originated from selection from crosses made at the experimental station, 2007 series of hybridization, a phase of selection. We evaluated three different crosses (“Cross. 10., 510” and “Cross. 557”), through studies of analysis of variance, normal distribution and probability it was found that the “Cross. 10” proved to be most promising to be a Germplasm Bank.

**Palavras-chave:** *quimiotaxonomia*, *Saccharum spp.*, banco de germoplasma.

### Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com uma produção de 665,6 milhões de toneladas, área cultivada de 8,65 milhões de ha, produção de açúcar de 33,5 milhões de toneladas e de etanol de 30,5 bilhões de litros (Conab – safra 15/16). Dentre os fatores de produção de cana-de-açúcar a questão varietal ocupa lugar de destaque. Assim, a cultivar é a tecnologia mais importante e de maior custo para o produtor, já que na produção de energia, álcool, açúcar e outros produtos passa necessariamente pela produção de matéria prima de qualidade (BARBOSA E SILVEIRA, 2010).

Novas e melhores variedades de cana-de-açúcar têm sido disponibilizadas no Brasil a cada ano pelos programas de melhoramento, tais como IAC, CTC e RIDESA (ANDRADE, 2006). A partir da década de 1990, o programa de melhoramento de cana, desenvolvido pelo Instituto Agronômico de Campinas (APTA/SAA), consolidou a estratégia de seleção regional, introduzindo desde a fase de seedling de cana-de-açúcar (população com ampla variabilidade genética), nas principais regiões canavieiras do Estado de São Paulo (LANDELL e BRESSIANI, 2008). A caracterização pontual desses locais permitiu explorar ganhos provindos de interações “genótipos versus ambientes”. Teoricamente, no final desse processo de seleção, temos uma variedade regional em um curto espaço de tempo (6 a 7 anos). A seleção de variedades regionais com estratégias semelhantes a essa é utilizada nos programas de melhoramento de cana da Austrália, do Caribe e da África do Sul (LANDELL *et al.*, 2007).

Uma ferramenta de grande auxílio ao melhorista, além do acúmulo de observações em anos sucessivos, abrangendo ciclos distintos das cultivares (cana planta e soqueiras), interagindo com anos agrícolas subsequentes, são os bancos de germoplasmas devidamente identificados, com materiais selecionados e de características desejáveis no programa de melhoramento (porte ereto, resistência a pragas/doenças, Brix, Pol, bom perfilhamento, etc.). Quanto às coleções de cana-de-açúcar, melhoristas reconhecem duas coleções mundiais de germoplasma: uma nos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA) com aproximadamente 2500 clones de várias espécies e, utiliza para o controle do banco, o sistema GRIN (Germplasm Resources Information Network); e outra na Índia com 3400 clones de diversas espécies e gêneros correlacionados (BURNQUIST, 2007).

A conservação *in vitro* do germoplasma deve ser uma área de pesquisa priorizada para cana-de-açúcar, e associada à conservação *in vivo*, garantindo a reposição dos materiais que se perdem nas coleções mantidas em campo (CRESTE *et al.*, 2007).

O Brix se constitui no parâmetro mais utilizado na indústria do açúcar e do álcool. Estritamente, expressa a porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose. Por consenso, admite-se o Brix como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada, por exemplo, o caldo extraído da cana-de-açúcar normalmente determinado pelo refratômetro de campo (FERNANDES, 2000).

Este trabalho teve por objetivo identificar cruzamentos promissores do programa de melhoramento de cana-de-açúcar do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que apresentavam na fase F1, maiores teores de Brix caldo, auxiliando na formação de um banco de Pol.

SILVA, V. H. P *et al.* Anais 100 Congresso STAB - 2016

### Material e Método

O material utilizado neste trabalho originou-se de seleção a partir de cruzamentos realizados na Estação de hibridação, localizadas na ilha de Itaparica e Camamú, Bahia, série 2007, fase um de seleção (F1).

Foram avaliados três cruzamentos diferentes, cada família (cruzamento) com aproximadamente 200 indivíduos, plantados no Centro APTA de cana-de-açúcar, em Ribeirão Preto-SP.

Foram realizadas leituras do Brix, com refratômetro de campo (mostrador óptico com 3 escalas; escala Brix: 0 a 32%; escala Oe: 0 a 140°; escala KMW: 0 a 25 KMW; precisão Brix:  $\pm 0.20\%$ ; precisão Oe:  $\pm 1.0^\circ$  Oe; precisão KMW:  $\pm 0.2$  KMW) para cada touceira individualmente dentro de cada família, em fevereiro de 2010.

Os cruzamentos utilizados foram denominados de “Cruz. 10”, “Cruz. 510” e “Cruz. 557”, sendo os parentais de cada um deles apresentados na (Tabela 1):

CRUZAMENTOS	PARENTAIS	
10	IACSP99-3039	IACSP97-3391
531	IACSP95-5000	CTC-4
557	IACSP96-3076	IACSP93-3046

Como testemunha, utilizou-se a variedade IACSP95-5000, Brix caldo de 14. Foram realizados estudos de Distribuição Normal e Probabilidade para cada cruzamento.

### Resultados e Discussão

Os três cruzamentos foram submetidos ao teste de análise de variância, sendo a variável analisada o Brix, o que é mostrado na (Tabela 2):

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Cruzamentos	2	184,99846	92,499233	17,631	0,0000
Erro	567	2974,742517	5,246459		
Total Corrigido	569	3159,740982			
CV =	21,32				Número de observações: 570
Média Geral:	10,7435088				

Na tabela 3 são apresentadas as médias de Brix caldo obtidas para cada cruzamentos:

CRUZAMENTOS	MÉDIAS	
10	11,52	a
531	10,59	b
557	10,14	b

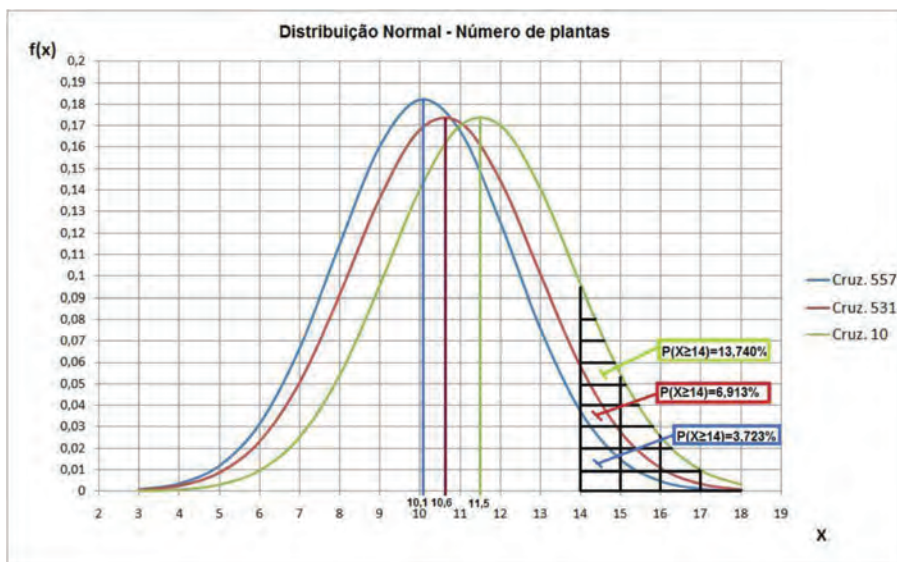
\* Médias seguidas pela mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Verifica-se, pela (Tabela 3), que ocorreram diferenças significativas entre cruzamentos, sendo que o “Cruz. 10” apresentou uma maior média de Brix caldo que os “Cruz. 531” e “Cruz. 557”, mostrando-se o mais promissor dos três estudados. Uma possível explicação pelo baixo valor dos Brix encontrado seria idade dos colmos no momento da seleção (9-10 meses) e/ou época da seleção (Janeiro/Fevereiro), ocasionando baixa maturação.

Para se obter número de plantas com Brix caldo  $\geq 14\%$ , aplicou-se a técnica da Distribuição Normal, apresentada na (Figura 1).

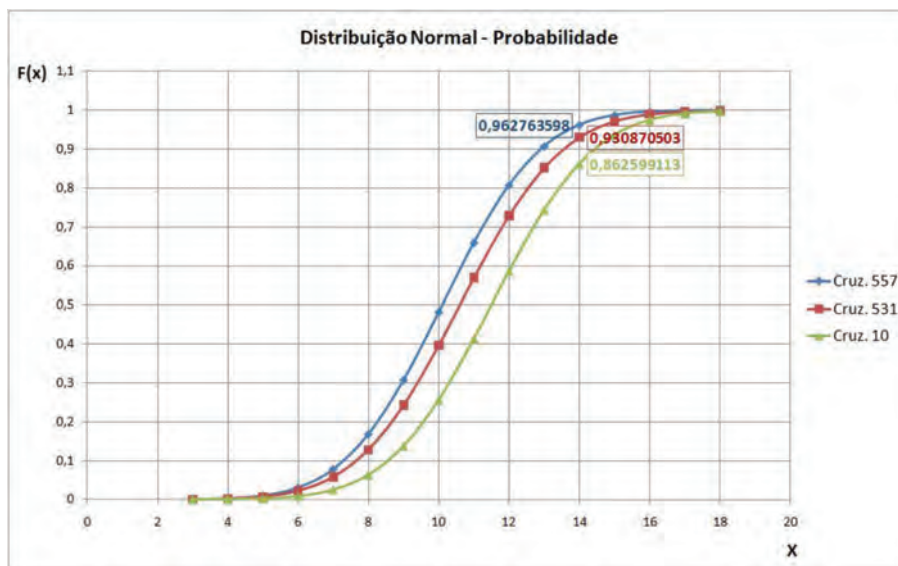


Figura 1. Distribuição normal dos dados de BRIX caldo obtidos para cada cruzamento estudados.



Silva, V. H. P et al. Anais 100 Congresso STAB - 2016

As probabilidades de se encontrar plantas superiores ao Brix padrão (14,00%) foram obtidas fazendo-se a integral das curvas de número de plantas para cada cruzamento, apresentados na (Figura 2).



A (Figura 1) mostra que a área abaixo da curva é maior no cruzamento 10, seguida do cruzamento 531 e, por fim, do cruzamento 557. Fazendo-se a integral das curvas (Figura 2), a probabilidade de se encontrar plantas com teor de Brix  $\geq 14,00$  em cada cruzamento é de 13,74% para o “Cruz.10”; 6,91% para o “Cruz.531” e 3,72% para o “Cruz.557”. Assim, confirma-se a supremacia do cruzamento 10 sobre os demais.

**Conclusão**

Dos cruzamentos estudados, o “Cruz. 10” mostrou-se o mais promissor visando auxiliar a composição de um Banco de Germoplasma para fins de maior potencial de acúmulo de açúcares.

**Referências Bibliográficas**

ANDRADE, L.A. de B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. **Produção de aguardente de cana**. 2ed. Lavras, Editora UFLA, 2006. P.25-67.

Observatório Agrícola / Acompanhamento da safra de cana-de-açúcar / V. 2 - SAFRA 2015/2016- N.4 - Quarto levantamento | ABRIL, 2016 – Conab – ISSN: 2318-7921.

BARBOSA, M. H. P. e SILVEIRA, L. C. I. **Melhoramento Genético e Recomendação de Cultivares**. Im: SANTOS, F.; BORÉM, A. e CALDAS, Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Álcool – Tecnologias e perspectivas. Viçosa, UFV, 2010. P. 313 – 331.

BURNQUIST, W. L. Recursos Genéticos Disponíveis. In: **Workshop de Melhoramento Genético e Biotecnologia, 2007**. Cordeirópolis (SP).

CRESTE, S.; Rosa Júnior, V. E.; PINTO, L. R.; Albino, J. C.; FIGUEIRA, A. V. O. **A biotecnologia como ferramenta para o melhoramento genético**. Cana-de-Açúcar. 1 ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, v. 1, p. 157-176.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. STAB - Sociedade dos Técnicos. Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 2000. 191p.

LANDELL, M. G. de A.; BRESSIANI, J. A.; **Melhoramento Genético, Caracterização e Manejo Varietal**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. Cana-de-açúcar. **Campinas: Instituto Agronômico**. 2008. p.101 – 155.

LANDELL, M. G. de A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A. C. M.; XAVIER, M. A.; BIDÓIA, M. A. P.; PRADO, H. de; SILVA, M. de A.; DINARDO-MIRANDA, L.; SANTOS, A. da S.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, D. N.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; ANJOS, I. A.; AZANIA, C. A. M.; PINTO, L. R.; CRESTE, S. A. **Varietades de cana-de-açúcar para o centro-sul do Brasil: 16ª liberação do Programa Cana IAC (1959-2007)**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 37p. (Boletim técnico; 201).

# REGULADORES DE CRESCIMENTO

## APLICAÇÃO DE ETEFOM EM SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor*) VISANDO QUALIDADE TECNOLÓGICA DA MATÉRIA PRIMA

Caio Fortes<sup>1</sup>; Silvio A. M. Carreira<sup>1</sup>; Mateus A. Donegá<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nexsteppe Sementes do Brasil

### Resumo

O sorgo sacarino é uma cultura complementar a cana-de-açúcar para fabricação de bioetanol e bioenergia. Devido seu rápido ciclo e por ser uma cultura mecanizável, pode ser incluída no processo de produção agroindustrial das usinas. Um dos desafios da cultura é garantir que a matéria prima seja entregue na unidade industrial com o máximo de açúcares fermentescíveis por tonelada. Reguladores de crescimento e/ou inibidores de florescimento são comumente aplicados à cana-de-açúcar visando flexibilizar o planejamento da colheita e processamento da matéria prima. Portanto o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do regulador de crescimento etefom nos teores de açúcares de três híbridos de sorgo sacarino e em duas áreas distintas, Mato Grosso e Goiás. Os resultados demonstram que o etefom aumentou o Brix, o teor de fibras e diminuiu o acamamento.

**Palavras-chave:** Etanol, Sorgo, Brix, Regulador de crescimento.

### Summary

The sweet *sorghum* is a complementary crop to sugarcane for the production of bioethanol and bioenergy. Due to its rapid cycle and be a mechanized culture, it can be included in the agroindustrial production process of the plants. One of the cultural challenges is to ensure that the raw material is delivered to the plant with maximum fermentable sugars per ton. growth regulators and / or flowering inhibitors are commonly applied to sugarcane aiming at more flexible planning of harvesting and processing of raw materials. Therefore the aim of this study was to determine the effect of etefom growth regulator in sugar content three sorghum hybrids and in two different areas, Mato Grosso and Goiás. The results demonstrate that etefom increased brix, fiber content and decreased lodging.

**Keywords:** Ethanol, Sorghum, Brix, Growth Regulator

### Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma das cinco culturas mais plantadas no mundo, e pode ser utilizada a produção de ração animal, alimentação humana, produção de açúcar e a produção de etanol (ALMODARES *et al.*, 2007). Segundo o fim econômico desejado, essa cultura pode ser dividida em quatro classes: a) granífero, b) produção de vassoura c) forrageiro para pastejo/corte verde/fenação/cobertura morta e d) forrageiro para silagem e/ou sacarino (EMBRAPA, 2016).

O sorgo *sacarina* se caracteriza por apresentar ciclo rápido (3 a 4 meses), colmo suculento e com elevado teor de açúcares fermentescíveis. A produção de etanol proveniente do sorgo é complementar e utiliza nas usinas o mesmo processo utilizado para moer da cana de açúcar. Além da produção de etanol, o resíduo do processamento, o bagaço, é utilizado como fonte de energia para indústria, cogeração e alimentação animal.

O processamento industrial do sorgo sacarino para produção de etanol tem grande semelhança ao de cana-de-açúcar, no entanto, o caldo de sorgo sacarino de modo geral tem uma composição de açúcares diferente em relação ao da cana-de-açúcar, possuindo relativamente mais glicose e frutose (açúcares redutores) e menos sacarose (Pol) (MAY *et al.*, 2012).

O teor de fibra do sorgo pode variar em função de condições climáticas e agrônômicas, assim como na cana-de-açúcar, impacta diretamente a capacidade de extração quantidade e umidade do bagaço. Análises indicam que a % fibra de sorgo sacarino cultivados em diferentes locais variaram de 12 a 20% (ALMODARES *et al.*, 2011; EMBRAPA, 2016; HAN *et al.*, 2011).

O ponto ideal para colheita e o período de utilização industrial são determinados através dos valores de Brix, açúcares redutores e totais e percentagem de caldo, ou seja, na curva de maturação de cada híbrido, geralmente a partir do décimo dia após o florescimento até o estágio do grão maduro, e no caso das variedades, de 30 a 60 dias após o florescimento (MAY *et al.*, 2012).

As produções de biomassa e de açúcares fermentescíveis estão associadas à produção de litros de etanol por hectare e a melhoria dessas características deve ser considerada (ALMODARES *et al.*, 2011). Sabendo disso, uma prática é lançar mão da utilização de reguladores de crescimento vegetal, substâncias sintéticas os quais, quando aplicados nas plantas produzem efeitos similares aos dos hormônios vegetais. Eles estão associados ao estímulo ou retardo de atividades fisiológicas no vegetal. Segundo HAN *et al.* (2011), alguns desses reguladores vem sendo testados em sorgo (TIBA, etefom, uniconazole e cloreto de cloromequat) visando a diminuição do acamamento, aumento da produtividade e do teor de açúcares. O uso do regulador de crescimento etefom (ácido (2-cloroetil) fosfônico) que é precursor do hormônio etileno está consagrado na cultura de cana de açúcar, visando a inibição do florescimento em algumas variedades e elevação da Pol% no início da safra. No caso do sorgo, o uso do etefom busca a melhoria da matéria prima com o aumento do Brix, diminuição da produção de grãos e aumento o período de utilização industrial (PUI).

Considerando o exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação do etefom no Brix, teor de fibras e acamamento de três híbridos de sorgo sacarino e em duas áreas distintas, nos estados do Mato Grosso e Goiás.

### Material e Métodos

Na safra 2015/16 foram plantadas duas áreas teste de sorgo sacarino em Goiás (GO - 18°34'6"S / 52°27'47.59"O) e Mato Grosso (MT - 13°54'48.16"S / 56°33'20.1"O). Nestas áreas foram testados três híbridos, doravante nomeados A e B (ciclo precoce) e C (ciclo tardio), dispostos em faixas paralelas de 8 linhas de 20 metros de comprimento.

O plantio das áreas foi realizado com trator acoplado de plantadora de grãos de 8 linhas. A adubação utilizada no plantio foi 32:120:64 e 80:00:80 kg/ha em cobertura de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O, respectivamente. O espaçamento entrelinhas utilizado foi 0,45 m e a população de sementes 120.000 plantas/ha. As informações de data de plantio e tipo de solo dos ensaios estão na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Localização, tipo de solo e data de plantio dos experimentos de sorgo sacarino com aplicação de etefom em GO e MT, 2015.

Ensaio	Tipo de Solo	Data de Plantio
GO	Latossolo Amarelo Distrófico, textura arenosa	20/11/2015
MT	Latossolo Vermelho Distrofico, textura argilosa	08/12/2015

O controle de ervas infestantes foi realizado aos 15 dias após o plantio (DAP) utilizando 3 l/ha de atrazina 500 g/l aplicada com pulverizador tratorizado. Da mesma forma foi realizado o controle de lagartas desfolhadoras através de duas aplicações de inseticidas 250 ml/ha de tiametoxam 141 g/l + lambda-cialotrina 106 g/l em 25 e 60 DAP, respectivamente. O controle de doenças foliares foi realizado com 0,75 l/ha da mistura de fungicidas piraclostrobina 133 g/l + epoxiconazol 50 g/l aos 60 DAP.

O etefom (720 g/l) foi aplicado na dose de 1,25 l/ha com bomba costal acoplada de barra "T" e regulador de vazão, simulando aplicação aérea e volume de calda de 50 l/ha, em metade das faixas (10 m) no estágio de folhas bandeira, isto é, imediatamente ao pré-florescimento para os híbridos A, B e C em Goiás e para o híbrido C no Mato Grosso. Os híbridos A e B no Mato Grosso receberam o tratamento de etefom somente após o florescimento.

As parcelas experimentais constaram de segmentos de três linhas de dois metros lineares onde foram realizadas avaliações biométricas como população final de plantas por hectare. No experimento de Goiás realizou avaliação complementar de acamamento e produtividade.

Destas parcelas também se coletou os colmos industrializáveis e que foram enviados a laboratórios de PCTS de usinas das regiões de estudo. As variáveis tecnológicas analisadas foram a fibra, obtida através do peso de bolo úmido (PBU) e o Brix, segundo as metodologias analíticas de rotina destes laboratórios.

### Resultados e Discussão

Tanto no cultivo realizado no estado de Goiás, quanto no estado do Mato Grosso, o sorgo sacarino respondeu a aplicação de etefom, havendo diferenciação nos níveis de Brix, fibra (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d). Em Goiás a porcentagem de acamamento e a produtividade também apresentaram respostas positivas pela aplicação de etefom (Figuras 1e e 1f).

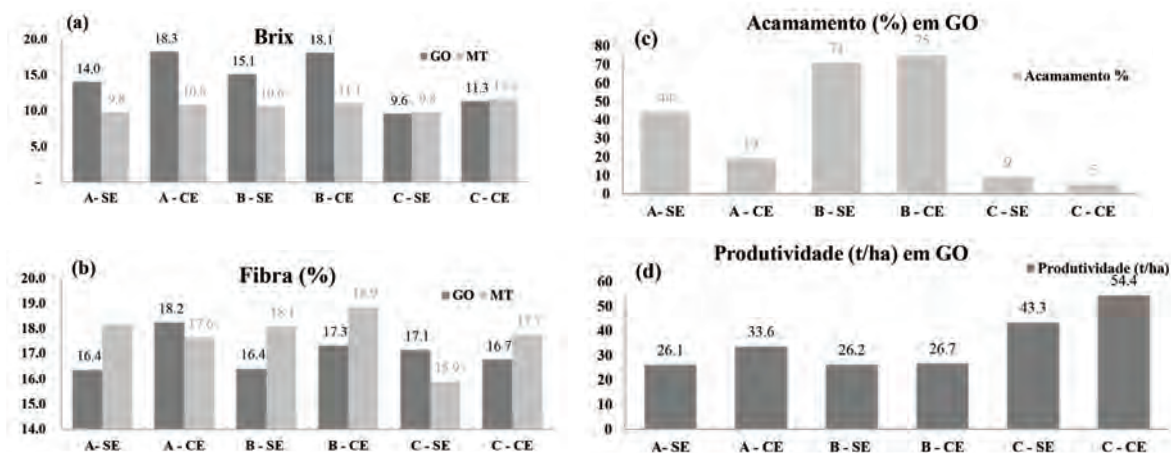
As plantas responderam de forma diferente à aplicação de etefom, os híbridos precoces A e B, receberam a aplicação de etefom em pré-florescimento em Goiás e tiveram incremento de 23,3, 16,6 %, respectivamente no valor de Brix quando comparado com as plantas que não receberam o tratamento. Enquanto que no Mato Grosso a aplicação foi realizada após o florescimento e o aumento de Brix observado foi de 9,3% e 4,2 respectivamente para 2140 e 2168. ALMODARES *et al.* (2011), demonstraram que a época de aplicação de etefom (estádio de 8 folhas, pré-florescimento e pós-florescimento) alterou significativamente o acúmulo de açúcares e consequentemente o valor de Brix. A época que teve maior valor de Brix foi ao pré-florescimento e foi maior em 8,38 e 12,57 % respectivamente, para 8 folhas e pós-florescimento. O aumento do Brix pode ser explicado pela diminuição do dreno de fotoassimilados e açúcares do colmo e folhas para a formação da panícula e grãos. Em cana de açúcar a aplicação de etefom suprime o florescimento, eleva concentração de açúcares e consequentemente mantém a produtividade (MOORE; OSGOOD, 1989; LI; SOLOMON, 2003).

O teor de fibra, em Goiás teve incremento para de 10,3 e de 5,3 para os híbridos A e B comparando a área que recebeu e a que não recebeu o tratamento. Já no Mato Grosso, observou incremento de 6,7 e 24,3% no teor de fibra para os materiais B e C que receberam etefom. Nota-se que o regulador de crescimento proporcionou a elevação da concentração de açúcares, bem como a aumento do teor fibra. Em situações específicas, o aumento no teor de fibra da matéria prima é importante, principalmente no início de safra, uma vez que as paradas industriais por motivos climáticos são mais frequentes e a cana-de-açúcar está em final de período vegetativo e consequentemente com baixa fibra. Isso é de suma importância especialmente para as usinas de cana de açúcar que possuem plantas de etanol de milho aclopadadas como é o caso de algumas unidades do centro-oeste para manter o balanço térmico destas unidades de maneira adequada.

O maior valor de teor de fibra pode ter sido um dos fatores que levaram a um menor acamamento na área de Goiás (Figura 1e). HAN *et al.* (2011), demonstraram que houve a diminuição no acamamento das plantas de sorgo sacarino aplicação de etefom, até aos 38 dias após a aplicação.

A produtividade foi avaliada no experimento de Goiás, e as parcelas que receberam etefom produziram 2, 22, e 20% a mais, respectivamente para A, B e C que as que não receberam. A produção de biomassa em cana de açúcar aumentou com a aplicação de etefom (LI; SOLOMON, 2003). ALMODARES *et al.* (2013) estudando doses crescentes de etefom, chegaram a conclusão a maior dose desse regulador (1200 ppm) proporcionou a maior produção de biomassa.

**Figura 1.** (a) Brix GO e MT, (b) Fibra% GO e MT, (c) Acamamento % em GO e (d) Produtividade em GO. (Legenda: A, B, C: híbridos; SE: Sem etefom; CE: Com etefom).



### Conclusões

Considerando os resultados obtidos para as características agrônômicas de produtividade, acamamento e as industriais, Brix e teor de fibra a aplicação de 900 g ia/ha de etefom é ferramenta importante para o manejo dessa cultura.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Usina Cerradinho Bio (GO) e a Destilaria Libra (MT) por ceder recursos humanos, áreas de estudos, os insumos e realizar os testes laboratoriais.

### Referências Bibliográficas

- ALMODARES, A.; TAHERI, R.; ADELI, S. Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate. **Journal Environmental Biology**, v.28, n°3, p.527-531, 2007.
- ALMODARES, A.; TAHERI, R.; ERAGHIZADEH, F. The effects of ethephon on biomass and carbohydrate content in two sweet sorghum cultivars. **International Journal of Plant Production**, v.5, p. 221-225, 2011.
- ALMODARES, A.; USOFZADEH, M. DANESHVAR, M. Effect of nitrogen and ethephon on growth parameters, carbohydrate contents and bioethanol production from sweet sorghum. **Sugar Tech**, v. 15, n° 3, p. 300-304, 2013.
- EMBRAPA. 2016. Cultivo do Sorgo. Consulta em 22/04/2016. [http://www.cnpmis.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_3\\_ed/importancia.htm](http://www.cnpmis.embrapa.br/publicacoes/sorgo_3_ed/importancia.htm)
- HAN, L. P.; WANG, X.; GUO, X.; RAO, M.; STEINBERGER, Y.; CHENG, X.; XIE, G. H. **Effects of plant growth regulators on growth, yield and lodging of sweet sorghum** *Research on Crops*, v. 12, n° 2, p. 372-382, 2011.
- LI, Y.; SOLOMON, S. Ethephon: a versatile growth regulator for sugar cane industry. **Sugar Tech**, v.5, n° 4, p. 213-223, 2003.
- MAY, A.; DURÃES, F.O.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; SCHAFFERT, R.E. PARRELLA, R. A. C. Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G–Tecnologia Qualidade Embrapa– Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2012. 120 p.
- MOORE, P.; OSGOOD, R. Prevention of flowering and increasing sugar yield of sugarcane by application of ethephon (2-chloroethylphosphonic acid). **Journal of Plant Growth Regulation**, v.8, n° 3, p. 205-210, 1989.

## RESPOSTA DE MATURADORES SOBRE A PRODUTIVIDADE E RENDIMENTO DE AÇÚCAR EM DIFERENTES CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Renato Ferreira da Rosa<sup>1</sup>, Carlos Alberto Mathias Azania<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo Vale do Verdão; <sup>2</sup>Instituto Agronômico de Campinas

### Resumo

Calculado na premissa de que a paralisação no crescimento e o acúmulo de sacarose nos colmos da cana-de-açúcar, proporcionados pelos maturadores, é diferente para cada cultivar, objetivou-se estudar o sulfometuron-metil, etil-trinexapac e fluazifop-P-butílico nas cultivares RB85 5453, SP81-3250, IAC86-2210, IAC87-3396, RB83 5486, SP80-3280, RB86 7515, IAC91-2195 e RB85 5156. Foram desenvolvidos respectivamente 8, 10 e 6 experimentos em 2003, 2004 e 2005, em São Joaquim da Barra, SP, entre março a junho e em soqueiras do primeiro e segundo corte. Para cada cultivar, aplicou-se o T1-testemunha; T2-sulfometuronetil (15 g ha<sup>-1</sup>); T3-etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) e T4-fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>) com auxílio de uma barra de aplicação terrestre, com CO<sub>2</sub> e volume de calda de 50 L ha<sup>-1</sup> em parcelas de 90 m<sup>2</sup>. Após 50 dias da aplicação, avaliou-se a produtividade média das parcelas com auxílio de dinamômetro e o ATR (CONSECANA). Nas cultivares, observou-se perdas de produtividade e ganhos em ATR, respectivamente de 2,7 t ha<sup>-1</sup> e 3 kg t para sulfometuronetil (15 g ha<sup>-1</sup>); 1,8 t ha<sup>-1</sup> e 4 kg t para etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) e 3,1 t ha<sup>-1</sup> e 9 kg t para fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>).

**Palavras-chave:** *Saccharum*, sulfometuronetil, etil-trinexapac, fluazifop-P-butílico

### Summary

Based on the premise that the lower growth and sucrose accumulation in the sugarcane stalks, provided by ripeners, is different for each cultivar, aimed to study the sulfometuron-metil, etil-trinexapac and fluazifop-P-butyl in RB85 5453, SP81-3250, IAC86-2210, IAC87-3396, RB83 5486, SP80-3280, RB86 7515, IAC91-2195 and RB85 5156 cultivars. Respectively, developed 8, 10 and 06 studies in 2003, 2004 and 2005 years, in São Joaquim da Barra (Brazil) from March to June in ratoons of the first and second harvest. For each cultivar it was, applied the T1-control; T2-sulfometuronetil (15 g ha<sup>-1</sup>); T3-etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) and T4-fluazifop-P-butyl (300 g ha<sup>-1</sup>) using spraying with CO<sub>2</sub> and spray volume of 50 L ha<sup>-1</sup> and 90 m<sup>2</sup> plots. Fifty days after application, it was evaluated the average yield of the plots (weight with dynamometer) and ATR (CONSECANA). In the cultivars, were observed losses in productivity and gains with ATR, respectively, 2.7 t ha<sup>-1</sup> and 3 kg t to T2-sulfometuronetil (15 g ha<sup>-1</sup>); 1.8 t ha<sup>-1</sup> and 4 kg t to T3-etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) and 3.1 t ha<sup>-1</sup> and 9 kg T4-fluazifop-P-butyl (300 g ha<sup>-1</sup>).

**Keywords:** *Saccharum*, sulfometuronetil, etil-trinexapac, fluazifop-P-butílico

### Introdução

Durante o período de colheita da cana-de-açúcar é necessário suprir as unidades produtoras com colmos ricos em sacarose e qualidade agroindustrial. Se à mercê do clima, as cultivares precoces ficam aptas à colheita a partir do início de maio. Entretanto, concomitante à maturação (maio a setembro) os colmos também emitem as panículas, o que consome parte da sacarose, deixando-os isoporizados e com menor qualidade agroindustrial (aumento de fibra e diminuição do ATR). A partir de setembro o problema se agrava, pois, com a retomada do período das chuvas o crescimento dos colmos é novamente intensificado e a sacarose ainda mais consumida pela própria planta.

Para garantir ao máximo a qualidade agroindustrial dos colmos é necessário praticar o manejo varietal com os maturadores químicos (MAPA, 2016). Segundo Castro e Vieira (2001), os maturadores são substâncias químicas sintetizadas, com efeitos similares aos dos hormônios biossintetizados nas plantas, que em pequenas concentrações interferem sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal. Após sua aplicação, Leite *et al.*, 2009 a, b, c comentaram que a planta apresenta alterações morfológicas (menor altura e florescimento) e fisiológicas (acentuada translocação e armazenamento da sacarose).

Na prática, quando aplicado antes do início da safra restringe o florescimento e antecipa o acúmulo de sacarose nos colmos, permitindo a antecipação da safra. Quando aplicados durante a safra, prolongam o período útil de industrialização (PUI) dos colmos, mantendo por mais tempo a sacarose acumulada, garantindo mais tempo hábil à colheita.

Mas, as cultivares de cana-de-açúcar respondem de forma diferente ao uso do mesmo maturador. Para entender melhor a influência dos maturadores sobre as cultivares objetivou-se estudar os maturadores sulfometuron-metil, etil-trinexapac e fluazifop-P-butílico sobre as cultivares RB85 5453, SP81-3250, IAC86-2210, IAC87-3396, RB83 5486, SP80-3280, RB86 7515, IAC91-2195 e RB85 5156 entre os anos de 2003 a 2005.

### Material e Método

Um conjunto de 24 experimentos foram instalados em soqueiras de cana-de-açúcar de primeiro e segundo corte, na região de São Joaquim da Barra, SP, entre os anos de 2003 a 2005. Cada experimento foi instalado sobre a soqueira da cana-de-açúcar no primeiro ou segundo corte e nas datas e cultivares especificadas na (Tabela 1).

Transcorridos 50 dias da aplicação, avaliou-se a produtividade média de cada parcela (talhão) e o rendimento de açúcar (ATR). A produtividade foi obtida pesando-se cada parcela com dinamômetro, enquanto que o ATR pelo método do CONSECANA.

### Resultados e Discussão

As chuvas ocorridas nos meses de janeiro e fevereiro, bem como a temperatura média, favoreceram o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar. Assim, a aplicação ocorreu quando as plantas estavam em pleno desenvolvimento vegetativo e sem interferência de estresse hídrico ou térmico (Tabela 2).

Nesse cenário, os maturadores paralisam o crescimento dos colmos e com isso otimizam o acúmulo de sacarose e dificultam a formação das panículas, o que minimiza o florescimento. O acúmulo da sacarose foi observado aos 50 dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos, ao se considerar o rendimento de açúcar (ATR).

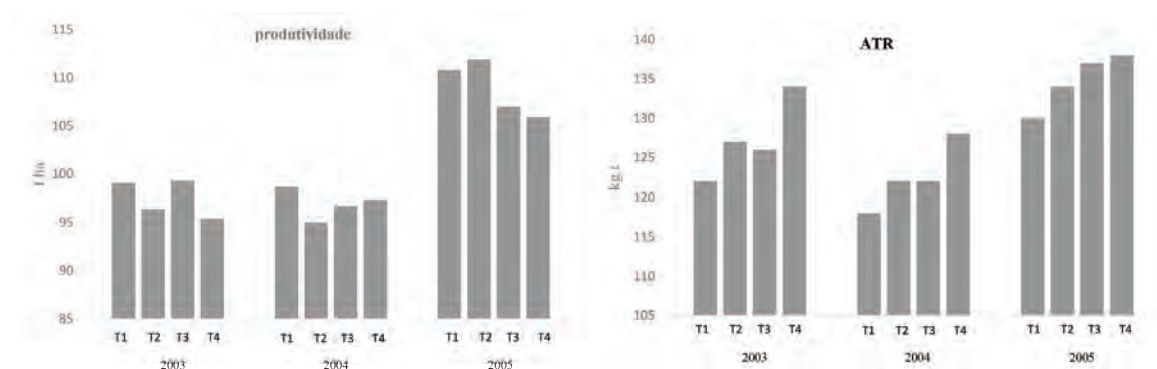
Aos 50 DAA, na maioria das cultivares estudadas, o ATR foi superior nos colmos tratados com os maturadores quando comparados com a testemunha. As cultivares SP81-3250 e RB86 7515 apresentaram baixa resposta ao acúmulo da sacarose (vista pelo ATR) e constituíram um primeiro grupo, as cultivares IAC87-3396, SP80-3280, IAC91-2195 e RB85 5156 apresentaram respostas intermediárias e constituíram um segundo grupo e as cultivares RB85 5453 e RB83 5486 responderam mais aos tratamentos (Tabela 3) e constituíram o terceiro grupo.

Seja com baixa, média ou elevada resposta aos maturadores, as cultivares acumularam mais sacarose que a testemunha. Mas, a perda de peso medida pela produtividade dos colmos foi constatada nos tratamentos maturadores (Tabela 3).

Para os 24 experimentos estudados, ao se comparar os tratamentos maturadores e o testemunha, as cultivares apresentaram perda média de 2,5% sobre a produtividade. O T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>) permitiu perdas médias de 2,7 t ha<sup>-1</sup>; T3-etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) de 1,8 t ha<sup>-1</sup> e T4- fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>) de 3,1 t ha<sup>-1</sup> (Figura 1).

Entretanto, devido ao ganho em ATR, as perdas de produtividade foram compensadas pelo rendimento de açúcar, que foi em média de 5 kg para cada tonelada de cana produzida. O T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>) permitiu ganhos médios em ATR de 3 kg t; o T3-etil- trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) ganhos de 4 kg t e o T4- fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>) de 9 kg t (Figura 1).

**Figura 1.** Resultados médios para oito diferentes cultivares de cana-de-açúcar quanto a produtividade e rendimento de sacarose obtidos com a aplicação de maturadores em soqueiras.



T1- testemunha; T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>), T3-etil- trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>), T4- fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>).

Na safra 2003, os oito experimentos apresentaram perda de peso de até 2,7 t ha<sup>-1</sup> em relação a testemunha no T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>); de 0,2 t ha<sup>-1</sup> no T3-etil- trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) e 3,7 t ha<sup>-1</sup> no T4- fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>). Mas, os ganhos com ATR foram de 5; 4 e 12 kg, respectivamente, para os tratamentos.

Na safra 2004, os dez experimentos apresentaram perda de até 3,7 t ha<sup>-1</sup> em relação a testemunha no T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>); de 2 t ha<sup>-1</sup> no T3-etil- trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) e 1,4 t ha<sup>-1</sup> no T4- fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>). Mas, os ganhos com ATR foram de 4; 4 e 10 kg, respectivamente, para os tratamentos.

Na safra 2005, os seis experimentos apresentaram ganho de até 1,1 t ha<sup>-1</sup> em relação a testemunha no T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>); perda de 3,8 t ha<sup>-1</sup> no T3-etil- trinexapac- (200 g ha<sup>-1</sup>) e perda de 4,9 t ha<sup>-1</sup> no T4- fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>). Mas, os ganhos com ATR foram de 4; 7 e 8 kg, respectivamente para os tratamentos.

### Conclusão

Nas cultivares RB85 5453, SP81-3250, IAC86-2210, IAC87-3396, RB83 5486, SP80-3280, RB86 7515, IAC91-2195 e RB85 5156 observou-se perdas de produtividade e ganhos em ATR, respectivamente de 2,7 t ha<sup>-1</sup> e 3 kg t para sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>); 1,8 t ha<sup>-1</sup> e 4 kg t para etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>) e 3,1 t ha<sup>-1</sup> e 9 kg t para fluazifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>).

### Referências Bibliográficas

- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária.2001
- LEITE, G., H., P.; CRUSCIOL, C., A., C.; SILVA, M. A.; LIMA, G. P. P. Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar em meio de safra. *Ciência Rural*, volume 39, número 3, páginas 718-725.2009 b
- LEITE, G., H., P.; CRUSCIOL, C., A., C.; SILVA, M. A.; VENTURINI FILHO, W.; G. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. *Bragantia*, volume 68, número 2, páginas 527-534.2009 a
- LEITE, G., H., P.; CRUSCIOL, C., A., C.; SILVA, M. A.; VENTURINI FILHO, W.; G.; SURIANO, A. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. *Ciência Rural*, volume 39, número 3, páginas 726-732.2009 c.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Agrofite - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília: 2015. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofite\\_cons/principal\\_agrofite\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofite_cons/principal_agrofite_cons)>, Acesso em: 28/04/2016.



**Tabela 1.** Características do solo, cultivares e data de aplicação dos maturadores em cada área experimental.

Experimentos	tipo de solo	ambiente produção	cultivar	data aplicação
1	nitossolo	B	RB85 5153	12/03/03
2	nitossolo	D	SP91-3250	12/03/03
3	latossolo vermelho	D	SP91-3250	28/02/03
4	nitossolo	A	IAC86-2210	07/03/03
5	latossolo vermelho	C	IAC87-3396	17/03/03
6	latossolo vermelho	C	RB86 5456	14/03/03
7	nitossolo	C	RB83 5456	14/03/03
8	latossolo vermelho	B	SP80-3280	03/03/03
9	nitossolo	B	IAC87-3396	17/03/04
10	nitossolo	C	RB 86 7515	22/03/04
11	nitossolo	C	RB83 5486	11/05/04
12	nitossolo	C	SP80-3280	19/04/04
13	nitossolo	B	IAC91-2195	10/03/04
14	nitossolo	C	SP91-3250	19/03/04
15	nitossolo	C	SP91-3250	18/03/04
16	nitossolo	C	RB85 5453	16/03/04
17	nitossolo	*	RB85 5156	14/04/04
18	nitossolo	C	SP81-3250	17/03/04
19	latossolo vermelho	D	SP81 3250	18/03/05
20	latossolo vermelho	C	RB85 5453	13/03/05
21	*	*	RB85 5453	23/03/05
22	nitossolo	C	SP81-3250	22/03/05
23	latossolo vermelho	D	IAC87-3396	30/03/05
24	nitossolo	B	IAC87-3396	17/03/05

Os tratamentos foram T1- testemunha; T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>); T3- etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>), e T4- fluzifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>). Nas datas indicadas na Tabela 1, foram aplicados com auxílio barra de aplicação, volume de 50 L ha<sup>-1</sup> e cada parcela foi representada por 4 linhas de 15m (90m<sup>2</sup>).

**Tabela 2.** Chuvas e temperatura média ocorridas no município de São Joaquim da Barra, SP, durante o período experimental.

meses	chuva (mm)			temperatura média(°C)		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005
janeiro	671,9	529,3	343	24,9	25,3	26
fevereiro	104	378,9	117,6	25,8	24	25,4
março	192	96,3	105	24,6	24,2	25,3
abril	123,4	229,6	33,8	21,5	23,8	24,9
maio	98,9	110,4	170,4	20,5	20,5	21,6
junho	0	13,2	20	20,2	19,5	20,7

**Tabela 3.** Resultados de produtividade e rendimento de sacarose obtidos com a aplicação de maturadores em soqueiras de diferentes cultivares de cana-de-açúcar.

cultivares	tratamentos	produtividade (t ha <sup>-1</sup> )			ATR (kg t cana)		
		2003	2004	2005	2003	2004	2005
RB85 5453	T1	102,6	115,3	138,55	121	127	121
	T2	117,5	111,8	131,8	129	133	132,5
	T3	118,8	120,4	132,9	135	134	129,5
	T4	100,3	109,8	129	144	140	135,5
SP81-3250	T1	108,35	99,4	89,6	114	113,67	138
	T2	100,95	104,83	93,8	118	111,00	136
	T3	106,2	101,6	81,705	113,5	112,33	142
	T4	105,85	103,5	89,1	119	117,67	141
IAC87-3396	T1	84	126	104,3	120	116	132,5
	T2	78	105	102,6	123	115	134
	T3	81	115	106,4	122	117	140,5
	T4	77	118	99,7	128	118	137,5
RB83 5486	T1	81	76,3	-	123	108	-
	T2	82,5	75,5	-	130,5	116	-
	T3	80	74,5	-	128	121	-
	T4	76	65,6	-	140	133	-
SP80-3280	T1	125	94,6	-	131	121	-
	T2	112	90,1	-	132	128	-
	T3	121	93	-	135	128	-
	T4	127	85,5	-	139	135	-
RB86 7515	T1	-	106,5	-	-	118	-
	T2	-	95,4	-	-	119	-
	T3	-	96	-	-	122	-
	T4	-	109,7	-	-	121	-
IAC91-2195	T1	-	105,6	-	-	107	-
	T2	-	86	-	-	117	-
	T3	-	93	-	-	116	-
	T4	-	89,5	-	-	129	-
RB85 5156	T1	-	65	-	-	143	-
	T2	-	72	-	-	144	-
	T3	-	70	-	-	149	-
	T4	-	86	-	-	149	-

T1- testemunha; T2- sulfometuron-metil (15 g ha<sup>-1</sup>), T3-etil-trinexapac (200 g ha<sup>-1</sup>); T4- fluzifop-P-butílico (300 g ha<sup>-1</sup>), Fusilade (75 g ha<sup>-1</sup>); - não instalado.

## BIOESTIMULANTES NO PERFILHAMENTO, PRODUÇÃO E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA DE AÇÚCAR

Gustavo Alves Santos <sup>1</sup>, Gaspar Henrique Korndörfer <sup>2</sup>, Hamilton Seron Pereira <sup>2</sup>, Bruno Nicchio <sup>1</sup>, Lucélia Alves Ramos <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, <sup>2</sup> Professor, Universidade Federal de Uberlândia, <sup>3</sup> Pós-Doutorando, Universidade Federal de Uberlândia.

asgustavo@yahoo.com.br

### Resumo

O uso de bioestimulantes em cana-de-açúcar pode incrementar produtividade e qualidade. O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento de perfilhos, a produção e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida à aplicação de diferentes tipos e doses de bioestimulantes via tratamento de toletes. Foram instalados experimentos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, com plantio das variedades CTC 2, RB867515, RB92579 e CTC 4 e aplicação dos produtos Bio 1, Bio2, Bio 3 e Bio4 em jato dirigido nos toletes, mais uma testemunha. Foram analisadas quantidade de perfilhos, produtividade de colmos e de açúcar e o teor de açúcar teórico recuperado. O uso dos bioestimulantes não afetou o perfilhamento para nenhuma variedade testada. A aplicação de Bio2, Bio3 e Bio4 resultou em incrementos na produção de colmos e de açúcar para as variedades CTC 2 e RB867515. Para a variedade CTC 2 os valores de ATR foram superiores à testemunha, exceto pela aplicação de Bio3 (3,0 L ha<sup>-1</sup>).

**Palavras-chave:** Perfilhos, produção de colmos, produção de açúcar, açúcar total recuperado.

### Summary

The use of biostimulants in sugarcane crop can increase yield and quality. This study aimed to evaluate the development of tillers, production and technological quality of sugarcane submitted to the application of different types and rates of biostimulants via treatment of billets. Experiments in randomized block design were installed with four replications, with planting of CTC 2, RB867515, RB92579 and CTC 4 varieties and application of the products Bio1, Bio2, Bio3 and Bio4 in directed spray in billets, including also a control treatment without application. Were analyzed number of tillers, cane and sugar yield, recovered theoretical sugar content and Pol. The use of biostimulants did not affect tillering to any variety tested. Application of Bio2, Bio3 and Bio4 resulted in increases in the production of stalks and sugar for CTC 2 and RB867515 varieties. For variety CTC 2 ATR values were higher than the control, except for the application of Bio3 (3.0 L ha<sup>-1</sup>).

**Keywords:** tillers, stalk production, sugar production, total recovered sugar.

### Introdução

A aplicação de reguladores vegetais em muitas espécies cultivadas não é recente, porém, crescente e chegando a ser, em determinadas situações, um fator de produção, qualidade e produtividade (SILVA; DONADIO, 1997), que tem mostrado resultados surpreendentes (RUIZ, 1998).

A mistura de dois ou mais reguladores vegetais ou a mistura destes com outras substâncias de natureza bioquímica diferente resulta em um terceiro produto designado bioestimulante ou estimulante vegetal. Esse produto químico pode, em função da sua composição, concentração e proporção das substâncias, incrementar o crescimento e desenvolvimento vegetal, podendo também aumentar a absorção e a utilização de água e nutrientes pelas plantas, mesmo sob condições ambientais adversas (CASILLAS *et al.*, 1986; CASTRO; VIEIRA, 2001; VIEIRA, 2001).

No entanto, para que ocorra o efeito desejado com o uso de bioestimulantes é importante conhecer o processo regulado pelo hormônio ou grupo de hormônios, a época de aplicação, a dose necessária para manipular o processo, bem como o órgão da planta onde ocorrerão as reações (COSTA, 2010).

Atualmente, com a utilização de técnicas avançadas para o cultivo de cana-de-açúcar, aumentos quantitativos e qualitativos na produção podem ser alcançados com a aplicação de bioestimulantes. Essas substâncias podem ser aplicadas diretamente nas plantas, promovendo alterações nos processos vitais e estruturais e possibilitando incrementos no teor de sacarose, precocidade de maturação e aumento na produtividade das culturas (MARTINS; CASTRO, 1999; CAPUTO *et al.*, 2007).

A aplicação de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar é uma prática de manejo que potencialmente pode incrementar sua produtividade e o seu rendimento industrial, favorecendo o bom desempenho dos processos vitais da planta, permitindo obter melhores e maiores colheitas, mesmo sob condições ambientais adversas (COSTA, 2010). Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento de perfilhos, a produção e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida à aplicação de diferentes tipos e doses de bioestimulantes via tratamento de toletes no plantio.

### Material e Métodos

Foram instalados quatro experimentos com o plantio de diferentes variedades, sendo todos em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições e tratamentos caracterizados por diferentes produtos e doses mais uma testemunha sem aplicação.

Os produtos testados (designados por Bio1, Bio2, Bio3 e Bio4) apresentam as seguintes características: Bio1: regulador de crescimento vegetal contendo cinetina (0,09 g L<sup>-1</sup>), ácido giberélico (como GA3; 0,05 g L<sup>-1</sup>) e ácido 4-indol-3-ilbutírico (0,05 g L<sup>-1</sup>) e 999,8 g L<sup>-1</sup> de ingredientes inertes; Bio2: produto obtido a partir de extratos naturais com ação similar à das citocininas, auxinas e giberelinas, contendo 1,73% N; 5% K<sub>2</sub>O, 2,1% S; 0,49% Fe; 2,43% Zn; 1% Mn; 0,08% B 3,5% carbono orgânico; Bio3: fertilizante foliar líquido contendo 75 g L<sup>-1</sup> N-total (amoniaco); 260 g L<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 68 g L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O; 0,65 g L<sup>-1</sup> Fe-total; 0,13 g L<sup>-1</sup> Mn-total e 0,66 g L<sup>-1</sup> Zn-total; Bio4: produto à base de extratos vegetais de plantas terrestres, contendo 30% de extratos de origem vegetal, 3% de ácido fúlvico, 5% de Zn; 2% de aminoácidos e 0,42% de inositol.

As doses utilizadas para a formulação das caldas de aplicação seguiram recomendação do fabricante e foram 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Bio1, 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Bio2, 1,0 e 3,0 L ha<sup>-1</sup> de Bio3 e 1,0 e 1,5 L ha<sup>-1</sup> de Bio4. A aplicação foi feita com equipamento de pulverização costal pressurizado por CO<sub>2</sub>, em jato dirigido nos toletes, após sua distribuição no sulco de plantio, com volume de calda de 267 L ha<sup>-1</sup>. As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de cana-de-açúcar, com 10 m de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 m. Entre cada uma das parcelas também foi adotado um espaçamento de 3 m nas cabeceiras e nas laterais, de modo a evitar prováveis problemas com a deriva da aplicação dos produtos.

As diferentes variedades estudadas foram plantadas em áreas e épocas distintas, conforme o detalhamento a seguir: CTC 2: plantio mecanizado em novembro de 2012 em Guaira-SP (Usina Açucareira Guaira); RB867515: plantio mecanizado em novembro de 2012 em Guaira-SP (Usina Açucareira Guaira); RB92579: plantio mecanizado em maio de 2013 em Uberaba-MG (Companhia Mineira de Açúcar e Alcool - Usina Vale do Tijuco); CTC 4: plantio manual em junho de 2013 em Goianésia-GO (Usina Jalles Machado). Em função da variabilidade de locais, épocas de plantio e manejo, as variedades estudadas não foram consideradas uma variável do estudo.

A análise do perfilhamento da cana foi realizada a partir da contagem de perfilhos nas três linhas centrais de cada parcela e da análise de falha (espaço maior que 49 cm sem cana nascida) em todas as linhas da parcela aos 60 dias após o plantio nos experimentos 1 e 2, aos 130 DAP no experimento 3 e aos 240 DAP no experimento 4. A quantidade de perfilhos analisada foi determinada de acordo com a contagem de perfilhos por metro linear descontando-se a quantidade de falhas.

Para a determinação da produção de colmos, na época de colheita das áreas (360, 545, 400 e 365 DAP para os experimentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente), a cana de cada parcela foi cortada crua (no experimento 4 a cana foi queimada) e manualmente, despontada e em seguida pesada com o auxílio de célula de carga acoplada à garra carregadeira, para determinação do peso de cada uma das parcelas e em seguida da produtividade de colmos por hectare (TCH).

Para realização das análises de Açúcar Teórico Recuperado (ATR) e Pol da cana, dentre os colmos cortados na colheita, amostrou-se para envio ao laboratório, dois colmos por linha da parcela nos experimentos 1 e 2, oito colmos aleatórios no experimento 3 e colmos de 1 metro linear no centro de uma das linhas centrais da parcela no experimento 4. O material coletado foi submetido à análise nos laboratórios das usinas, segundo metodologia descrita por TANIMOTO (1964). Utilizando-se os resultados de TCH e os valores de Pol da cana foram calculados os valores de produção de açúcar por hectare (TAH) de cada um dos tratamentos.

Com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT (ASSIS, 2012) os resultados da aplicação dos produtos testados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Duncan a 0,05 de significância.

## Resultados e Discussão

### Perfilhamento

A aplicação de bioestimulantes não alterou o perfilhamento de nenhuma das variedades estudadas, em nenhuma das épocas de avaliação (Tabela 1).

Esses resultados se assemelham aos de KIMURA E BEAUCLAIR (2009) que avaliando o uso de bioestimulantes no sulco de plantio, não constataram efeitos no perfilhamento da cana.

No entanto, vários trabalhos mostram resultado positivo entre a aplicação de bioestimulantes e o perfilhamento da cultura da cana, dentre eles o de SILVA *et al.* (2008a) que encontraram melhor número de perfilhos por metro com o uso de Stimulate® no sulco de plantio na dose de 0,75 L ha<sup>-1</sup>. Ainda Silva *et al.* (2010) concluíram que a aplicação de etefon proporcionou melhor perfilhamento, com resposta dependente do genótipo, porém sem reflexo na produtividade.

**Tabela 1.** Quantidade de perfilhos por metro de diferentes variedades em função da aplicação de bioestimulantes no plantio.

Produto	Dose L ha <sup>-1</sup>	Quantidade de Perfilhos por metro <sup>1</sup>			
		CTC 2	RB867515	RB92579	CTC 4
Testemunha		33,8 a	18,8 a	21,2 a	12,5 a
Bio1	0,5	32,7 a	18,1 a	22,3 a	12,0 a
Bio2	0,5	33,7 a	18,0 a	20,6 a	11,1 a
Bio3	1,0	33,7 a	17,9 a	19,6 a	11,9 a
Bio3	3,0	33,5 a	18,8 a	23,0 a	11,8 a
Bio4	1,0	34,4 a	18,5 a	22,4 a	12,3 a
Bio4	1,5	33,4 a	17,0 a	21,5 a	11,5 a
Média		33,6	18,2	21,5	11,9

CTC 2: DMS = 3,9; CV = 7,0. RB867515: DMS = 2,5; CV = 8,3. RB92579: DMS = 4,7; CV = 13,1. CTC 4: DMS = 2,21; CV = 11,1.

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 0,05 de significância.

SILVA *et al.* (2007) avaliaram os efeitos de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca e observaram efeito na emergência da brotação e perfilhamento até seis meses após o corte. OLIVEIRA *et al.* (2013) observaram efeito positivo do uso de bioestimulantes com o aumento do perfilhamento da cana resultando em incremento de 13% na produtividade. Por fim, TAVARES *et al.* (2015) não constataram diferenças no número de colmos por metro linear aos 210 dias após o plantio, porém a aplicação de determinados produtos após a brotação da cana resultou em maior número de colmos por metro quando avaliado aos 180 dias após a brotação.

### Produtividade de colmos e de açúcar

Diferentes respostas foram obtidas para a produtividade de colmos e de açúcar entre as variedades estudadas. Para TCH, na variedade CTC 2 as aplicações dos produtos Bio 1 e Bio 2, e das maiores doses de Bio 3 e Bio 4, resultaram em incrementos de produção da ordem de 12, 14, 13 e 12 t ha<sup>-1</sup> de colmos, respectivamente, em relação à testemunha (Tabela 2).

**Tabela 2.** Produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TAH) de diferentes variedades em função da aplicação de bioestimulantes no plantio.

Produto	Dose	TCH <sup>1</sup>				TAH <sup>1</sup>			
		CTC 2	RB 867515	RB 92579	CTC 4	CTC 2	RB 867515	RB 92579	CTC 4
	L ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>							
Testemunha		143 b	247 ab	202 a	157 a	24,1 b	34,2 c	25,3 a	21,7 a
Bio1	0,5	155 a	257 ab	210 a	158 a	27,7 a	39,3 ab	27,2 a	20,3 a
Bio2	0,5	158 a	250 ab	203 a	144 a	27,1 a	37,7 ab	26,3 a	19,3 a
Bio3	1,0	154 ab	231 c	198 a	148 a	26,5 ab	38,4 ab	26,1 a	20,6 a
Bio3	3,0	156 a	259 a	209 a	137 a	26,7 a	42,9 a	28,1 a	19,1 a
Bio4	1,0	152 ab	244 ab	219 a	142 a	26,6 a	39,8 ab	30,3 a	20,0 a
Bio4	1,5	155 a	236 bc	210 a	133 a	27,4 a	36,5 bc	26,8 a	19,0 a
Média		153	246	207	146	26,6	38,4	27,1	20,0

TCH: CTC 2: DMS= 11,9; CV = 4,6. RB867515: DMS= 21,9; CV= 4,5. RB92579: DMS= 34,3; CV = 9,9. CTC 4: DMS= 29,4; CV = 12,0. TAH: CTC 2: DMS= 2,5; CV = 5,9. RB867515: DMS= 2,6; CV= 5,9. RB92579: DMS= 6,0; CV = 13,3. CTC 4: DMS= 4,8; CV = 14,2.

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 0,05 de significância

Para a variedade RB867515 os resultados de TCH e TAH são elevados, o que se deve ao tempo permanência da cultura no campo (545 dias) e para TCH, o maior valor foi obtido pela aplicação de 3,0 L ha<sup>-1</sup> do produto Bio3, sendo superior ao obtido pelas aplicações de 1,5 L ha<sup>-1</sup> do Bio4 e 1,0 L ha<sup>-1</sup> do Bio3 (Tabela 2). Já nos experimentos com o plantio das variedades RB92579 e CTC 4 não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 2).

Resultados que mostram o efeito do uso de bioestimulantes na produtividade de cana de açúcar são variados e mostram efeitos positivos como no trabalho de DIAS *et al.* (2015) onde o uso de bioestimulante apresentou respostas promissoras para o rendimento agrícola da cana planta, com respostas positivas na primeira e segunda soqueira.

Já SILVA *et al.* (2008b) avaliando a aplicação de bioestimulante no sulco de plantio de quatro variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB855113, RB835054 e SP891115), verificaram que o mesmo não se mostrou viável para aumento da produtividade, porém MIGUEL *et al.* (2009) avaliando a aplicação do mesmo produto nos toletes obteve maior produtividade e maior índice de lucratividade.

SOUSA E KORNDÖRFER (2010) também não detectaram efeitos significativos de bioestimulantes sobre a produtividade e rendimento industrial da variedade RB925345 e OLIVEIRA *et al.* (2013) observaram que o uso de condicionador de solo proporcionou aumento de 12,8% na produtividade em relação à testemunha, porém o uso de bioestimulantes não proporcionou efeitos na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Por sua vez, os resultados de TAH da variedade CTC 2 mostram que todos os tratamentos, exceto o à base de 1,0 L ha<sup>-1</sup> do produto Bio3, apresentaram valores superiores à testemunha com incrementos variando de 2,5 a 3,6 t ha<sup>-1</sup> de açúcar (Tabela 2).

Para a variedade RB86-7515 a melhor produção de açúcar é resultado da aplicação de 3,0 L ha<sup>-1</sup> de Bio3, corresponde a 42,9 t ha<sup>-1</sup> de açúcar e supera o resultado da aplicação de Bio4 (1,5 L ha<sup>-1</sup>) e da testemunha (Tabela 2). Para as variedades RB92-579 e CTC 4 os resultados de TAH também não apresentaram diferença estatística (Tabela 2).

Alguns trabalhos avaliando o efeito de bioestimulantes na produção de açúcar pela cultura da cana mostram efeitos positivos, tais como SILVA *et al.* (2010) que testaram a aplicação de um bioestimulante associado ou não a fertilizantes líquidos em cinco variedades (IAC87-3396, IAC91-2218, IAC91-4216, IAC91-5155 e IACSP93-6006) e constataram aumento não só na produtividade de colmos, mas também na de açúcar com ou sem complementação de fertilizante líquido. Também SILVA *et al.* (2007) avaliando os efeitos de reguladores de crescimento em cana-soca e constataram que o etefon promoveu maiores produtividades de colmos e de açúcar na cana-soca subsequente.

### Qualidade tecnológica

Para a variedade CTC 2 a aplicação do produto Bio1 resultou no maior valor de ATR, porém sem diferença dos tratamentos à base de Bio2, Bio3 e Bio4 (Tabela 3). Para as demais variedades a aplicação dos bioestimulantes não alterou o teor de ATR (Tabela 3).

**Tabela 3.** Açúcar teórico recuperado (ATR) de diferentes variedades em função da aplicação de bioestimulantes no plantio.

Produto	Dose	ATR <sup>1</sup>			
		CTC 2	RB-867515	RB-92579	CTC 4
L ha <sup>-1</sup>		kg açúcar TC <sup>-1</sup>			
Testemunha		144 c	120 a	126 a	139 a
Bio1	0,5	153 a	130 a	130 a	131 a
Bio2	0,5	147 ab	128 a	130 a	135 a
Bio3	1,0	148 ab	141 a	132 a	140 a
Bio3	3,0	147 abc	141 a	135 a	140 a
Bio4	1,0	148 ab	141 a	136 a	141 a
Bio4	1,5	152 ab	132 a	128 a	142 a
Média		148,5	133	131	138

ATR: CTC 2: DMS = 6,1, CV = 2,4. RB867515: DMS = 21,6, CV = 8,2. RB92579: DMS = 11,2, CV = 5,1. CTC 4: DMS = 11,5, CV = 4,9. Pol da cana: CTC 2: DMS = 0,8, CV = 2,9. RB867515: DMS = 2,8, CV = 8,9. RB92579: DMS = 5,6, CV = 5,1. CTC 4: DMS = 1,2; CV = 5,2.

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 0,05 de significância.

A ausência de resposta ao uso de estimulantes sobre a qualidade tecnológica da cana é também relatada por autores como Oliveira *et al.* (2013), SILVA *et al.* (2010, 2007), ROSATO *et al.* (2010) e BOLONHEZI *et al.* (2007b) que testando diferentes produtos, associados ou não com o uso de fertilizantes e/ou condicionadores de solo, aplicados em variedades distintas não observaram efeito na qualidade tecnológica seja ela expressa pelos parâmetros teor de sacarose, pureza, fibra ou teor de açúcar teórico recuperável.

No entanto alguns autores, tais como Rosato *et al.* (2010), Silva *et al.* (2010), MIGUEL *et al.* (2009), BOLONHEZI *et al.* (2008, 2007a, b), ROSSETO *et al.* (2007a, b) e GULLO (2007) relatam ganhos significativo na qualidade tecnológica da cana de açúcar pela aplicação de condicionadores de solo e de bioestimulantes.

### Conclusão

O uso dos bioestimulantes à base de hormônios e nutrientes não afetou o perfilhamento da cana-de-açúcar para nenhuma das variedades testadas.

As aplicações de 0,5 L ha<sup>-1</sup> de Bio2, 3,0 L ha<sup>-1</sup> de Bio3 e de 1,5 L ha<sup>-1</sup> de Bio4 foram superiores à testemunha na produção de colmos, com incrementos chegando a 14,4, 13,0 e 12,2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente e também na produção de açúcar das variedades CTC 2 e RB867515. Para a variedade CTC 2, e somente para ela, os valores de ATR foram superiores aos da testemunha, exceto pela aplicação de Bio3 (3,0 L ha<sup>-1</sup>).

### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte material, profissional e técnico das unidades Usina Açucareira Guaira, Companhia Mineira de Açúcar e Alcool e Usina Jalles Machado, oferecido para implantação, condução e avaliação dos experimentos e também à FAPEMIG e ao CNPq pelo suporte financeiro.

### Referências Bibliográficas

- ASSIS, F. Assistat – Assistência Estatística. Disponível em: <<http://www.assistat.com/index.html>>. Acesso em: 15 Fev. 2012.
- BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M.; TEIXEIRA, E. B.; VALÉRIO FILHO, W. V.; SCHMITZ, G. A. F. Ácidos húmicos e fúlvicos aplicados no sulco de plantio de cana-de-açúcar em solo de cerrado. In: **CONGRESSO NACIONAL DA STAB**, 9., 2008, Maceió. Anais... Maceió: STAB/Gráfica, 2008. p.559-564.
- BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M.; TEIXEIRA, E. B.; VALÉRIO FILHO, W. V.; SCHMITZ, G. A. F. Substâncias húmicas aplicadas no sulco de plantio de duas variedades de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS - EBSH, 7., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2007a. p.70.
- BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M.; SCHMITZ, G. A. F.; TEIXEIRA, E. B. Modos de aplicação de substâncias húmicas em soqueira de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS - EBSH, 7., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2007b. p.71.
- CAPUTO, M. M.; *et al.* Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciência, Caracas**, v.32, n.12, p.834-840, 2007.
- CASSILLAS, V. J. C. *et al.* Análisis cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes en el cultivo del rabano (*Raphanus sativus* L.). **Acta Agronômica**, Palmira, v. 36, n. 32, p. 185-195, 1986.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. **Guafba: Agropecuária**, 2001. p. 19; 26-7; 30.
- COSTA, N. L. Bioestimulante como fator de produtividade de cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/878849/1/ClicNews20104.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2014
- DIAS, F. L. F.; TAVARES, S.; ROSSETTO, R.; SERCILOTO, C. M.; BACILIERI, F. S. Efeito residual de Bioestimulantes em soqueira de cana-de-açúcar após aplicação em sulco de plantio. **Revista Stab**, Piracicaba, v.33, n.3, p.45-48, jan/fev. 2015.
- GULLO, M.J.M. Uso de condicionadores de solo a base de ácido húmico na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 2007. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração: Fitotecnia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- KIMURA, W. J.; BEAUCLAIR, E. G. F. Resposta da brotação a diferentes bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba; **ESALQ**, 2009. 2p.

- MARTINS, M. B. G.; CASTRO, P. R. C. Efeito de giberelina e ethephon na anatomia de plantas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1855-1863, 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100204X1999001000012&lng=pt&nrm=is&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X1999001000012&lng=pt&nrm=is&tlng=pt)>. Acesso em: 06 fev. 2014. doi: 10.1590/S0100-204X1999001000012.
- MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A.; BÁRBARO, I. M.; ESPERANCINI, M. S. T.; TICELLI, M.; COSTA, A. G. F. Viabilidade econômica na utilização de um regulador vegetal em cana-planta. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.1, jan. 2009.
- OLIVEIRA, C. P.; ALVAREZ, R. C. F.; LIMA, S. F.; CONTARDI, L. M. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes. **Agrarian**, Dourados, v.6, n.21, p.245-251, 2013.
- ROSATO, M.M.; BOLONHEZI, A.C.; FERREIRA, L.H.Z. Substâncias húmicas sobre qualidade tecnológica de variedades de cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.1, p.43-48, 2010.
- ROSSETTO, R.; ARÉVALO, R. A.; JÚNIOR, J. P. M.; CATO S. C, COSTA, A. G. F. Efeito de biorregulador e de fertilizantes aplicados no plantio da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 11., 2007, Gramado, RS. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2007a.
- ROSSETTO, R.; ARÉVALO, R. A.; JÚNIOR, J. P. M.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Efeito de biorregulador e de fertilizantes aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 11., 2007, Gramado, RS. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2007b.
- RUIZ, V. S. Fitorreguladores. In: Los parasitos de la vid: estratégias de proteccion razonada. Madrid: **Mundi-Prensa**, 1998. p. 303-306.
- SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, v.24, n.2, p.23-33, 2010.
- SILVA, M. *et al.* Diferentes concentrações e épocas de aplicação de Stimulate® na produtividade na qualidade da cana-de-açúcar. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ECOFISIOLOGIA, MATURAÇÃO E MATURADORES EM CANA DE AÇÚCAR**, 1., 2008, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2008a. p. 36-40.
- SILVA, A. R. B. *et al.* Avaliação da aplicação de Stimulate® no sulco de plantio de variedades de cana-açúcar. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ECOFISIOLOGIA, MATURAÇÃO E MATURADORES EM CANA DE AÇÚCAR**, 1., 2008, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2008b. p. 116-120.
- SILVA, M. A.; GAVA, G. J.; CAPUTO, M. M. *et al.* Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, v.66, n.4, p.545-552, 2007.
- SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C. **Reguladores vegetais na citricultura**. Jaboticabal: Unesp/Funep, 1997. 38 p.
- SOUSA, R.T.X.; KORNDÖRFER, G.H. Uso de micronutrientes e estimulantes de crescimento na produtividade e parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. In: FERTBIO 2010, Guarapari, 2010. **Anais...** Guarapari: SBCS, 2010, 4p.
- TAVARES, S.; SERCILOTO, C. M.; DIAS, F. L. F., MATEUS, G. P. Bioestimulantes e ácidos húmicos em cana-de-açúcar. In: IX WORKSHOP AGROENERGIA, 2015, Ribeirão Preto, SP. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/agroenergia/cd/Resumos/ResumoAgroenergia\\_2015\\_039.pdf](http://www.infobibos.com/agroenergia/cd/Resumos/ResumoAgroenergia_2015_039.pdf)> Acesso em: 14 maio 2016.
- VIEIRA, E. L. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max L.*). 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

## USO DE MATURADORES À BASE DE SILÍCIO E BORO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Thiago Prudente Siqueira<sup>1</sup>, Ana Carolina Pereira de Vasconcelos<sup>2</sup>, Bruno Nicchio<sup>2</sup>, Gustavo Alves Santos<sup>2</sup>, Lilian Aparecida de Oliveira<sup>3</sup>, Hamilton Seron Pereira<sup>4</sup>, Gaspar Henrique Korndörfer<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Uberlândia; <sup>2</sup> Doutorando (a) em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Uberlândia; <sup>3</sup> Pós doutoranda em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Uberlândia;

<sup>4</sup> Professor do Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia.

thiagoprudente@agronomo.eng.br

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de maturadores na cana por meio dos ganhos de ATR. Foram realizados dois experimentos, em delineamento em blocos casualizados, em diferentes áreas produtoras de cana-de-açúcar, (1<sup>o</sup>) Usina Guaíra (Guaíra/SP) e (2<sup>o</sup>) Usina Vale do Tijuco (Uberaba/MG). O 1<sup>o</sup> experimento, foi composto de 7 tratamentos, compostos por diferentes produtos combinados ou não, em diferentes doses, mais a testemunha e 3 repetições. No 2<sup>o</sup> experimento, foram utilizados 9 tratamentos, compostos por diferentes produtos combinados ou não, em diferentes doses, mais a testemunha e 4 repetições. Foram coletados colmos, que foram enviados para análise, sendo submetidos à análise tecnológica, gerando resultados de ATR (kg TC<sup>-1</sup>), Pol e pureza. Os maiores ganhos de ATR e Pol resultaram das aplicações de etil-trinexapac (0,8 L ha<sup>-1</sup>) e silicato de potássio (0,5 L ha<sup>-1</sup>), no entanto não superaram os resultados obtidos pela testemunha. Esses tratamentos apresentam comportamento semelhante aos demais na análise de pureza, exceto para as aplicações de ácido bórico (1,5 kg ha<sup>-1</sup>) e boro etalonamina (0,5 L ha<sup>-1</sup>), as quais apresentam resultados inferiores nessa e nas demais avaliações, inclusive quando comparados à testemunha.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*, regulador vegetal; silicato de potássio; nutrição vegetal; maturação induzida.

### Summary

The objective of this work was to evaluate the use of applying ripener associated on sugar cane through the ATR gains. Two experiments were performed in randomized block design, in different producing areas of sugar cane, (1) Usina Guaíra (Guaíra/SP) and (2) Usina Vale do Tijuco (Uberaba/MG). The first experiment was composed of 7 treatments, composed of different products combined or not, in different doses, more witnesses and 3 repetitions. In the second experiment, we used 9 treatments, composed of different products combined or not, in different doses, more witnesses and 4 repetitions. Stalks were collected, which were sent for analysis, being subjected to technological analysis, generating results of ATR (kg TC<sup>-1</sup>), Pol and purity (%). The higher gains of ATR and Pol result etil-trinexapac applications (0.8 L ha<sup>-1</sup>) and ammonium borate (0.5 L ha<sup>-1</sup>), however do not exceed the results obtained by the witness. These treatments exhibit behavior similar to other on purity analysis, except for the purposes of boric acid (1.5 kg ha<sup>-1</sup>) and boron etalonamina (0.5 L ha<sup>-1</sup>), which feature lower results in this and in other evaluations, including when compared to the witness.

**Keywords:** *Saccharum officinarum*, plant growth regulator; potassium silicate; plant nutrition; induced maturation.

### Introdução

Desde o início do desenvolvimento da cana-de-açúcar, o armazenamento do açúcar se processa paulatinamente, nos entrenós completamente desenvolvidos da base do colmo. O acúmulo máximo de sacarose só ocorre, quando a planta encontra condições restritivas ao seu crescimento, sendo o processo de acúmulo total de açúcares, comumente descrito como amadurecimento (RODRIGUES, 1995). A maturação da cana é definida pelos fisiologistas, como um estágio senescente, entre o crescimento rápido e a morte da planta, o que faz da maturação a última fase dos processos fisiológicos da planta (RODRIGUES, 1995).

O processo de amadurecimento da cana-de-açúcar envolve um sistema metabólico complexo, com início na atividade fotossintética nos cloroplastos das células das folhas, culminando com o acúmulo de carboidratos fotossintetizados, principalmente sacarose, nos colmos (RODRIGUES, 1995).

A maioria das variedades plantadas hoje tende a amadurecer e alcançar o máximo de maturação em apenas 2 a 4 meses após o início da safra, o que explica parte do interesse generalizado na aplicação de agentes maturadores e várias práticas culturais, como desponete, regulação de água e adubação visando antecipar a maturação (RODRIGUES, 1995).

Os reguladores vegetais classificados como maturadores são compostos químicos capazes de modificar a morfologia e fisiologia vegetal, podendo alterar a qualidade e a quantidade de produção da cana-de-açúcar, utilizados como ferramenta auxiliar no planejamento da colheita e no manejo varietal dos canaviais (PONTIN, 1995; CASTRO, 1999).

Ainda, a cana-de-açúcar é uma espécie que tem capacidade de absorver e acumular grandes quantidades de silício (Si), o qual traz inúmeros benefícios à cultura, dentre eles o aumento significativo da produção e da síntese de açúcar (FOLTRAN, 2013). Além disso, o boro, entre os micronutrientes, é particularmente importante para a cultura da cana-de-açúcar, porque está envolvido na translocação dos açúcares produzidos (ANDERSON; BOWEN, 1992). Juntamente com cobre e molibdênio, o boro é exigido em menor quantidade, porém, ao lado do zinco, é o que mais frequentemente causa deficiência nutricional (QUINTANA et al., 2012).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso de maturadores na maturação da cana por meio dos ganhos de ATR.

## Material e Métodos

O estudo dos maturadores foi feito com base na condução de dois experimentos situados em diferentes áreas e unidades produtoras de cana-de-açúcar de acordo com a (Tabela 1).

**Tabela 1.** Unidades produtoras, localização e data de instalação dos experimentos com maturadores.

Experimento	Usina	Localização	Data de instalação
1	Usina Guaíra	Guaíra-SP	04/2014
2	Usina Vale do Tijuco	Uberaba-MG	04/2014

**Tabela 1.** Unidades produtoras, localização e data de instalação dos experimentos com maturadores.

A caracterização química dos maturadores avaliados no presente estudo está demonstrada abaixo:

Silicato de potássio que contem 23,7% K<sub>2</sub>O e 10% Si p/v. Atributos: desenvolvido para auxiliar o melhoramento estrutural da planta. Regula a transpiração nos períodos de alta temperatura e é um indutor de resistência física e química. Em gramíneas como a cana-de-açúcar auxilia a formação de colmos mais resistentes, evitando o acamamento. Borato de amônio com 10% B p/v. Atributos: Sua utilização pode suprir deficiências de B, muito comuns em solos arenosos, calcários, com pH elevado, superfícies secas ou altamente drenáveis onde há cultivo sucessivo de cana-de-açúcar, o que pode aumentar produtividade devido à importância do B em muitas funções de crescimento, como florescimento, frutificação e vegetação. Boro etalonamina com 15% B p/v. Fornece até 15% de boro solúvel em água para aplicação foliar nos cultivos que apresentam sintomas de deficiência desse elemento ou para complementação nutricional dos cultivos de um modo geral. Ácido bórico: pó com alta solubilidade em água e aproximadamente 18% de boro. Etil-trinexapac é caracterizado como regulador de crescimento, no entanto é comumente utilizado como maturador nos canaviais do Brasil, pois visa a aceleração dos processos de maturação da planta e acúmulo de sacarose no colmo. Fluasifope-p-butílico é um herbicida sistêmico com formulação tipo emulsão óleo em água, o qual pode ser utilizado como maturador na cultura da cana-de-açúcar. Sulfometuron-metil: regulador vegetal recomendado como maturador na cultura da cana-de-açúcar devendo ser aplicado entre 40 e 60 dias antes do corte de início da safra, em lavouras de cana-de-açúcar com no mínimo 9 meses de plantio ou do último corte.

### Usina Guaíra – Experimento 1

#### Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento experimental em blocos casualizados, sendo sete tratamentos (Tabela 2) compostos por diferentes produtos combinados ou não, em diferentes doses (Tabela 2) mais a testemunha, sem aplicação de maturador e 3 repetições.

**Tabela 2.** Produto e doses aplicados na cana-de-açúcar em cada tratamento (Us. Guaíra).

Tratamento	Dose (L ha <sup>-1</sup> )
Boro etalonamina	0,5
Borato de amônio	1,0
Silicato de potássio	2,0
Boro etalonamina	0,5
Silicato de potássio	2,0
Borato de amônio	1,0
Silicato de potássio	2,0
Ácido Bórico	1,5 <sup>(a)</sup>
Etil-trinexapac	0,8

<sup>(a)</sup> kg ha<sup>-1</sup>

Cada parcela foi composta por quatro linhas de cana-de-açúcar, com 12 m de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 m, totalizando 72 m<sup>2</sup>. Entre cada uma das parcelas foi adotado um espaçamento de 1,5 m nas cabeceiras 3,0 m nas laterais, de modo a evitar prováveis problemas com a deriva da aplicação dos produtos.

#### Instalação

O experimento foi instalado em área de produção da Usina Açucareira Guaíra (Fazenda Aparecida), em canavial de 4º corte, ou 3ª soca (variedade RB 855453), cujas principais características são: precocidade, adaptação para os melhores ambientes de produção (A e B) e época de colheita recomendada para o período de maio a julho. A variedade RB 855453 é considerada como bastante responsiva ao uso de maturadores.

A aplicação dos produtos foi feita via foliar, com o uso de uma barra de 3m de comprimento com 3 bicos 110-02 tipo leque espaçados por 0,75 cm acoplada a um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>. A pressão de aplicação adotada no equipamento foi a de 4 kgf cm<sup>-2</sup> e o volume de calda utilizado foi de 2,0 L parcela<sup>-1</sup>, o equivalente a 278,0 L ha<sup>-1</sup>.

#### Avaliações

Na data de aplicação dos produtos e a cada 20 dias, durante o tempo de condução do experimento (80 dias), foram feitas coletas de colmos, os quais foram enviados para o laboratório de cana da usina.

A coleta foi feita manualmente, retirando-se 2 colmos por linha ou oito colmos de cana por parcela. Os colmos colhidos foram despalhados, despontados acima da gema apical, identificados e enviados ao laboratório da usina.



O material coletado foi submetido à análise tecnológica segundo metodologia descrita por Tanimoto (1964), a qual gerou resultados de Açúcar Teórico Recuperado (ATR) (kg TC<sup>-1</sup>), Pol e pureza (%).

## Usina Vale do Tijuco – Experimento 2

### Delineamento experimental

Na Usina Vale do Tijuco também foi adotado o delineamento de blocos casualizados, no entanto foram utilizados nove tratamentos (Tabela 3) compostos por diferentes produtos combinados ou não, em diferentes doses (Tabela 3) mais um tratamento testemunha, sem aplicação de maturador e 4 repetições.

**Tabela 3.** Produto e doses aplicados na cana-de-açúcar em cada tratamento (Us. Vale do Tijuco).

Tratamento	Dose (L ha <sup>-1</sup> )
Boro etalonamina	0,5
Borato de amônio	1,0
Silicato de potássio	2,0
Boro etalonamina	0,5
Silicato de potássio	2,0
Borato de amônio	1,0
Silicato de potássio	2,0
Ácido Bórico	1,5 <sup>(a)</sup>
Etil-trinexapac	0,8
Fusilade	0,15
Sulfometuron-metil	20,0 <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> kg ha<sup>-1</sup>; <sup>(b)</sup> g ha<sup>-1</sup>.

Nesse experimento, cada parcela era composta por quatro linhas de cana-de-açúcar, com 10 m de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 m, totalizando 60 m<sup>2</sup>. Entre cada uma das parcelas foi adotado um espaçamento de 1,5 m nas cabeceiras 3,0 m nas laterais, de modo a evitar prováveis problemas com a deriva da aplicação dos produtos.

### Instalação

Esse experimento foi instalado em área de produção da Usina Vale do Tijuco (Fazenda Santa Cruz), em canavial de 2º corte, ou 1ª soca (variedade RB 925744), cujas principais características são: ser rústica e responsiva, adaptada para os ambientes de produção de B e E e com época de colheita recomendada para os meses de agosto a novembro.

A aplicação dos produtos seguiu as mesmas características da aplicação anterior, porém nesse caso, o volume de calda foi o equivalente a 333,0 L ha<sup>-1</sup>, devido à menor área da parcela.

### Avaliações

Nesse segundo experimento as amostragens foram feitas a cada 5 dias, incluindo o dia de aplicação dos produtos, no qual a amostragem foi feita anteriormente à aplicação até os 60 DAA.

A coleta foi feita manualmente, retirando-se 3 colmos por linha ou 12 colmos de cana por parcela. Os colmos colhidos foram despalhados, despontados acima da gema apical, identificados e enviados ao laboratório da usina onde foram submetidos à análise tecnológica segundo metodologia descrita por Tanimoto (1964), a qual gerou resultados de Açúcar Teórico Recuperado (ATR) (kg TC<sup>-1</sup>), Pol e pureza (%).

### Análises estatísticas

Com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008) os resultados dos tratamentos qualitativos dos dois experimentos foram submetidos à análise de variância. Em caso de significância do teste de F as médias foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Os resultados dos tratamentos quantitativos dos dois experimentos foram também submetidos à análise de variância, e, em caso de significância do teste de F, foram feitas regressões, as quais, quando significativas, constam nos gráficos apresentados nos resultados.

## Resultados e Discussão

### Usina Guaíra – Experimento 1

#### Produtividade

A produtividade não foi uma variável estudada no ensaio, pois entende-se que, devido ao estágio de desenvolvimento da planta na época da aplicação, os tratamentos não interferem na produção (tonelada de colmos ha<sup>-1</sup>). No entanto, para informação, foi determinada a média de produção do talhão onde o experimento foi instalado, sendo a mesma correspondente a 81,0 t ha<sup>-1</sup>.

#### ATR (Açúcar Teórico Recuperado)

A análise dos produtos aplicados na cana como maturadores indica que na data da avaliação (45 DAA), o ganho de ATR da cana dos tratamentos onde foi feita a aplicação de Borato de amônio, Etil-trinexapac e Silicato de potássio associada a Boro etalonamina ou Borato de amônio não difere do resultado da testemunha sem aplicação de maturadores, estando na faixa de 12,3 a 14,7 kg açúcar TC<sup>-1</sup> (Tabela 4). No entanto, ainda dentro dessa análise, nota-se que, os tratamentos citados anteriormente apresentam resultados superiores aos da aplicação de Silicato de potássio, Boro etalonamina e ácido bórico os quais variam de 2,1 a 8,8 kg açúcar TC<sup>-1</sup> (Tabela 4).

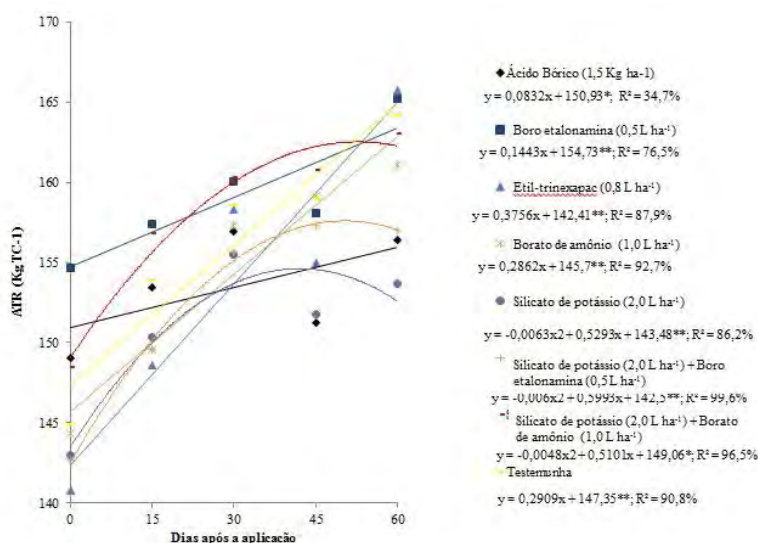
**Tabela 4.** Ganho de ATR (kg açúcar TC<sup>-1</sup>) 45 dias após da aplicação de diferentes maturadores na cana soca (Variedade RB 855453).

Tratamento	Ganho de ATR kg açúcar TC <sup>-1</sup>
Borato de amônio (1,0 L ha <sup>-1</sup> )	14,7 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> ) + Boro etalonamina (0,5 L ha <sup>-1</sup> )	14,6 a
Etil-trinexapac (0,8 L ha <sup>-1</sup> )	14,2 a
Testemunha	14,1 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> ) + Borato de amônio (1,0 L ha <sup>-1</sup> )	12,3 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> )	8,8 b
Boro etalonamina (0,5 L ha <sup>-1</sup> )	4,9 b
Ácido Bórico (1,5 kg ha <sup>-1</sup> )	2,1 b
MÉDIA	10,7
CV = 39,1	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Quando se estuda o tempo decorrido (dias) após a aplicação dos produtos, o que se observa é que os valores de ATR (kg TC<sup>-1</sup>) aumentam de acordo com o passar dos dias para todos os produtos, no esse progresso varia em intensidade à medida de os produtos são alterados (Figura 1). O ácido bórico é o produto que menos incrementa o ATR com o passar dos dias, apresentando aumento de somente 0,08 kg TC<sup>-1</sup> para cada dia que sucede a aplicação (Figura 1). Comportamento similar é observado para a aplicação de Boro etalonamina, mas mesmo os incrementos sendo pequenos, equivalem ao dobro (0,15 kg TC<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) daqueles proporcionados pelo uso de ácido bórico (Figura 1).

**Figura 1.** Curva de maturação da cana soca (variedade RB 855453) expressa através do seu valor de ATR (kg açúcar TC<sup>-1</sup>) em diferentes épocas de amostragem após a aplicação de diferentes maturadores.



Os incrementos mais intensos em ATR acontecem para os produtos etil-trinexapac, Borato de amônio e também onde não houve aplicação de produto algum (testemunha), onde se observa aporte de 0,4, 0,3 e 0,3 kg ATR TC<sup>-1</sup>, respectivamente, para cada dia que se passa após a aplicação (Figura 1).

Os demais tratamentos apresentam comportamento similar, caracterizado pelo efeito positivo da aplicação, ou seja, aumento na produção de ATR, no período de 0 a 45 dias, estagnação/diminuição da quantidade de açúcar total recuperado na fase final de avaliação (45 a 60 dias) (Figura 1).

### Pol

Pol expressa a quantidade de sacarose presente na cana ou no caldo e as variações na produção de sacarose em cada tratamento aos 45 DAA, em função dos diferentes produtos aplicados estão apresentadas a seguir.

A aplicação de Etil-trinexapac, borato de amônio, e silicato de potássio associada com boro etalonamina ou com borato de amônio apresenta valores de Pol iguais aos do tratamento testemunha, variando de 2,0 a 2,5 % (Tabela 5).

Esses valores no ganho de Pol são superiores aos obtidos pela aplicação isolada de silicato de potássio ou de boro etalonamina ou ácido bórico, os quais estão entre 0,8 e 1,4 % (Tabela 5).

**Tabela 5.** Ganho de Pol 45 dias após da aplicação de diferentes maturadores na cana soca (Variedade RB 855453).

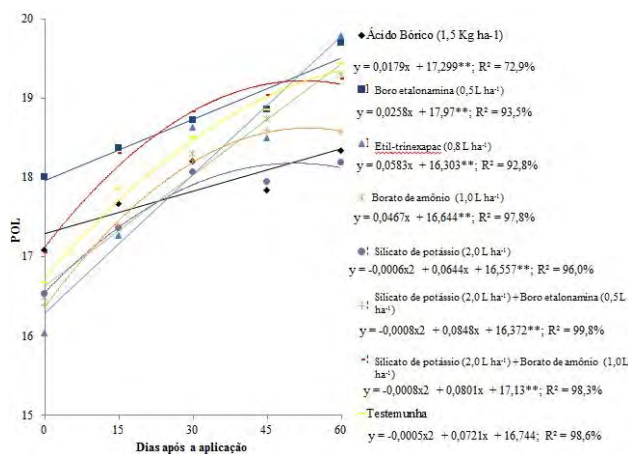
Tratamento	Ganho de Pol
Etil-trinexapac (0,8 L ha <sup>-1</sup> )	2,5 a
Borato de amônio (1,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,3 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> ) + Boro etalonamina (0,5 L ha <sup>-1</sup> )	2,2 a
Testemunha	2,2 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> ) + Borato de amônio (1,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,0 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> )	1,4 b
Boro etalonamina (0,5 L ha <sup>-1</sup> )	0,9 b
Ácido Bórico (1,5 kg ha <sup>-1</sup> )	0,8 b
MÉDIA	1,8
CV = 31,1	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

A (Figura 2) mostra os resultados do efeito da época de avaliação após a aplicação dos diferentes tratamentos na porcentagem de sacarose na cana ou no caldo. Observa-se que as aplicações de ácido bórico, boro etalonamina, etil-trinexapac e borato de amônio apresentam comportamento semelhante, caracterizado pelo aumento contínuo na produção de sacarose de 0 a 60 DAA, sendo os dois primeiros menos eficientes (aumento de aproximadamente 0,02 % dia<sup>-1</sup>) em comparação aos dois últimos que causam aumento de produção de até 0,06 % ao dia.

Os demais tratamentos apresentam também comportamento similar no que se refere os valores de Pol, o qual é caracterizado basicamente por uma fase inicial de resposta com incrementos na produção de sacarose seguida de outra fase onde não há aumento e as quantidades produzidas tendem a se manter (Figura 2).

A diferença, no entanto, está na época onde termina a primeira e começa a segunda fase, sendo 45 DAA a data que separa os dois comportamentos para os tratamentos com associação de Silicato de potássio e Boro etalonamina ou Borato de amônio e, para o tratamento onde não houve aplicação (testemunha) essa data não aparece entre as épocas avaliadas, devendo surgir após os 60 DAA (Figura 2).

**Figura 2.** Curva de maturação da cana soca (variedade RB 855453) expressa através do seu valor de Pol em diferentes épocas de amostragem após a aplicação de diferentes maturadores.

### Pureza da cana

A pureza da cana de açúcar é uma medida indireta da qualidade da matéria-prima para a recuperação do açúcar, sendo essa tão maior quanto maior for a pureza. Os efeitos de cada um dos produtos utilizados nos tratamentos sobre a pureza da cana de açúcar aos 45 DAA são apresentados a seguir.

O ganho de pureza da cana de açúcar dos tratamentos que receberam aplicação de Borato de amônio, Etil-trinexapac, e Silicato de potássio isoladamente ou em conjunto com Boro etalonamina ou Borato de amônio varia de 3,8 a 5,9 % e não difere do resultado encontrado no tratamento testemunha, cujo ganho é de 4,1% (Tabela 6).

As aplicações de boro etalonamina e ácido bórico apresentaram os menores ganhos de pureza (2,3 e 1,5%, respectivamente), os quais são inferiores aos ganhos dos demais tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Ganho de Pureza 45 dias após da aplicação de diferentes maturadores na cana soca (Variedade RB 855453).

Tratamento	Ganho de Pureza
Borato de amônio (1,0 L ha <sup>-1</sup> )	5,9 a
Etil-trinexapac (0,8 L ha <sup>-1</sup> )	5,7 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> ) + Boro etalonamina (0,5 L ha <sup>-1</sup> )	5,7 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> ) + Borato de amônio (1,0 L ha <sup>-1</sup> )	5,2 a
Testemunha	4,1 a
Silicato de potássio (2,0 L ha <sup>-1</sup> )	3,8 a
Boro etalonamina (0,5 L ha <sup>-1</sup> )	2,3 b
Ácido Bórico (1,5 Kg ha <sup>-1</sup> )	1,5 b
MÉDIA	4,3
CV = 27,7	

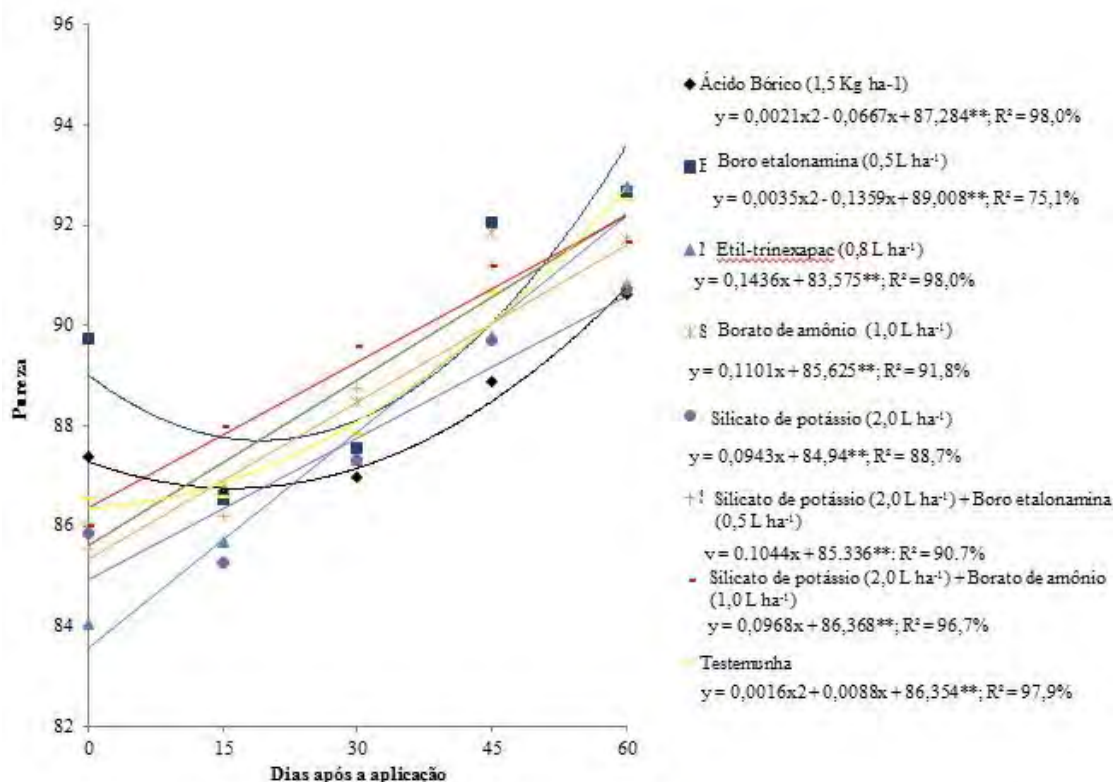
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Os resultados da análise da interferência da época de avaliação após a aplicação dos tratamentos sobre a pureza da cana de açúcar mostram que onde não houve aplicação de produto, somente a partir dos 15 dias após o início do experimento é que os valores de pureza começam a aumentar significativamente e esse aumento se mantém até os 60 dias (Figura 3).

Para as aplicações de ácido bórico e boro etalonamina, o que se nota é uma queda nos valores de pureza no intervalo de 0 a 30 DAA, mas após essa data, passa a haver aumento constante, com valores que superam a queda inicial, até os 60 DAA (Figura 3).

Os demais tratamentos apresentam comportamento semelhante caracterizado por aumento constante nos valores de pureza da cana de aproximadamente 0,1 % por dia, de 0 a 60 DAA (Figura 3).

Figura 3. Curva de maturação da cana soca (variedade RB 855453) expressa através do seu valor de Pureza em diferentes épocas de amostragem após a aplicação de diferentes maturadores.



### Conclusões

Decorrido o prazo de 45 dias após a aplicação dos produtos, os maiores ganhos de ATR (kg açúcar TC<sup>-1</sup>) e Pol resultam das aplicações de Etil-trinexapac (0,8 L ha<sup>-1</sup>) e Borato de amônio (0,5 L ha<sup>-1</sup>), no entanto não superam os resultados obtidos pela testemunha sem aplicação de maturadores.

Esses tratamentos apresentam comportamento semelhante aos demais na análise de Pureza, exceto para as aplicações de ácido bórico (1,5 kg ha<sup>-1</sup>) e Boro etalonamina (0,5 L ha<sup>-1</sup>) as quais apresentam resultados inferiores nessa e nas demais avaliações, inclusive quando comparados à testemunha.

### Referências Bibliográficas

- ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. Nutrição de cana-de-açúcar. Tradução de José Orlando Filho. Piracicaba: POTAFÓS, 1992. 40 p.
- CASTRO, P. R. C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. **Saccharum**, v.1, p.12-16, 1999.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Recife, v.6, p.36-41, 2008.
- FOLTRAN, R. Maturadores associados ao silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar. 2013. 97f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2013
- PONTIN, J. C. Avaliação de maturadores vegetais na cana-de-açúcar. **Álcool e Açúcar**, Piracicaba, v.77, p.16-18, 1995.
- QUINTANA, K. L.; ZANINI, J. R.; SILVA, E. R. Irrigação e fertirrigação por gotejamento em cana-de-açúcar na presença e ausência de boro. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 40, n. 2, p. 103 – 116. 2012.
- RODRIGUES, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 1995. 99 p.
- TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Holonulu: Hawaiians Planter's Record**. 1964. p. 133-150.

## VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM DIFERENTES DOSES DE N-FERTILIZANTE E INOCULADAS COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

William José Dellabiglia<sup>1</sup>; Glauber José de Castro Gava<sup>2</sup>; Adolfo Bérnago Arlanch<sup>1</sup>; Carlos Alberto Aparecido Mendonça Júnior<sup>1</sup>; Silmara Cristiane Bassetto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, FCA/Botucatu, SP,

<sup>2</sup> APTA, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Jaú, SP.

wjdellabiglia@gmail.com

### Resumo

O objetivo deste estudo foi verificar possíveis diferenças de parâmetros fisiológicos na cana-de-açúcar (cana-planta) por meio da aplicação de água e diferentes doses de N via irrigação (fertirrigação) e de bactérias diazotróficas (BDs). O experimento foi conduzido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da APTA, no município de Jaú, SP, (22°17' S 48°34' O, em Latossolo Vermelho). A variedade de cana-de-açúcar foi a RB92579. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI), 2 manejos de inoculação: com inoculação (CD) e sem inoculação (SD) com BDs; e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições. O experimento teve duração de 365 dias e ao longo do ciclo da cultura foram realizadas avaliações sequenciais, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, para determinação da estimativa do conteúdo de clorofila aparente por clorofilômetro e, da condutância estomática e temperatura foliar via porômetro. Constatou-se diferenças nos parâmetros fisiológicos devido a diferentes doses de N e da aplicação de água.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.*; gotejamento subsuperficial; fixação biológica do nitrogênio; SPAD; condutância estomática.

### Summary

The objective of this study was to investigate possible differences in physiological parameters in sugarcane (cane plant) through the application of water and different levels of nitrogen through irrigation (fertigation) and diazotrophic bacteria (BDs). The experiment was conducted at Research Unit Hélio de Moraes, of APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) in the municipality of Jaú, SP, (22 ° 17 'S 48 ° 34' O, Rhodic). The variety of sugarcane was RB92579. The experimental design was randomized blocks, composed by factorial of two irrigation management systems: irrigated (I) and non-irrigated (NI); and two inoculation management: with inoculation (CD) and without inoculation (SD) with BDs; and 4 availability levels of nitrogen (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compound thus 16 treatments with 4 replications. The experiment lasted 365 days and throughout the crop cycle sequential assessments were performed, at 123, 207, 305 and 365 DAP, for determining the estimate of apparent chlorophyll content via chlorophyllometer and stomatal conductance and leaf temperature via porometer. It was found differences in physiological parameters due to different levels of nitrogen and water application.

**Keywords:** *Saccharum spp.*; subsurface drip; nitrogen biological fixation; SPAD; stomatal conductance.

### Introdução

O cultivo da cana-de-açúcar em diferentes regiões do Brasil, que apresentam grande diversidade edafoclimática, promovem variabilidade na adaptação das variedades (QUEIROZ, 2006). Com base nos estudos disponíveis sobre o desenvolvimento da cultura, torna-se possível identificar e compreender a influência dos diversos fatores que afetam a produção, permitindo assim o manejo correto (MARIN, 2007). Em condições de estresse hídrico as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de formas distintas, de acordo com a espécie, seja restringindo a disponibilidade CO<sub>2</sub> para assimilação, ou pelo aumento do efeito foto inibitório (GONÇALVES *et al.*, 2010).

O manejo inadequado dos fertilizantes nitrogenados pode ocasionar queda da produtividade e da longevidade das soqueiras (GAVA *et al.*, 2011; RHEIN, 2013). GAVA *et al.* (2011), citam que a fertirrigação com nitrogênio é uma ferramenta importante capaz de suprir a necessidade hídrica da cana-de-açúcar, bem como aprimorar o manejo a adubação nitrogenada.

Até o momento, os resultados de experimentos em campo com cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas (CANTARELLA *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2013; SCHULTZ *et al.*, 2014) apontam a ocorrência de efeitos promotores de crescimento como a produção de precursores de hormônios vegetais, que podem favorecer o desenvolvimento da cultura, porém não comprovam a hipótese de que a fixação biológica do nitrogênio substitua a adubação nitrogenada (JORIS, 2015).

### Materiais e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), no município de Jaú - SP, coordenadas geográficas: latitude 22° 17' S, longitude 48° 34' O e altitude média de 580 m, em relação ao oceano. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006) de textura média. O clima predominante na região, de acordo com a classificação de Köppen é o Aw, com clima seco definido e média pluviométrica de 1.300 mm, com distribuição irregular.

O delineamento experimental foi composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI); 2 manejos de inoculação: com (CD) e sem (SD) inoculação com bactérias diazotróficas, e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições, totalizando 64 parcelas. Cada parcela era formada por quatro sulcos de 8 metros de comprimento, com plantio em linha dupla (ou em "W"), espaçamento de 1,80 m entre as linhas duplas e 0,4 m entrelinhas de cana, e sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, para os tratamentos irrigados.

A precipitação total ocorrida durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (outubro/2013 à outubro/2014) foi de 980,2 mm, e a lâmina de água aplicada ao longo do ciclo, por meio da irrigação foi de 563,4 mm, repondo 100% da evapotranspiração da cultura (ETC), segundo o método de Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004). A deficiência hídrica calculada para o período foi de 352,5 mm.

Com base nos resultados da análise química do solo da área, realizou-se a adubação no fundo do sulco para todos os tratamentos, aplicando-se uma dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de Super Simples correspondendo a 88 kg de P e 24 kg de S. Uma única dose de potássio foi atribuída a todos os tratamentos, 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (KCl). Nos tratamentos irrigados, os fertilizantes (ureia + KCl) foram distribuídos ao longo do desenvolvimento da cultura por meio de fertirrigação. Para os tratamentos não irrigados, os fertilizantes nitrogenados, (ureia e nitrato de amônio) e o cloreto de potássio foram aplicados fracionadamente, sendo uma aplicação de 50% (ureia + KCl) da dose no plantio junto com o fósforo no sulco de plantio e mais uma aplicação de 50% (nitrato amônio + KCl) da dose, aos 30 DAP; realizadas abrindo-se pequenos sulcos laterais à linha de plantio com enxada, que foram rapidamente fechados evitando-se assim possíveis perdas de N por volatilização.

As bactérias utilizadas no experimento foram selecionadas pela Embrapa Agrobiologia, isoladas da própria cana, foram: *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Burkholderia tropica* (BR 11366) e *Azospirillum amazonense* (BR 11145). Seguindo a metodologia de Reis *et al.* (2009), as estirpes foram misturadas em 1000 L de água e, os toletes de cana-de-açúcar a serem plantados, ficaram em suspensão por 2 horas nessa solução. No dia do plantio a temperatura média era de 20 °C e a umidade relativa média era de 70%.

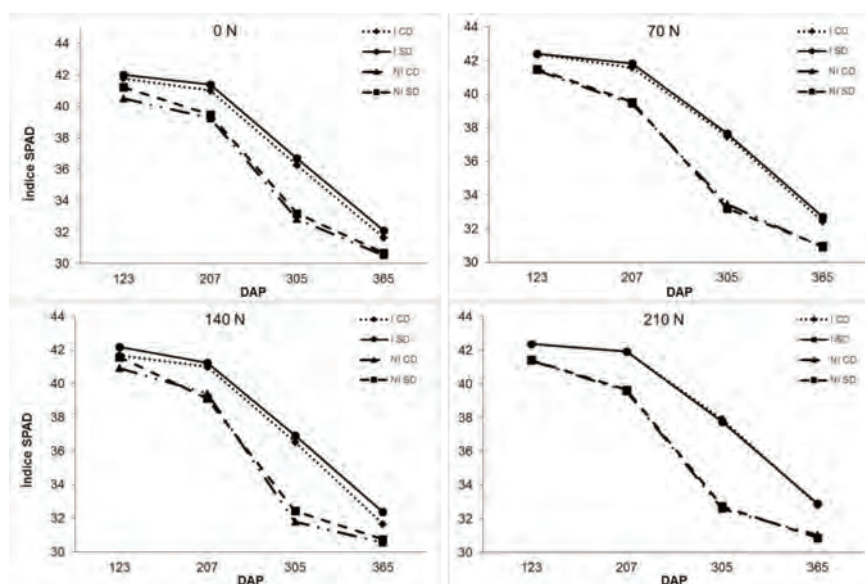
Foram realizadas avaliações sequenciais ao longo do ciclo da cultura aos 123, 207 e 305 DAP e na colheita final aos 365 DAP, avaliando e comparando os tratamentos em relação à estimativa do conteúdo relativo de clorofila aparente; condutância estomática (gs) e temperatura foliar.

A estimativa do conteúdo de clorofila aparente foi determinada usando um clorofilômetro (modelo SPAD-502, Konica Minolta, New Jersey, EUA). A leitura da parcela foi a média de três medidas nas folhas +1 de 15 perfilhos, assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação. A condutância estomática (gs) e a temperatura foliar foram obtidas através de aparelho porômetro (Leaf Porometer - Decagon Devices). As leituras foram tomadas na região mediana da folha +1 e realizadas pela manhã antes das 10:00h, assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação.

### Resultados e discussão

A variável conteúdo relativo de clorofila aparente (índice SPAD) (Figura 1), apresentou diferenças significativas entre manejo irrigado e não irrigado em todas as épocas avaliadas, também houve interação com as doses de nitrogênio aplicadas, ocorrendo aumento do índice SPAD com o aumento da dose de nitrogênio com ou sem a aplicação da tecnologia de irrigação.

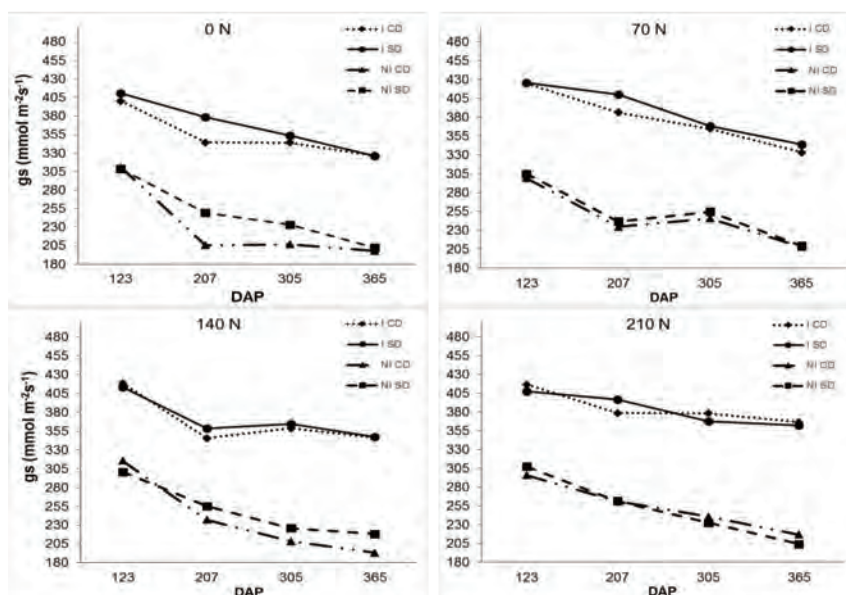
**Figura 1.** Evolução da variável teor relativo de clorofila aparente, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.



A média dos valores para a variável teor relativo de clorofila aparente nas 4 épocas de avaliação foram para o manejo irrigado foi de: 42,15; 41,49; 37,16 e 32,33 unidades aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram 41,25; 39,43; 32,79 e 30,79 unidades aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. Verifica-se que com avanço do ciclo de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, ocorreu uma diluição do valor do índice SPAD, resultados semelhantes ao deste trabalho foram encontrados por GERONIMO (2014); OLIVEIRA *et al.* (2013); RHEIN (2013); e KÖLLN (2012). A redução do índice SPAD, na quarta época de avaliação, aos 365 DAP, pode ter ocorrido devido à interrupção da irrigação.

A inoculação (CD) ou não (SD) com bactérias diazotróficas não promoveu diferenças significativas nos valores do índice SPAD. Os valores de condutância estomática (Figura 2) foram superiores no manejo irrigado comparado ao não irrigado nas quatro avaliações realizadas ao longo do ciclo da cultura. A média de condutância estomática nas 4 épocas de avaliação foram para o manejo irrigado de: 414,66; 374,89; 362,51 e 344,03, mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram 305,43; 243,29; 231,05 e 206,33 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

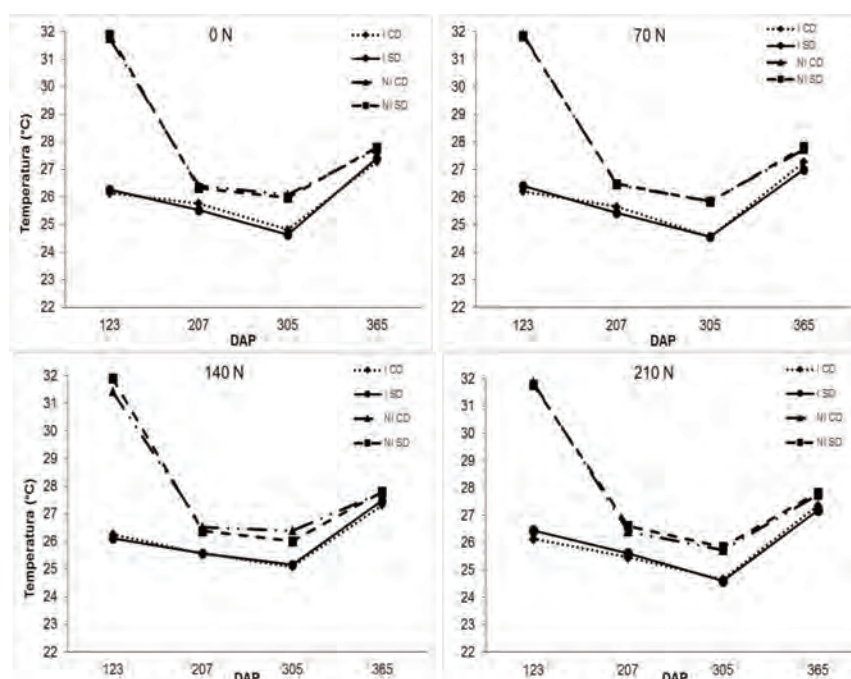
**Figura 2.** Evolução da variável condutância estomática (gs), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.



Resultados similares foram encontrados por outros pesquisadores, eles constataram a redução da condutância estomática em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica (BRUNELLI, 2014; GERONIMO, 2014; PINCELLI, 2010), bem como a redução da condutância estomática ao longo do tempo (GONÇALVES, 2010). O fechamento dos estômatos é um mecanismo de defesa da planta, e tem por objetivo reduzir a perda de água, porém como consequência reduz também a assimilação de CO<sub>2</sub> (PIMENTEL, 2004). Verificou-se que a inoculação com bactérias diazotróficas não promoveu elevação da condutância estomática das plantas de cana-de-açúcar. Não houve diferença significativa entre as doses de nitrogênio aplicadas e a condutância estomática (gs), em todas as épocas de amostragem.

Observa-se diferenças significativas na variável temperatura foliar (Figura 3) entre os manejos irrigado e não irrigado em todas as épocas avaliadas, sendo que no manejo irrigado as temperaturas foliares foram sempre menores comparado ao manejo não irrigado, mesmo na quarta avaliação aos 365 DAP, quando a irrigação já havia sido interrompida há 30 dias. A redução da condutância estomática no ambiente não irrigado, devido ao fechamento dos estômatos reduziu a transpiração, promovendo aumento da temperatura foliar (ARAÚJO et al., 2010; COSTA et al., 2013).

**Figura 3.** Evolução da variável temperatura foliar (°C), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.





A média dos valores para a variável temperatura foliar nas 4 épocas de avaliação foram, para o manejo irrigado de: 26,2; 25,6; 24,7 e 27,3 °C aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram de: 31,8; 26,5; 25,9; 27,8 °C aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. A elevação de temperatura foliar devido ao estresse hídrico foi de: +5,6; +0,9; +1,2 e +0,5 °C aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

Resultados semelhantes também foram constatados por SILVA *et al.* (2014) que verificaram aumento médio de 3°C da temperatura foliar em cultivares de cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica.

Os valores de temperatura foliar não apresentaram diferenças significativas quanto as doses de nitrogênio, também não houve diferença entre o manejo de inoculação com bactérias diazotróficas.

### Conclusões

A irrigação promoveu aumento dos valores do teor relativo de clorofila aparente, condutância estomática e redução da temperatura foliar. As doses superiores de nitrogênio promoveram aumento dos valores do teor relativo de clorofila aparente.

### Referências bibliográficas

- ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; DEMINICIS, B. B.; LIMA, É S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v.32, p.1-7, 2010.
- DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos**. 2004. 89 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004
- BRUNELLI, M. C. **Índice spad e trocas gasosas ao longo do dia para diferenciação de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica**. 2014. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F.; GAVA, G. J. C.; ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; VARGAS, V.; SOARES, J. R.; OLIVEIRA, C.; JORIS, H.; KÖLLN, O. T.; DIAS, F.; URQUIAGA, S. N fertilization and diazotrophic bacteria inoculation in sugarcane for bioenergy production (17th International Nitrogen Workshop, Ed.) Proceedings of the 17th International Nitrogen Workshop. *Anais...* Wexford: 2012.
- COSTA, J. M.; GRANT, O. M.; CHAVES, M. M. Thermography to explore plant–environment interactions. *Journal of Experimental Botany*, v. 64, n. 13, p. 3937-3949, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.3, p.250–255, 2011.
- GERONIMO, G. Z. Características morfofisiológicas e agrupamento genético de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica. 2014. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.
- GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. D. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.
- HOWELL, T. A.; EVETT S. R. The Penman-Monteith method. Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, **Conservation & Production Research Laboratory**, 2004. 14 p.
- JORIS, H. A. W. Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agrônomicos e ambientais. 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical - Gestão de recursos Agroambientais) - **Instituto Agronômico**, Campinas, 2015.
- KÖLLN, O. T. Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de <sup>13</sup>C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar. 2012. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Piracicaba: Potafós**. 319p.
- MARIN, F. R. Fenologia. Agência de Informação EMBRAPA, 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_68\\_22122006154840.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_68_22122006154840.html)>. Acesso em 06 nov 2015.
- OLIVEIRA, E. C. A. *et al.* Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 176, n. 5, p. 712-723, 2013.
- OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: Taxas de crescimento. *Scientia Agrária*, Curitiba, v.6, n.1-2, p.85-89, 2005.
- PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.
- PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- PEREIRA, W.; LEITE, J. M.; HIPÓLITO, G. S.; SANTOS, C. L. R.; REIS, V. M. Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 2, p. 363–370, 2013.
- QUEIROZ, R. J. B. Quantificação da trealose e da prolina livre em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.
- REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; URQUIAGA, S. Recomendação de uma mistura de cinco estirpes de cinco bactérias fixadoras de nitrogênio para inoculação de cana-de-açúcar: *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Azospirillum amazonense* (BR 11145) e *Burkholderia tropica* (BR 11366). **Circular Embrapa Agrobiologia**. Seropédica, RJ: 2009.
- RHEIN, A. F. L. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento**. 2013. 117 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.
- SANTOS, C. M. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos da cana-de-açúcar sob estresses induzidos por deficiência hídrica e paraquat . 2013. 93 p. **Tese** (Doutorado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.
- SCHULTZ, N.; SILVA, J. A.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; OLIVEIRA, R. P.; CHAVES, V. A.; PEREIRA, W.; SILVA, M. F.; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Inoculation of sugarcane with diazotrophic bacteria. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 2, p. 407–414, 2014.
- SILVA, D. K. T.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; OLIVEIRA, R. A. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 6, n. 1-2, p. 47-53, 2005.
- SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SANTOS, C. M.; SHARMA, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. *The Journal of Agricultural Science*, Cambridge, n.15, v.1, p 1-15, 2014.
- SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v.19, n.3, p.193-201, 2007.

# NUTRIÇÃO

## Manejo da Adubação Nitrogenada em Cana-de-Açúcar de Acordo Com a Época de Colheita no Centro Sul do Brasil

Sérgio G. Q. Castro<sup>1</sup>; Henrique C. J. Franco<sup>1</sup>; Guilherme M. Sanches<sup>1</sup>; Saulo A. Q. Castro<sup>2</sup>; Oriel T. Kölln<sup>1</sup>; Paulo S. G. Magalhães<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE – CNPEM) – Campinas, SP,

<sup>2</sup> Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ-USP)-Piracicaba, SP

*sergio.castro@bioetanol.org.br*

### Resumo

Na cultura de cana-de-açúcar devido à dificuldade do diagnóstico do estado nutricional da cultura em relação ao nitrogênio (N), a aplicação do N-fertilizante é manejada sem padronização do estágio de crescimento da planta. O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade da cana fertilizada com doses de N em diferentes épocas de aplicação ao longo da safra, utilizando sensor de refletância do dossel de plantas como possível método de diagnose da demanda de N pela cultura. Foram instalados três experimentos em área com a mesma variedade e idade, colhidas em distintas épocas da safra. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo cinco épocas de aplicação após a colheita (logo após o corte da soqueira; aos 30, 60, 90 e aos 120 dias após o corte - DAC) e cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> N). Houveram diferenças entre as produtividades (TCH) dos experimentos colhidos em diferentes épocas. A época de aplicação do N teve impacto na TCH, sendo a maior resposta ao N-fertilizante quando não houve estresse hídrico. O momento para utilizar o sensor de refletância está associado a ausência de déficit hídrico, e canaviais apresentando altura entre 0,4 a 0,6 m.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão; *Saccharum spp.*; Produtividade da cana-de-açúcar

### Summary

In sugarcane crop due to the difficulty of diagnosis of the nitrogen (N) nutritional status of the crop, the application of N-fertilizer is handled without standardization of plant growth stage. The objective was assessing the sugarcane yield fertilized with different N rates and application periods during the crop season, using the crop canopy reflectance sensor. Three experiments were carried in sugarcane area with the same variety and age, harvest at different periods (beginning, middle and end) of the crop season. The experimental design was randomized blocks with split plots with for replications. The main treatments were five application periods of N-fertilizer (after harvesting the ratoon, 30, 60, 90 and 120 days after the harvest - DAH) and the second treatments were five N rates (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha<sup>-1</sup> of N). There were differences between the yields (TSH) of the experiments harvested at different periods. The N application period had an impact on the TSH, and the best response to N fertilizer when there was no water stress. The best time to use the crop canopy reflectance sensor was associated with lack of water deficit, and the cane fields presenting tillers height between 0.4 - 0.6 m.

**Keywords:** Precision Agriculture; *Saccharum spp.*; Sugarcane yield

### Introdução

O Brasil possui extensa área cultivada com cana-de-açúcar (8,6 milhões de hectares), com destaque para o Estado de São Paulo com 55% desse total. Segundo as projeções nacionais se estima que foram processadas no Brasil (safra 2015/2016) 665 milhões de toneladas de cana, cuja produtividade média foi de 77 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016). Uma das maiores limitações ao incremento de produtividade é a disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes no solo, com destaque para o N. Especificamente para a cultura da cana-de-açúcar, a dose empregada na fertilização com N varia muito, tendo países com doses relativamente baixas (Brasil), como também em outros países, por exemplo Índia, Austrália e Guatemala, que aplicam quantidades elevadas de N-fertilizante (THORBURN *et al.*, 2011), sem existir um método de diagnose nutricional eficiente.

Geralmente a eficiência de utilização do N-fertilizante pela cultura é baixa, apresentando valores inferiores a 50% da dose aplicada (FRANCO *et al.*, 2015), o que leva ao questionamento: não seria eminente a necessidade de desenvolvimento de estratégias visando o manejo da fertilização nitrogenada nos canaviais brasileiros promovendo o aumento da eficiência de uso de N pela cana-de-açúcar? Nesse contexto, o manejo da adubação nitrogenada se destaca como uma das práticas culturais mais estudadas na cultura da cana-de-açúcar, existindo resultados variáveis em relação ao aumento da produtividade de colmos em função do emprego de doses de N (QUASSI DE CASTRO *et al.*, 2013), porém sem uma recomendação baseada em método de diagnose, sendo a produtividade baseada na produtividade esperada (SPIRONELLO *et al.*, 1997).

Deve ser enfatizado que a época de colheita da cana-de-açúcar nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil varia de abril a novembro, período no qual também são realizadas as fertilizações de soqueira, geralmente logo após a colheita em uma única vez. Com isso, canaviais de ciclo precoce e médio, com colheitas realizadas entre abril e agosto, as fertilizações são realizadas em período seco (poucas chuvas) e frio. Desse modo, considerando que entre 70 a 80% do acúmulo de biomassa da cana-de-açúcar ocorre no período do verão (entre dezembro e março) (GAVA *et al.*, 2001), é possível observar falta de sincronia entre a época de maior demanda por nutrientes e a época de aplicação dos fertilizantes.

Pelo exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade da cana-de-açúcar fertilizada com doses de N em diferentes épocas de aplicação ao longo da safra, utilizando sensor de refletância do dossel de plantas como possível método de diagnose da demanda de N pela cultura.

### Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida em três áreas comerciais, localizadas na região de Ribeirão Preto - SP (20°52'31"S, 47°57'56"O). As áreas experimentais foram escolhidas em função da época de colheita da região centro sul do Brasil. A primeira área, para colheita em início de safra (meses de abril a maio), a segunda área para colheita em meio de safra (meses entre julho e agosto) e a terceira área para colheita em fim de safra (meses de outubro e novembro). Em todas as áreas a variedade plantada foi a IACSP95-5000 (1º corte), e de acordo com a análise de solo (Tabela 1) - metodologia RAIJ *Et al.* (2001), todas as áreas foram classificadas como Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 2006).

**Tabela 1.** Caracterização química do solo das áreas experimentais.

Prof.	pH	MO	S-SO <sub>4</sub>	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
m	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>					mmol. dm <sup>-3</sup>				%
Área de início de safra												
0,0-0,2	5,2	40	6	11	1,3	30	12	39	0	43,0	82,0	52
0,2-0,4	5,3	38	9	10	1,8	37	10	39	0	48,1	86,7	53
0,4-0,6	5,5	32	13	9	0,7	37	8	33	0	45,5	78,3	57
0,6-0,8	5,8	20	10	8	0,7	29	6	24	0	35,1	59,3	56
0,8-1,0	5,7	14	46	5	0,7	22	4	23	0	27,0	50,4	47
Área de meio de safra												
0,0-0,2	5,4	37	66	15	6	53	18	28	0	78,0	106,0	73
0,2-0,4	5,2	34	63	28	4,4	48	13	40	0	65,2	105,1	62
0,4-0,6	5,3	28	66	16	2,0	37	10	36	0	48,2	84,5	57
0,6-0,8	5,4	19	81	8	0,8	33	9	27	0	42,8	70,0	60
0,8-1,0	5,7	15	101	7	0,5	33	8	23	0	42,3	65,7	61
Área de fim de safra												
0,0-0,2	5,2	37	44	12	2,0	41	17	38	0	60,0	98,0	60
0,2-0,4	4,9	37	46	11	1,5	30	10	44	0	41,5	85,3	48
0,4-0,6	4,9	32	77	10	1,0	24	5	44	0	29,6	73,3	40
0,6-0,8	4,9	21	171	5	0,6	17	3	38	0	20,0	57,6	36
0,8-1,0	5,2	17	84	4	0,3	15	4	28	0	19,6	47,4	41

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas em quatro repetições. Os tratamentos principais foram épocas de aplicação do N-fertilizante (0, 30, 60, 90 e 120 dias após o corte - DAC), e os tratamentos secundários alocados nas sub parcelas foram doses de N fertilizante (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> N), totalizando 100 parcelas experimentais, em cada área. A fonte nitrogenada utilizada foi o nitrato de amônio (33% N), aplicado em ambos os lados da linha de cana, a 0,12 m de profundidade.

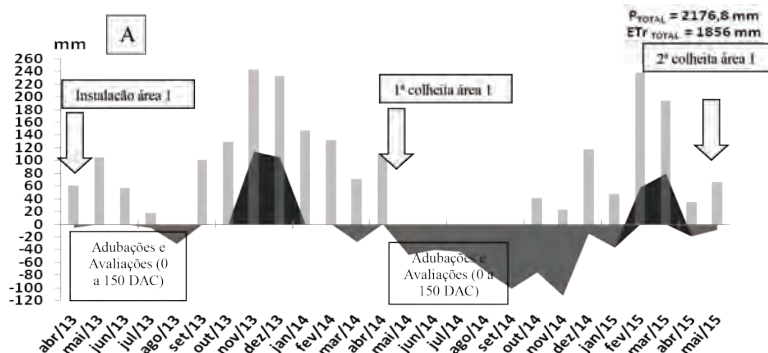
Durante o ciclo de crescimento da cana-de-açúcar foram realizadas avaliações do estado nutricional e de parâmetros morfológicos da cultura, em cada sub parcela. A primeira avaliação foi realizada aos 30 DAC e as demais aos 60, 90, 120 e 150 DAC. O sensor de refletância do dossel de plantas (ACS 430 Crop Circle – Holland Scientific) foi utilizado na execução de leituras mantendo sempre uma distância fixa de 0,8 m em relação ao dossel (recomendação do fabricante), obtendo assim o valor médio dos índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), por sub parcela. A altura média de plantas foi executada com o auxílio de fita métrica, na qual 10 plantas escolhidas ao acaso em cada sub parcela eram medidas até a inserção da folha +1.

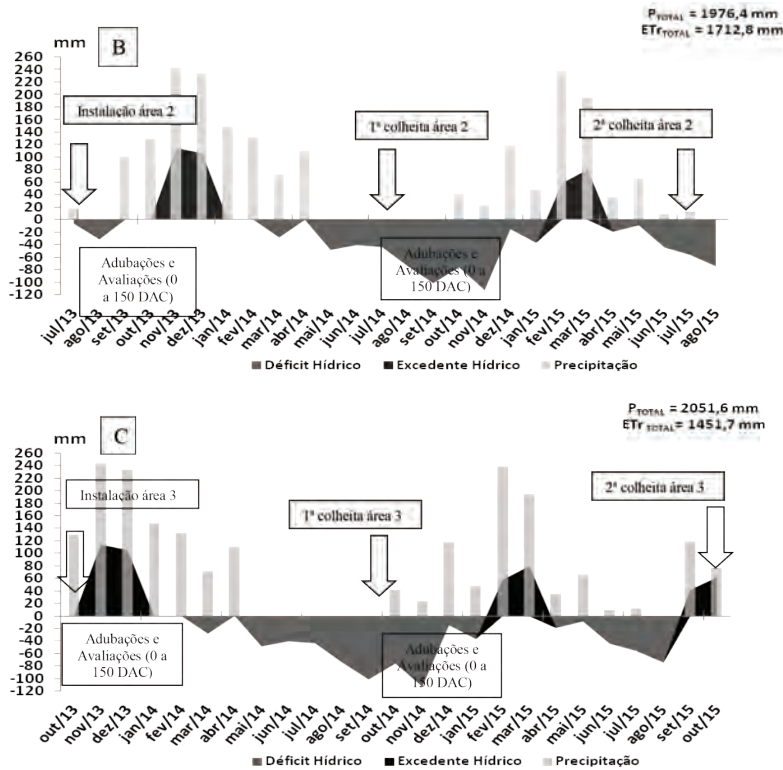
A produtividade industrial foi realizada em cada sub parcela, sendo demarcados 2 m de linha de cana-de-açúcar onde se contou o número de colmos. Esses foram colhidos manualmente, tendo as partes separadas em folhas secas, ponteiros e colmos. Todas essas partes das plantas presente nos 2 m amostrais foram pesadas e de acordo com a população de plantas por área, estimou-se a produtividade por hectare de cada parcela (Mg ha<sup>-1</sup>).

Em todo o período experimental os dados climatológicos foram monitorados com o auxílio de uma estação meteorológica (Vantage Pro II - Decagon Devices, Califórnia - EUA) instalada próximo as áreas experimentais. Com isso foi possível realizar o cálculo do balanço hídrico de cada área (metodologia de THORNTON & MATHER, 1955) - (Figuras 1a, 1b e 1c).

Todos os dados foram submetidos a análise de variância e quando significativos, comparados pelo teste de Tukey com nível de confiança de 90% (P < 0,10). Para comparação das doses de N foi feito o uso de regressões (linear ou quadrática).

**Figura 1.** Balanço hídrico para os anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015 nas áreas experimentais: A- início; B- meio; C- fim de safra.





**Resultados**

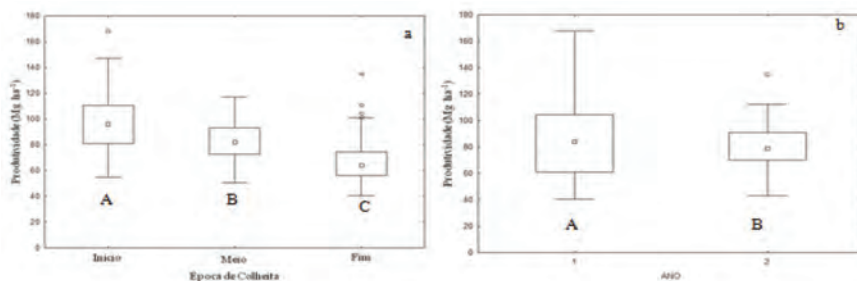
A época de colheita da cana-de-açúcar associada às condições climáticas em cada ano experimental são as variáveis que mais influenciaram a TCH da cana-de-açúcar (Tabela 2). A área colhida no início de safra apresentou maior potencial de produção de cana-de-açúcar, seguida da área colhida no meio de safra, que por sua vez foi superior a área colhida no final de safra (Figura 2a). As condições climáticas influenciaram a produtividade da cana-de-açúcar durante todo o período experimental, já que no primeiro ano, devido não ter ocorrido adversidades climáticas, a produtividade da cana-de-açúcar foi superior ao segundo ano, período que ocorreu seca na região centro sul, promovendo assim uma queda na TCH (Figura 2b).

**Tabela 2.** Valores de significância para a TCH da cana-de-açúcar, em cada uma das variáveis analisadas na análise conjunta de experimentos.

Parâmetros e Interações	Valor de Significância
Local – época de colheita	0,001***
Ano experimental	0,001***
Época de aplicação	0,01*
Dose de N	0,001**
Época de aplicação x ano	0,001***
Época de colheita x época de aplicação x ano	0,001***
Época de colheita x dose de N x ano	0,001***

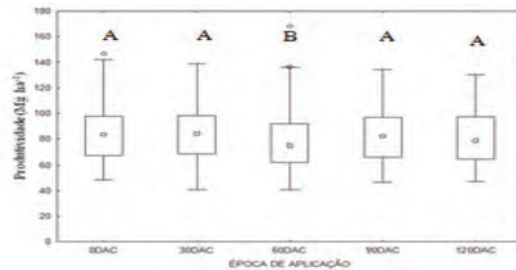
OBS: \*\*\* - significativo a 0,001; \*\* - significativo a 0,01; \* - significativo a 0,05.

**Figura 2.** Efeito da época de colheita (a) e condições climáticas (b) na produtividade da cana-de-açúcar, cultivada na região centro sul do Brasil. Obs: Letras maiúsculas diferem as épocas de colheita da cana-de-açúcar (Figura. 2a) e anos experimentais (Figura.2b).



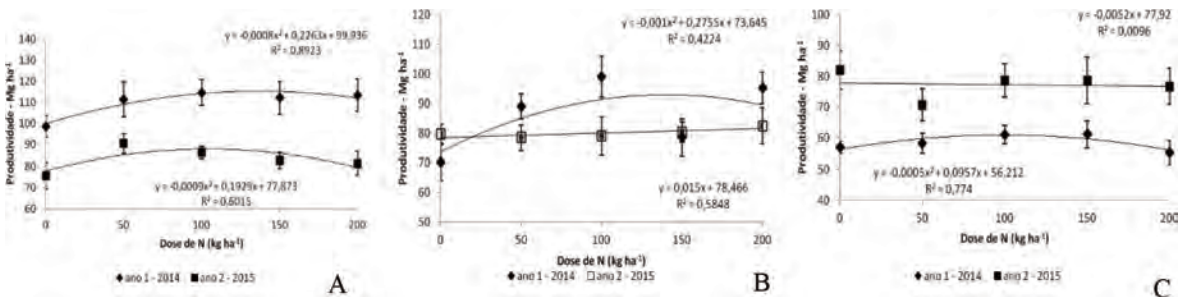
Ao analisar somente o efeito da época de aplicação do N-fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar, ocorreu pequena diferença em todo o período experimental, na qual a adubação feita aos 60 DAC independentemente da época de colheita e do clima obteve a menor TCH (Figura 3).

**Figura 3.** Efeito da época de aplicação na produtividade da cana-de-açúcar na região centro sul do Brasil. Obs: Letras maiúsculas diferem as épocas de aplicação do N-fertilizante.



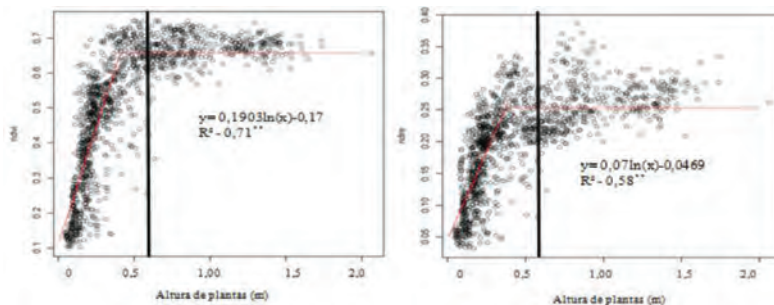
O clima impactou diretamente na resposta da cultura a adubação nitrogenada pois, no segundo ano, devido à seca ocorrida, não houve diferenças na TCH da cana-de-açúcar nas áreas colhidas no meio e final de safra em função das doses de N aplicadas (Figura 4b e 4c). No primeiro ano de avaliação as doses de N proporcionaram diferenças na TCH, de modo que nas áreas colhidas no início e meio de safra, a máxima produtividade teórica foi obtida com a dose de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N, e na área colhida no final de safra a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou a máxima produtividade teórica da cana-de-açúcar (Figura 4a b c).

**Figura 4.** Efeito da dose de N na TCH da cana-de-açúcar em área de início (A), meio (B) e final (C) de safra, durante duas safras agrícolas.



Embora o sensor de refletância não tenha conseguido prever a dose de N a ser aplicado no transcórper da colheita na região centro sul do Brasil devido as condições heterogêneas do clima em cada uma das áreas de colheita durante todo o período experimental, a definição do momento mais adequado para a avaliação do sensor de refletância do dossel de plantas pode estar associado à altura máxima de perfilhos (inserção da folha +1), tendo em vista que independentemente da época de colheita e condição climática, plantas com altura superior a 0,60 m, os índices NDVI e NDRE obtidos estão próximos a saturação, prejudicando o desempenho do sensor na predição da demanda de N pela cana (Figura 5). Assim, as avaliações a campo devem ser realizadas até o momento em que as plantas apresentarem 0,60 m de altura até a folha +1.

**Figura 5.** Correlação do índice NDVI e NDRE com a altura de perfilhos da cana-de-açúcar cultivada na região centro sul do Brasil durante duas safras agrícolas.



**Resultados e Discussão**

Em um compilado de publicações recentes relacionados a adubação nitrogenada em cana crua, QUASSI DE CASTRO & OTTO (2013) constataram que em 84% dos estudos analisados houve aumento da produtividade pela adubação nitrogenada, em certos casos, com acréscimos superior a 25% na TCH, justificativa atrelada a muitos fatores (clima, textura do solo, manejo da adubação e época de corte). De

fato, durante as safras agrícolas avaliadas, a produtividade média de colmos obtida nas áreas de início, meio e final de safra foram, respectivamente: 97, 83 e 68 Mg ha<sup>-1</sup>, ou seja, a mesma variedade e mesmo corte, conduzida em solos com padrões de fertilidade semelhantes, obteve variação de até 29 Mg ha<sup>-1</sup> na TCH de acordo com o momento de colheita associada diretamente as condições climáticas, inferindo que áreas colhidas no início de safra na região centro sul do Brasil, possuem maior potencial de produção. Prova disso é que considerando a diferença de pluviosidade em todo o período experimental, na área de início de safra ocorreu em média 200 mm a mais que as demais áreas, sendo que a mesma área obteve um acréscimo médio de 20 Mg ha<sup>-1</sup> na TCH, ou seja, para cada 10 mm a mais de pluviosidade houve o acréscimo de 1 TCH.

Devido à ausência de trabalhos sobre qual a melhor época de se realizar a aplicação do N em cana-de-açúcar, essa é realizada mais em função da logística operacional, o que faz com canaviais colhidos no início e meio de safra na região centro sul do Brasil, sejam adubados em período de déficit hídrico e frio (estação do inverno). Nesse sentido, o presente trabalho tenta auxiliar o setor com essa resposta, avaliando qual o melhor momento de se aplicar o N-fertilizante após a colheita da cana no transcorrer da safra agrícola. Assim, de um total de seis avaliações (três áreas monitoradas por dois anos) em quatro houve interferência da época de aplicação na TCH, mostrando a importância de basear nesse parâmetro durante o manejo da cultura. Com base nos resultados, é possível afirmar que o momento na qual existe condições adversas do clima (déficit hídrico), não é conveniente realizar a aplicação do N-fertilizante, pois a aplicação realizada nessa época apresentou menor TCH.

São raros os trabalhos realizados no Brasil, que avaliaram a resposta da TCH em função da dose de N de acordo com o momento que é feita a colheita da lavoura. Na área colhida no início de safra, a aplicação de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N (primeiro ano) e 108 kg ha<sup>-1</sup> de N (segundo ano) obtiveram os maiores ganhos de TCH. Na área colhida no meio de safra, a aplicação de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N obteve maiores incrementos na TCH no primeiro ano do experimento, na qual as parcelas adubadas produziram em média 20 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos a mais do que as parcelas que não receberam o N-fertilizante. Por último, na área de final de safra no primeiro ano, a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou melhores resultados na TCH corroborando com o apresentado por FORTES *et al.* (2011).

Baseado nas avaliações mensais em que o sensor de refletância foi capaz de prever a resposta da cultura ao N, as plantas apresentavam altura média entre 0,20 a 0,40 m, estande médio de 18 - 20 perfilhos m<sup>-1</sup>, com 7 folhas verdes totalmente expandidas, 1 folha seca, sem adversidade climática severa (déficit hídrico). Essa caracterização do desenvolvimento das plantas no campo, assemelha-se ao apresentado em outros ensaios (AMARAL & MOLIN, 2011; PORTZ *et al.*, 2012), os quais demonstram que os melhores resultados são obtidos quando utilizado o sensor em estande com altura média de até 0,40 m, ressaltando que, avaliações iniciais cuja as plantas apresentem altura inferior a essa, possam ser prejudicadas pelo pequeno dossel de plantas existente na linha, interferindo na mensuração dos índices e conseqüentemente na predição da dose de N.

### Conclusão

A época de colheita da cana-de-açúcar cultivada na região centro sul do Brasil, associada as condições climáticas, influenciam a produtividade de colmos. A aplicação do N-fertilizante na soqueira, em diferentes momentos após a colheita, possibilita ganhos produtivos, na qual, a melhor época de aplicação está atrelada as condições hídricas favoráveis ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. A adubação nitrogenada em soqueira de cana crua promove ganhos na TCH, sendo que, em áreas de início e meio de safra, doses próximas a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentam maior retorno produtivo, e em áreas de fim de safra a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a mais produtiva. O melhor momento para utilizar o sensor de refletância do dossel está associado a ausência de déficit hídrico, além do canavial apresentar em condições de campo, altura média (até inserção da folha +1) entre 0,4 a 0,6 m.

### Agradecimentos

A FAPESP (Processo 2013/01417-2), pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor, e ao IPNI pelo prêmio concedido a essa pesquisa (IPNI Scholarship Award – 2015).

### Referências Bibliográficas

- AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P. Optical sensor to support nitrogen fertilization recommendation for sugarcane crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, p.1633-1642, 2011.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira. Cana-de-açúcar. v.4 Safra 2015-16. 4º levantamento. Março de 2016. **Monitoramento Agrícola**. Disponível: [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br) Acessado em 16 de Abril de 2016.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.
- FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R. Recovery of Nitrogen (15N) by sugarcane from previous crop residues and urea fertilization under a minimum tillage system. **Sugar Tech**, v.13, p.42-46, 2011.
- FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; FORTES, C.; FERREIRA, D.A.; KOLLN, O.T.; GARSIDE, A.L.; TRIVELIN, P.C.O. Residual recovery and yield performance of nitrogen fertilizer applied at sugarcane planting. **Scientia Agricola**, v. 72, n.6, p. 528-534, 2015.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1347-1354, 2001.
- PORTZ, G.; MOLIN, J.P.; JASPER, J. Active Crop Sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v.13, p.33-44, 2012.
- QUASSI DE CASTRO, S.A.; OTTO, R. Resposta da cana crua à adubação nitrogenada. In: VI Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar, 7 ed., 2013, Piracicaba, **Anais...** p.169-177.
- RAIJ, B. van; GHEYI, H.R.; BATAGLIA, O.C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solos. In: RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. 1.ed. Campinas, **Instituto Agrônomo**, 2001, p. 277-284.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.M.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL M.G.A.; ROSSETTO, R. Cultura da Cana-de-Açúcar. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.; FURLANI, A.M.C. (Eds) Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, p.237-239.

THORBURN, P.J.; BIGGS, J.S.; WEBSTER, A.J.; BIGGS, I.M. An improved way to determine nitrogen fertiliser requirements of sugarcane crops to meet global environmental challenges. **Plant Soil**, v.339, p.51-77, 2011.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (**Publications in Climatology**, vol. VIII, n.1).



## AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DA CANA PLANTA E AS SOQUEIRAS SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E ARRANJOS ENTRE PLANTAS

Fábio Cesar da Silva<sup>1</sup>; Adriana Antonioli<sup>2</sup>; Helder Basaglia Zotelli<sup>3</sup>; Luiz Antônio Borges<sup>4</sup>; Pedro Luiz de Freitas<sup>5</sup>; Guilherme Kangussu Donagemma<sup>5</sup>; Santiago Viana Cuadra<sup>6</sup>. José Ruy Porto de Carvalho<sup>7</sup>; Rodrigo Fernandes Pires<sup>8</sup>.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor Em Solos E Nutrição De Plantas, Pesquisador Da Embrapa Informática Agropecuária E Professor Da Fatec Piracicaba, Campinas, SP

<sup>2</sup> Engenheira Ambiental E Tecnólogo Em Biocombustíveis, Coordenação Tutorial No Curso De Tecnologia E Gestão Ambiental Da Universidade Do Norte Do Paraná No Polo Piracicaba, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Gerente De Planejamento E Qualidade Agrícola Da Alcoeste Destilaria, Fernandópolis, SP.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Diretor Agrícola Da Usina Madhu, Renuka Do Brasil, Promissão, SP

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor Em Ciência Do Solo, Pesquisador Da Embrapa Solos, Rio De Janeiro, RJ

<sup>6</sup> Meteorologista, Pesquisador Da Embrapa Clima Temperado, Pelotas RS.

<sup>7</sup> Estatístico, Ph.D. Em Estatística, Pesquisador Da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

<sup>8</sup> "in Memoriam" - Técnico Agrícola, Setor Agrícola Da Unidade Madhu, Renuka Do Brasil, Promissão, SP

*fabio.silva@embrapa.br*

### Resumo

Para avaliar a influência da mudança no espaçamento e no arranjo entre plantas na produtividade e na qualidade da cana-de-açúcar para produção de etanol ou açúcar foi instalado um experimento em área de reforma de canaviais na área agrícola da Usina Renuka – Unidade Madhu, localizada em Guaíçara – SP. O experimento foi instalado em blocos ao acaso com parcelas com largura de 8 linhas de comprimento de 15 metros e 6 repetições, sendo os tratamentos: T1 – Convencional (1,5m x 1,5m); T2 – Duplo (0,9m x 1,5m); T3 – Base Larga (0,8m x 1,8m) e T4 – Base Larga (0,8m x 2,0m). Os resultados obtidos permitem concluir que não houve diferença estatística entre médias dos tratamentos na produtividade medida em pesagem colhido por máquina e a biometria para crescimento da cana-planta, a exceção do perfilhamento. Na cana soca, a maior produtividade foi observada no sistema duplo alternado (0,90 x 1,5m), na ordem de 122 TCH, enquanto os sistemas de base larga na ordem de 81 a 82 TCH e o espaçamento tradicional de 1,5m com 84 TCH. A melhor extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana planta ocorreu no T3 (0,8 x 2,0m).

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, espaçamento; produtividade agro tecnológica.

### Summary

To evaluate the influence of the change in row spacing and arrangement between plants on yield and quality of sugarcane for ethanol or sugar, a sugarcane experiment was installed in one reform area of the sugarcane mill Renuka - Unit Madhu, located in the municipality of Guaíçara – São Paulo State, Brazil. The experiment was installed in randomized blocks in portions with a width of 8 furrows and length of 15 meters and 6 repetitions and the treatments: T1 - conventional (1,5m x 1,5m); T2 - Double (0,9m x 1,5m); T3 - wide Base (0,8m x 1,8m) and T4 - wide Base (0,8m x 2,0m). According to the results, it can be concluded that there was no statistical difference between treatment means on the sugarcane yield (harvested by machine and by weighing load cell) and biometrics measures for the plant cane cycle, except for the tillering. In the ratoon cane cycle, the highest yield was observed in the alternate dual system (0,90 x 1,5m), 122 t ha<sup>-1</sup>, while the broad based systems in the order 81-82 t ha<sup>-1</sup> and traditional spacing of 1,5m 84 t ha<sup>-1</sup>. The best nutrient uptake and allocation in the aerial part of the plant cane was observed for the T3 (0,8 x 2,0m).

**Keywords:** sugarcane, row spacing; agro-technology productivity.

### Introdução

Sistemas de produção de biomassa podem ser utilizados para transformação da biomassa em produtos energéticos de fácil utilização, como, por exemplo, para produção de combustíveis líquidos e/ou na produção de energia (etanol e eletricidade) e os respectivos subprodutos, com destaque para cultura da cana-de-açúcar. O sucesso da adoção da cultura de cana-de-açúcar perfaz uma área plantada no ano de 2015 de aproximadamente 8,9 milhões de hectares, sendo a cultura de grande importância para o agronegócio nacional (CARVALHO, 2015).

Para produção da cultura da cana-de-açúcar as primeiras operações no sistema de produção agrícola é o plantio, que afeta as operações subsequentes, como também a produtividade da cultura. O plantio é predominantemente semi-mecanizado, mas recentemente muitas mudanças têm acontecido nesse setor em direção ao plantio mecanizado. Entretanto, a operação do plantio é influenciada por diversos fatores, tais como, as características técnicas e das máquinas utilizadas na operação, das distinções de cada propriedade agrícola como o tamanho, o espaçamento, a velocidade operacional, a distância do talhão de plantio, dentre outros. Estes fatores afetam o desempenho técnico-econômico e o dimensionamento do número de conjuntos necessários na operação, tanto para o transporte de mudas quanto para o plantio (OLIVEIRA, 2012).

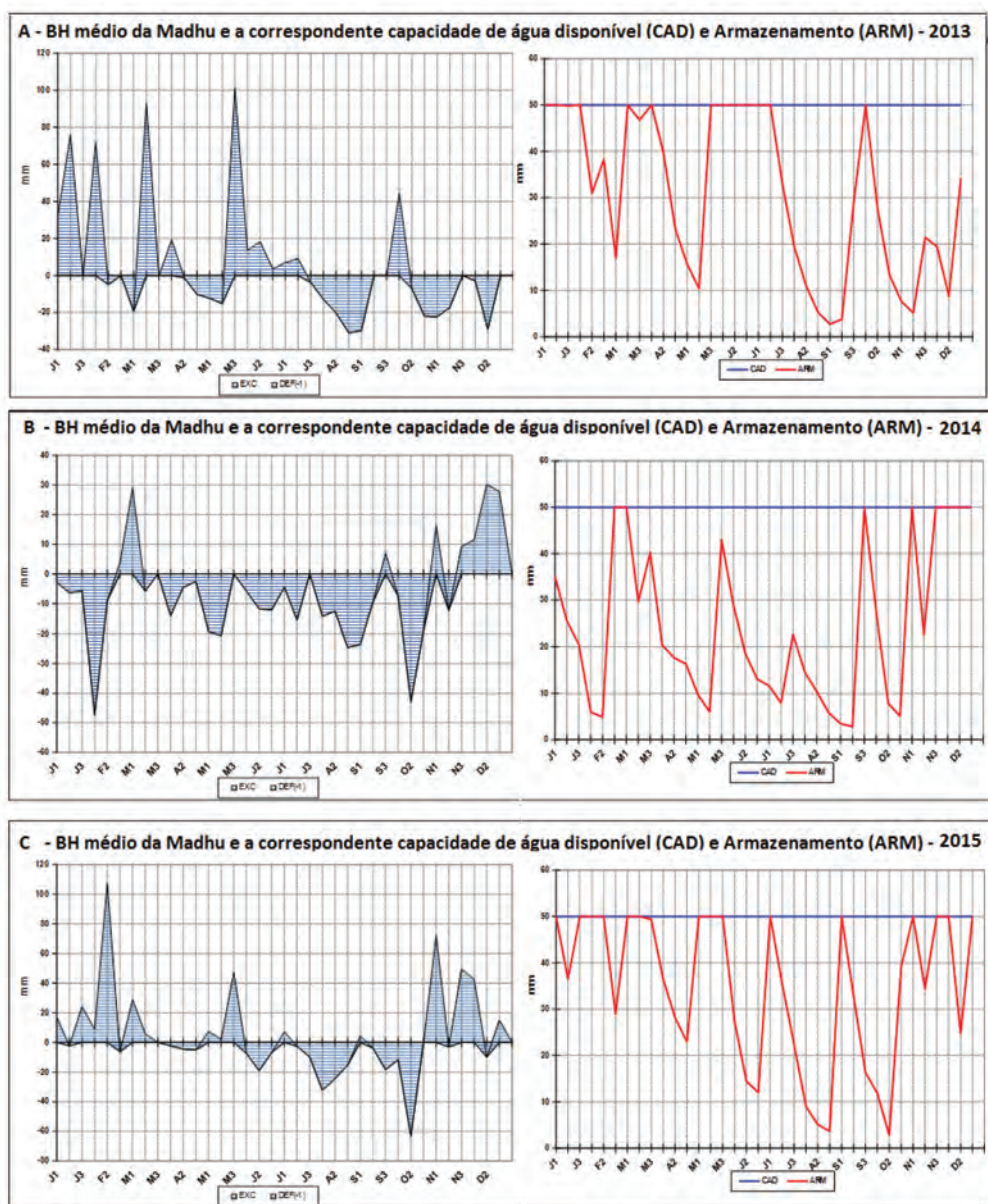
O espaçamento e o arranjo entre plantas são as variáveis mais pesquisadas há décadas no sistema de plantio de cana-de-açúcar, tendo como propósito esclarecer quais deles resultavam em maiores produtividades, contemplando o desempenho de uma cultivar, modo de competição, níveis de irrigação e ambientes pedoclimáticos. De acordo com CASIERO (2014), a maioria dos estudos mostrou que os melhores resultados de produtividade ocorriam nos espaçamentos menores. No entanto, a adoção de espaçamentos de plantio menores vem sendo muito questionada em função da intensificação do tráfego de colhedoras e transbordo sobre os canaviais nas suas diversas fases, na qual podem alterar as propriedades físicas, hídricas e biológicas do solo e causar danos físicos às plantas, e, consequentemente, prejudicar o desenvolvimento das novas plantas da soqueira. Os sistemas de plantio apresentam vários espaçamentos com bitolas entre linhas variáveis, além do espaçamento combinado, com linhas duplas distanciadas entre si e entre as duplas para favorecer a colheita mecanizada (OLIVEIRA, 2012).

Nesse trabalho elegeu-se o espaçamento entre linhas como objetivo principal para a avaliação da interferência de diferentes tipos de espaçamentos de plantio na produtividade agrícola da cultura de cana-de-açúcar em três colheitas (cana planta, soca e ressoça) e na qualidade da matéria-prima para produção de açúcar e etanol.

### Materiais e Métodos

O ensaio foi conduzido na Fazenda Nova Holanda, no município de Guaiçara - SP, em área experimental homogênea e se localiza entre as coordenadas geográficas, 21° 37' 17.8" Latitude Sul e 49° 50' 01.0" Longitude Oeste, da Usina Madhu. O clima, segundo a classificação de KÖPPEN (1948), é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com uma estação seca, que vai de abril a agosto e a estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso. A temperatura média no inverno varia entre 14 °C e 27 °C, e no verão varia entre 20 °C e 30 °C. A precipitação média anual está entre 1.300 e 1.400 mm, sendo os balanços hídricos obtidos nos anos de 2013/15 inserido na (Figura 1). Na área experimental onde o experimento foi realizado, o solo é classificado como um Latossolo Vermelho mesotrófico de textura média. A textura predominante é franco argilo-arenosa com teores de argila (exceção na camada 0-20 cm da tratagem B) variando entre 162 e 203 g kg<sup>-1</sup> na camada superficial a 243 a 264 g kg<sup>-1</sup> na profundidade de 80 a 100 cm. Predominância de areia fina (relação Areia Grossa/Areia Fina entre 0,11 e 0,16). Grau de Floculação (argila não dispersa) baixa mostram a fragilidade de agregação do solo. Complexo sortivo apresenta variações importantes entre as três tratagens sendo que a tratagem B apresenta os maiores teores de cátions (Ca, Mg e K) com saturação de bases (valor V) de 100 % (eutrófico). Teores médios de alumínio na tratagem A (caráter álico na camada 80-100 cm). Em geral, existe uma variação importante nas características químicas do solo a ser observada na interpretação dos resultados biométricos obtidos.

**Figura 1.** Balanço hídrico no cultivo da cana planta (A- 2013), soca (B – 2014) e da ressoça (C- 2015) na área experimental na Renuka – Mandhu, em Promissão – SP.



A área do experimento foi dividida em 2 grandes blocos (A, B) ao acaso de 3,505 ha cada, cada bloco é subdividido em 3 sub-blocos sorteadas com 4 tratamentos cada (T1 – linha simples 1,5m; T2 – duplo alterado, T3 e T4), sendo no total de 6 parcelas, ou seja, tem-se 6 repetições para cada tratamento. Cada parcela possui 6 linhas de plantio com 20 m de comprimento cada e de largura variável, que permitem caracterizados pelo tipo de preparo. Cada bordadura (duas no total) da área experimental possui quatro linhas com 1,50 m de largura a partir do carreador e cada tratamento de 20m de comprimento. As mudas utilizadas no plantio das áreas experimentais foram mudas de 8 meses de idade, provenientes da variedade CTC 15, planta média/tardia com alta tolerância à seca e rústica. O delineamento foi de blocos ao acaso com 4 tratamentos com 6 repetições, sendo o Testes de Tukey para contraste de média entre os tratamentos, utilizou-se o software estatístico R.

O cronograma resumido com todas as atividades executadas na área experimental desde sua instalação foi: i) preparo do solo (15/11/12); II) aplicação de herbicidas – PPI (15/11/12) e Pós (09/01/13); III) plantio (27/12/2012); IV) avaliações da cana planta (12/05, 19/06, 31/07 e 15/10/2013) e a colheita (18/12/2013); v) avaliação na cana soca (05/05, 08/07, 18/09 e 12/11) e a segunda colheita (05/12/2014); e a vi) avaliação na ressoca (05/05, 13/06, 02/10) e na colheita final (16/12/2015) foram colhidos por máquina e pesadas no transbordo por célula de carga. Para cada avaliação, ao longo da cana planta, soca e ressoca foram adotados os seguintes critérios: (1) utilizadas e avaliadas somente as quatro linhas centrais, sendo consideradas como bordadura as quatro linhas laterais de cada unidade experimental; (2) mensuração da contagem de perfilhos em 2 metros em cada linha útil nas linhas principais; (3) realizou-se as pesagens de 10 canas (10 com palha, 10 sem palmito, e 10 sem palha e palmito) obtida de 2 metros e (4) mediu-se o diâmetro médio e a altura da cana; e a mediu-se depois 10 canas foram separadas por parcela e identificadas para pré e pós-análises na Usina a fim de se obter os valores de PCC, Brix, Fibra e calculado o ATR (5; SPCTS – CONSECANA, 2006); e (6) retirou-se amostras de 20 folhas e mais colmos desfibrado por parcela, foram secos a peso constate à 65° C e enviadas para a análise de tecido para determinação dos teores de N, P e K nos laboratórios da Embrapa Solos (SILVA, 2009). As amostras de colmos desfibrados e de folhas foram secas à 65 °C e moidas. As análises de macronutrientes foram realizadas na Embrapa Solos – RJ.

## Resultados e Discussões

Analisando-se os resultados na (Tabela 1) em relação a produtividade da cana-de-açúcar, os valores apresentados não apresentaram diferença estatística de acordo com a metodologia utilizada. Os resultados de produtividade encontrados nesta foram maiores que a média para o estado de São Paulo (74.71 kg ha<sup>-1</sup>), na safra 2012/2013. Para a questão do perfilhamento da cana-de-açúcar, vale ressaltar que a longevidade do canavial está diretamente relacionada à uniformidade dos perfilhos e ao não tráfego de máquinas sobre a cultura. Os valores amostrados para perfilhamento e altura, apresentaram baixa oscilação para os tratamentos, sendo apenas considerado diferente no teste de Tukey o espaçamento 0,90 x 1,50 m, que se mostrou superior aos demais na quantidade de perfilhos. O diâmetro médio dos colmos não apresentou diferença entre os tratamentos para cada época de amostragem na cana planta e na cana soca e ressoca (Tabela 2). O mesmo foi observado para os valores médios de altura da planta (Tabela 1 e 2). Assim como a média em produção e número de colmos por área dos componentes de rendimento foram significativamente iguais de acordo com o teste de Tukey nos espaçamentos duplos e simples, a média do espaçamento duplo 0,90 x 1,50 m para perfilhamento.

**Tabela 1.** Resultados das médias para os tratamentos para variáveis de produção de agrícola na cana planta, colhida em dezembro de 2013 por máquina e pesagem no transbordo por célula de carga.

Análise Variância Tukey a 5%	TCH (t. cana.ha <sup>-1</sup> )	Perfilhos/m (n°)	Diâmetro Colmos (cm)	Altura Colmo (m)	Peso Colmos (Kg)	Perdas Campo (t.cana.ha <sup>-1</sup> )
Sulcos Simples (1,50 m)	102,15	13,70 b	2,15	2,91	1,58	3,75
D. Alt. (0,90 m x 1,50 m)	92,52	29,67a	2,09	2,68	1,38	5,62
Base Larga (1,80 m)	97,35	12,73 b	2,17	2,89	1,50	2,97
Base Larga (2,00 m)	104,70	14,40 b	2,23	2,57	1,52	2,54
GL RESÍDUO	19	19	19	19	19	19
F TRATAMENTOS	2,97	79,76**	0,72	1,96	1,5	1,55
MÉDIA GERAL	99,18	17,63	2,16	2,76	1,5	3,72
DESVIO PADRÃO	7,65	2,22	0,17	0,29	0,17	2,67
DMS 5%	12,42	3,6	0,28	0,47	0,28	4,34
CV %	7,71	12,59	7,98	0,46	11,51	51,95

Na soqueira, por sua vez, como se observa na colheita da cana soca há diferença estatística entre médias dos tratamentos para produtividade - TCH, número de perfilhos por metro e TAH (Tabela 2), em especial para tratamento de duplo alternado (0,90 x 1,50) para desenvolvimento e formação da produção da cultura (perfilhamento e produtividade), o que pode ser atribuído há uma deficiência hídrica acentuada no ciclo (Figura 1). Para ressoca não houve diferença entre tratamentos para perfilhamento, diâmetros ou altura da planta nas diferentes épocas, mas houve diferentes produtividades, em toneladas por hectare, para a sequência de tratamentos: T2 (125,3 A) > T1 (93,6 B) > T4 (90,3 BC) e T3 (82,0 C). Vale ressaltar que o ensaio está instalado em transição de solo, o que pode levar a certa variabilidade dos resultados.

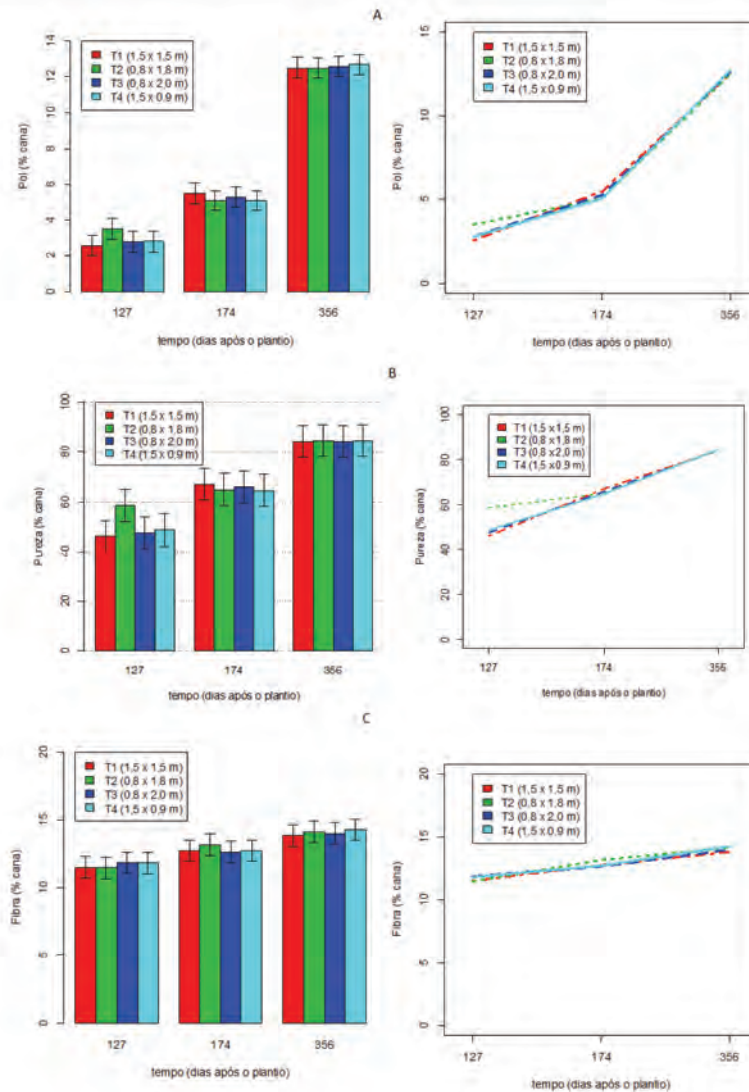
**Tabela 2.** Resultados das médias para os tratamentos para variáveis de produção de agrícola no segundo e terceiro cortes, em soqueira colhida mecanicamente e pesagem no transbordo por célula de carga, em dezembro de 2014 e 2015.

Tratamentos	TCH (t ha <sup>-1</sup> )	Perfilhos/ m	Peso de colmo Kg/ML	Diâmetro de Colmos (cm)	Altura de colmo (m)	ATR (Kg/T C)	TAH (T/ha)	Perdas Campo (t. cana ha <sup>-1</sup> )
--- Cana-soca (2º corte)----								
<b>Sulcos Simples</b>								
(1,50 m)	83,2	10,25B	9,9	2,31	2,81	101,3	8,43B	3,85
<b>Duplo</b>								
<b>Alternado (0,90 m x 1,50 m)</b>	122,1	16,75A	8,5	2,43	2,58	98,6	12,03A	5,55a
<b>Base Larga (1,80 m)</b>	82,8	11,3B	10,5	2,43	2,77	106,6	8,82A	3,17a
<b>Base Larga (2,00 m)</b>	81,5	13,05AB	12,7	2,46	2,44	100,3	9,04AB	2,58
---- Ressoca (3º Corte)---								
SS (1,50m)	93,5 B	17,0	18,1	2,19	2,68	104,7	9,84 B	3,87
DA (0,90 m x 1,50 m)	122,5A	15,3	17,5	2,10	2,65	99,5	12,47A	5,15
BL (1,80 m)	82,0C	15,3	16,2	2,19	2,70	101,1	8,35C	3,47
BL (2,0 m)	90,3BC	17,2	17,8	2,13	2,54	101,5	9,16B C	3,25
<b>Análise Variância / Teste de Tukey a 5%</b>								
F TRATAM	NS./ *	*/NS	NS	NS	NS	NS	*	*
DMS 5%	38,54	3,875	2,763	0,320	0,48	9,417	3,57	4,34
CV %	18,7	11,0	11,5	5,3	4,7	28,1	16,3	32,5

A extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana planta nas folhas apresentou, em média, valores de: I) T1 (1,5 x 1,5 m) → 93,86 e 27,61 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 1431, 2538 e 3926 mg/kg de Ca, Mg e P; II) T2 (0,8 x 1,8 m) → 93,48 e 32,47 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 1592, 2945, e 4827 mg/kg de Ca, Mg e P; III) T3 (0,8 x 2,0 m) → 87,72 e 31,51 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 1654, 2731 e 5175 mg/kg<sup>-1</sup> de Ca, Mg e P e, IV) T4 (1,5 x 0,9m) → 98,28 e 32,79 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 1499, 2748 e 4778 mg/kg<sup>-1</sup> de Ca, Mg e P, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: K > N > P > Mg > Ca. Observa-se que o T3 tende a extrair maiores quantidades de nutrientes comparados aos demais tratamentos. Já a extração de nutrientes e alocação em colmos da cana-planta apresentou, em média, valores de: I) T1 (1,5 x 1,5m) → 148,2 e 61,4 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 7221, 7758 e 6857 mg/kg de Ca, Mg e P; II) T2 (0,8 x 1,8m) 140,64 e 66,53 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 7733, 8535 e 7243 mg/kg<sup>-1</sup> de Ca, Mg e P; III) T3 (0,8 x 2,0m) → 145,8 e 65,41 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 8352, 7911 e 7046 mg kg<sup>-1</sup> de Ca, Mg P, e IV) T4 (1,5 x 0,9m) → 134,4 e 64,0 g.kg<sup>-1</sup> de K e N, 7987, 7905 e 7113 mg kg<sup>-1</sup> de Ca, Mg e P, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: K > N > Mg > Ca > P.

Com esta análise, observa-se que o T2 tende a extrair maiores quantidades de nutrientes comparado aos demais tratamentos. Quanto ao efeito dos tratamentos na qualidade agro tecnológica da matéria-prima, tem-se que uma comparação dos dados de Brix, Pureza, Pol, Fibra e ATR em três fases do experimento, início de safra (127 dias), meio (174 dias) e final (356 dias) para cana planta, soca e rressoca, foram realizados ajustes de médias dos valores, e os resultados significativos (Figura 2), onde se encontra os ajustes de médias dos valores de Pureza (%) com relação ao tempo de acordo com cada tratamento estudado (T1, T2, T3 e T4). Pode-se observar com esta análise que os 4 tipos de tratamentos tenderam a apresentar no início da safra uma diferença significativa apenas para o Tratamento 2, desde o início da safra (127 dias) com aumento significativo em relação aos demais tratamentos, o que foi constatado por colheita por máquina e pesagem da parcela em dezembro, quanto mais elevados os teores de sacarose, melhor para a indústria canavieira. Quanto a Fibra não houve diferenças significativas para tratamentos.

Figura 2. Influência dos tratamentos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar: a) pol (a), pureza (b) e fibra (c) da cana.



## Conclusões

Avaliando-se a biometria no crescimento e desenvolvimento nos três ciclos na cultura, não houve efeito de tratamentos após o estabelecimento de cultura. A maioria dos fatores biométricos, a exceção do perfilhamento, é igual, o melhor tratamento foi T4 base larga 0,80 x 2,0 m. Houve um fechamento mais rápido no T2 (duplo alternado), o que fica mais evidente na superioridade desse tratamento nas soqueiras. No entanto, o déficit de água no solo provavelmente levou a uma competição excessiva dos perfilhos, o que explica as produtividades mais baixas na cana soca, em comparação a ressoca. Na colheita da cana soca e ressoca, a maior produtividade foi observada em T2, seguido por T1. A experiência da unidade sucroalcooleira (Renuka) indica que o espaçamento duplo tem um melhor desempenho quando há disponibilidade de água no solo, minimizando a competição entre os perfilhos na formação do canavial. Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos na produtividade na cana planta. Entretanto, T1 e T4 apresentaram tendência a maiores produtividades na cana de ano. Essa tendência se inverteu na colheita da cana soca e ressoca, quando, pela maior disponibilidade hídrica, T2 foi superior, seguido por T1. A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar foi influenciada pelos tratamentos no início de safra, mas não houve diferença nas colheitas (cana planta, cana soca e ressoca). A melhor extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana planta ocorreu no T4 (base larga de 0,8 m x 2,0 m) enquanto que nos colmos ocorreu no T3 (base larga de 0,8 m x 1,8 m).

## Referências bibliográficas

- CARVALHO, J. L. N.; BRAUNBECK, O. A.; CHAGAS, M. F. Implantação do plantio direto de cana-de-açúcar: base para a sustentabilidade do canavial. **Laboratório Nacional de Ciência Tecnologia do Bioetanol (CTBE/CNPEN)**, 2012.
- CASIERO, D. A. P. Efeito do tráfego agrícola na produtividade da cultura de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) nos espaçamentos 1,4 e 1,5m. Dissertação para título de mestre em Agronomia. Botucatu, 2014.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA-SP). **Manual de Instruções**. 5ª ed. Piracicaba-SP, 2006.
- OLIVEIRA, C. de. Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos. Dissertação para título de mestre em ciências.. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-03122012-111153/pt-br.php>. Acessado em: 10/04/2014
- SILVA, F.C. da; DÍAZ-AMBRONA, C.G. HERNÁNDEZ; ITURRA, A.R. Desarrollo Sostenible de la Producción de Bioetanol y Azúcar. A partir de la Caña de Azúcar. 1. ed. Saarbrücken: **Editorial Academica Española**, 2013. v. 1. 436p.

## ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM DIFERENTES DOSES DE N E INOCULADAS COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

Glauber José De Castro Gava<sup>1</sup>; William José Dellabiglia<sup>2</sup>; Fábio Vale Scarpare<sup>3</sup>,  
Melissa Valiente De Luca<sup>3</sup>; Roberto Lyra Villas Boas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>APTA – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – Jaú – SP

<sup>2</sup>UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/Botucatu – SP

<sup>3</sup>UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas – Campinas - SP

*gjcgava.pqc@gmail.com*

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar a contribuição das bactérias diazotróficas (BDs) na eficiência de uso do nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (cana-planta), em dois ambientes de produção (irrigado e não irrigado); quantificar o possível efeito de sinergismo entre a adubação nitrogenada e a aplicação de água via irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da APTA, no município de Jaú, SP. A variedade de cana-de-açúcar foi a RB92579. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI), 2 manejos de inoculação: com inoculação (CD) e sem inoculação (SD) com BDs; e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições. O experimento teve duração de 365 dias e ao longo do ciclo da cultura foram realizadas avaliações sequenciais para determinação do acúmulo de matéria seca e de nitrogênio nas plantas de cana-de-açúcar, aos 123, 207, 305 e 365 (DAP). Verificou-se que houve efeito positivo da irrigação e da adubação nitrogenada, mas não da inoculação das bactérias diazotróficas.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.*; gotejamento subsuperficial; adubação nitrogenada, fixação biológica do nitrogênio; cana-planta.

### Summary

The objective of this study was to verify the contribution of diazotrophic bacteria (BDs) on use efficiency of nitrogen in the culture of sugarcane (cane plant) in two production environments (with and without irrigation); quantify the possible synergistic effect between nitrogen fertilization and water application via subsurface drip irrigation in the culture of sugarcane. The experiment was conducted at Research Unit Hélio de Moraes, of APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) in the municipality of Jaú, SP, (22° 17' S 48° 34' O, Rhodic). The variety of sugarcane was RB92579. The experimental design was randomized blocks, composed by factorial of two irrigation management systems: irrigated (I) and non-irrigated (NI); and two inoculation management: with inoculation (CD) and without inoculation (SD) with BDs; and 4 availability levels of nitrogen (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compound thus 16 treatments with 4 replications. The experiment lasted 365 days and throughout the crop cycle assessments were performed for determination of the accumulation of dry matter and nitrogen in the sugarcane plant, at 123, 207, 305 and 365 DAP. It was verified that there was a positive effect of the irrigation and nitrogen fertilization, but not from inoculation with diazotrophic bacteria.

**Keywords:** *Saccharum spp.*; subsurface drip; nitrogen fertilization; nitrogen biological fixation; cane plant.

### Introdução

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil concentra-se nas regiões Sudeste e Nordeste, porém nos últimos anos vêm ocorrendo expansão da cultura para outras regiões, principalmente a Centro-Oeste, sendo utilizadas, em grande parte, áreas que apresentam solos de baixa fertilidade e com pouca capacidade de armazenamento de água, como os solos arenosos e de textura média (VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2008).

Entre os principais fatores limitantes do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar podemos citar a deficiência hídrica, pois ela pode ocorrer em períodos de alta demanda de água pela planta (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A tolerância ao estresse hídrico manifesta-se de diversas maneiras, como: limitações no crescimento, adaptações morfofisiológicas; alterações metabólicas, alterações no número de folhas verdes, seja pela redução no surgimento de novas folhas ou pelo aumento da abscisão foliar; na redução da área foliar; na densidade e condutância estomáticas; e alterações no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes (PINCELLI, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2004).

O uso de fertilizantes em irrigação por gotejamento subsuperficial é uma técnica que proporciona maior movimentação do nutriente no solo, fato importante para culturas perenes e semi perenes, pois evita possíveis danos ao sistema radicular, uma vez que tratores e implementos agrícolas são dispensados na operação (RHEIN, 2013). A fertirrigação permite a aplicação fracionada de fertilizantes, acompanhando a marcha de absorção de nutrientes, ao longo do ciclo da cultura, reduzindo as perdas, principalmente do nitrogênio que apresenta alto potencial de perda por lixiviação do nitrato, sem aumentar o custo de produção (DALRI; CRUZ, 2008; RHEIN, 2013).

A fixação biológica de nitrogênio é um processo realizado por microrganismos ditos diazotróficos, que apresentam elevada diversidade, habitam o solo, e possuem um complexo enzimático chamado de nitrogenase que é capaz de reduzir o N<sub>2</sub> atmosférico à amônia (NH<sub>3</sub>) (HUNGRIA, 1997; FRANCHE *et al.*, 2009).

O uso de microrganismos é uma alternativa bastante promissora no manejo de diversos sistemas agrícolas. Estudos estão sendo realizados para avaliar a interação e possíveis efeitos promotores de crescimento vegetal, entre esses microrganismos e plantas de diferentes espécies como morango (DIAS *et al.*, 2009), cana-de-açúcar (FERRARA *et al.*, 2011), milho (HUNGRIA *et al.*, 2010), soja (ZHANG *et al.*, 2011).

Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi avaliar os possíveis efeitos da inoculação com BDs, da adubação nitrogenada e da irrigação por gotejamento subsuperficial no acúmulo de matéria seca e de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar (cana-planta).

### Materiais e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), no município de Jaú - SP, coordenadas geográficas: latitude 22º 17' S, longitude 48º 34' O e altitude média de 580 m, em relação ao oceano. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006) de textura média. O clima predominante na região, de acordo com a classificação de Köppen é o Aw, com clima seco definido e média pluviométrica de 1.300 mm, com distribuição irregular.

O delineamento experimental foi composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI); 2 manejos de inoculação: com (CD) e sem (SD) inoculação com bactérias diazotróficas, e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições, totalizando 64 parcelas.

As parcelas consistiam em quatro sulcos de 8 metros de comprimento, com plantio em linha dupla (ou em "W"), espaçamento de 1,80 m entre as linhas duplas e 0,4 m entre linhas de cana, e sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, para os tratamentos irrigados. A precipitação total ocorrida durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (outubro/2013 à outubro/2014) foi de 980,2 mm, e a lâmina de água aplicada ao longo do ciclo, por meio da irrigação foi de

563,4 mm, repondo 100% da evapotranspiração da cultura (ETC), segundo o método de Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004). A deficiência hídrica calculada para o período foi de 352,5 mm.

Baseado nos resultados das análises químicas e físicas do solo da área, realizou-se a adubação de fósforo e de enxofre, no fundo do sulco, aplicando-se uma dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de Super Simples correspondendo a 88 kg de P e 24 kg de S. Uma única dose de potássio foi atribuída à todos os tratamentos, 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (KCl). Nos tratamentos irrigados, os fertilizantes (ureia + KCl) foram distribuídos ao longo do desenvolvimento da cultura por meio de fertirrigação. Nos tratamentos irrigados, os fertilizantes (ureia + KCl) foram distribuídos ao longo do desenvolvimento da cultura por meio de fertirrigação. Para os tratamentos não irrigados, os fertilizantes nitrogenados, (ureia e nitrato de amônio) e o cloreto de potássio foram aplicados fracionalmente, sendo uma aplicação de 50% (ureia + KCl) da dose no plantio junto com o fósforo no sulco de plantio e mais uma aplicação de 50% (nitrato amônio + KCl) da dose, aos 30 dias após o plantio (DAP), abrindo-se pequenos sulcos laterais à linha de plantio com enxada, que foram rapidamente fechados evitando-se assim possíveis perdas de N por volatilização.

As bactérias utilizadas no experimento foram selecionadas pela Embrapa Agrobiologia, isoladas da própria cana, foram: *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Burkholderia tropica* (BR 11366) e *Azospirillum amazonense* (BR 11145). Seguindo a metodologia de REIS et al. (2009), as estirpes foram misturadas em 1000 L de água e, os toletes de cana-de-açúcar a serem plantados, ficaram em suspensão por 2 horas nessa solução. No dia do plantio a temperatura média era de 20 °C e a umidade relativa média era de 70%.

Foram realizadas avaliações sequenciais ao longo do ciclo da cultura aos 123, 207 e 305 DAP e na colheita final aos 365 DAP, avaliando e comparando os tratamentos em relação ao acúmulo de matéria seca e de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar, ou seja folha seca, colmo e ponteiro (folhas verdes, cartucho e palmito). As amostras foram processadas em moinho de facas tipo Willey (Tecnal, Piracicaba), e determinou-se o teor de N (g kg<sup>-1</sup>), segundo método descrito por MALAVOLTA et al. (1997). A partir desses resultados, foi estimada a produção de massa de material fresco e seco (Mg ha<sup>-1</sup>) e o acúmulo de nitrogênio total (kg ha<sup>-1</sup>) da cana-de-açúcar nos diferentes tratamentos.

### Resultados e discussão

A média de acúmulo de matéria seca da parte aérea (Tabela 1) no manejo irrigado (I) foi de 7,86; 28,81; 39,67 e 68,78 Mg ha<sup>-1</sup>, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente; enquanto que a média no manejo não irrigado (NI) foi de 5,81; 16,05; 22,51 e 44,65 Mg ha<sup>-1</sup>; aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. A maior média no manejo irrigado foi 75,54 Mg ha<sup>-1</sup> na dose de 210 kg N ha<sup>-1</sup>; para o manejo não irrigado a maior média foi 49,34 Mg ha<sup>-1</sup> na dose de 70 kg N ha<sup>-1</sup>. Os ganhos de matéria seca do manejo irrigado comparado ao não irrigado, foram de 2,05; 12,76; 17,16 e 24,13 Mg ha<sup>-1</sup>, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

**Tabela 1.** Análise do variável acúmulo de matéria seca da parte aérea, ao longo do ciclo.

Dose kg N ha <sup>-1</sup>	Manejo	Bactéria	Acúmulo de matéria seca Mg ha <sup>-1</sup>			
			123	207	305	365
			DAP			
0	I	CD	7,80 aA	23,81 aA	37,35 aA	54,05 aA
		SD	7,05 bA	23,80 aA	33,47 aA	62,06 aA
70	I	CD	8,23 aA	30,41 aA	38,13 aA	68,27 aA
		SD	7,27 bA	29,66 aA	38,01 aA	69,01 aA
140	I	CD	8,29 aA	30,77 aA	38,61 aA	73,26 aA
		SD	7,73 bA	29,77 aA	44,67 aA	73,35 aA
210	I	CD	8,44 aA	31,15 aA	42,03 aA	74,71 aA
		SD	8,05 bA	31,11 aA	45,05 aA	75,54 aA
Média			7,86	28,81	39,67	68,78
CV			12,42	12,89	10,42	8,45
F- Doses			1,04*	6,58*	6,19*	13,89*
F regre 1º grau			3,10*	14,30*	18,33*	37,02*
R <sup>2</sup>			99,45	72,44	98,80	88,81
F regre 2º grau			0,02 <sup>ns</sup>	4,18*	0,07 <sup>ns</sup>	4,56*
R <sup>2</sup>			99,99	93,59	99,16	99,73
0	NI	CD	5,08 aB	14,17 aB	19,99 aB	41,65 aB
		SD	5,30 bB	14,55 aB	19,73 aB	41,05 aB
70	NI	CD	5,24 aB	15,50 aB	23,76 aB	49,34 aB
		SD	5,74 bB	15,37 aB	22,55 aB	45,06 aB
140	NI	CD	6,52 aB	17,33 aB	26,38 aB	46,65 aB
		SD	5,95 bB	18,41 aB	24,25 aB	44,46 aB
210	NI	CD	6,59 aB	15,77 aB	20,88 aB	48,04 aB
		SD	6,08 bB	17,25 aB	22,51 aB	40,94 aB
Média			5,81	16,05	22,51	44,65
CV			13,36	15,83	9,88	14,12
F- Doses			4,18*	2,8*	8,61*	1,22*
F regre 1º grau			11,61*	4,89*	4,76*	0,61*
R <sup>2</sup>			92,63	58,29	18,43	16,60
F regre 2º grau			0,13 <sup>ns</sup>	1,85*	19,34*	2,41*
R <sup>2</sup>			93,69	80,27	93,27	82,10
CV			12,27	14,43	11,46	11,10
F - Manejo			95,31*	275,12*	371,39*	233,02*
F- Bactérias			3,21*	0,73*	0,19 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
F- Manejo x Bactéria			1,86*	3,32*	0,98*	3,55*

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

\* significativo à 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> não significativo à 5% de probabilidade.

Até a primeira época de avaliação, aos 123 DAP, ocorreu acúmulo de aproximadamente 11,4% e 13% da matéria seca da parte aérea total nos manejos irrigado e não irrigado, respectivamente. O baixo acúmulo de matéria seca da parte aérea nessa fase é decorrência do intenso perfilhamento que ocorre na mesma época (FARONI, 2008; OLIVEIRA, 2011; KÖLLN, 2012).

As doses de nitrogênio interferiram no acúmulo de matéria seca, em ambos os manejos de irrigação, no manejo irrigado as médias foram aumentando conforme o aumento na dose de nitrogênio aplicado, enquanto que no manejo não irrigado, não houve aumento significativo entre as doses de 140 e 210 kg N ha<sup>-1</sup>. OLIVER (2014) trabalhando com cana-de-açúcar submetida à diferentes doses de nitrogênio e manejos com e sem inoculação com bactérias diazotróficas, obteve aumento de 13,95 Mg ha<sup>-1</sup> no acúmulo de matéria seca de parte aérea na dose de 120 kg N ha<sup>-1</sup> sem inoculação, comparando ao tratamento testemunha sem inoculação.

As médias de acúmulo de nitrogênio na planta (Tabela 2) no manejo irrigado (I) foram 85,74; 157,61; 165,82 e 213,60 kg N ha<sup>-1</sup>, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente; enquanto que no manejo não irrigado (NI) as médias foram 52,47; 85,02; 90,49 e 125,73 kg N ha<sup>-1</sup>, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. As maiores médias foram 259,60 e 158,25 kg N ha<sup>-1</sup> na dose de 210 kg N aplicado ha<sup>-1</sup>, nos manejos irrigado e não irrigado, respectivamente; e os menores acúmulos foram 132,08 e 100,42 kg N ha<sup>-1</sup> na dose de 0 kg N aplicado ha<sup>-1</sup>; nos manejos irrigado e não irrigado, respectivamente. O manejo irrigado (I) promoveu aumento de acúmulo de nitrogênio na planta, comparado ao manejo não irrigado (NI), esse aumento foi de 33,27; 72,59; 75,33 e 87,87 Mg ha<sup>-1</sup>, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

**Tabela 2.** Análise do variável acúmulo de nitrogênio na planta, ao longo do ciclo.

Dose kg N ha <sup>-1</sup>	Manejo	Bactéria	Acúmulo de nitrogênio kg ha <sup>-1</sup>							
			123	207	305	365				
			DAP							
0	I	CD	71,69	aA	114,83	aA	129,88	aA	132,08	aA
		SD	69,26	aA	110,20	aA	111,21	aA	167,09	aA
70	I	CD	80,87	aA	147,92	aA	157,52	aA	216,63	aA
		SD	80,56	aA	162,22	aA	167,88	aA	201,70	aA
140	I	CD	93,63	aA	163,18	aA	166,02	aA	235,35	aA
		SD	95,14	aA	184,30	aA	197,56	aA	255,25	aA
210	I	CD	94,64	aA	181,09	aA	189,47	aA	241,03	aA
		SD	100,11	aA	197,17	aA	207,01	aA	259,60	aA
Média			85,74		157,61		165,82		213,60	
CV			16,15		11,29		16,91		19,80	
F- Doses			6,51*		27,73*		11,41*		9,65*	
F regre 1º grau			18,57*		77,99*		32,34*		25,60*	
R <sup>2</sup>			95,07		93,75		94,47		88,45	
F regre 2º grau			0,55*		4,66*		1,68*		3,33*	
R <sup>2</sup>			97,88		99,36		99,38		99,95	
0	NI	CD	44,40	aB	72,22	aB	73,51	aB	100,42	aB
		SD	38,46	bB	66,06	aB	72,45	aB	106,17	aB
70	NI	CD	51,89	aB	87,38	aB	92,17	aB	121,19	aB
		SD	47,28	bB	79,99	aB	91,23	aB	121,55	aB
140	NI	CD	64,44	aB	100,80	aB	103,96	aB	128,14	aB
		SD	53,01	bB	97,01	aB	107,87	aB	135,47	aB
210	NI	CD	66,81	aB	88,11	aB	90,21	aB	158,25	aB
		SD	53,45	bB	88,57	aB	92,53	aB	134,63	aB
Média			52,47		85,02		90,49		125,73	
CV			20,30		13,94		17,85		23,54	
F- Doses			5,36*		8,69*		5,60*		3,01*	
F regre 1º grau			15,00*		15,11*		7,39*		8,94*	
R <sup>2</sup>			93,33		57,95		44,04		98,99	
F regre 2º grau			0,80*		8,97*		8,48*		0,03 <sup>ns</sup>	
R <sup>2</sup>			98,33		92,36		94,62		99,29	
CV			16,97		14,93		19,59		22,59	
F - Manejo			128,81*		232,54*		144,08*		84,13*	
F- Bactérias			1,76*		0,02 <sup>ns</sup>		0,80*		0,40 <sup>ns</sup>	
F- Manejo x Bactéria			2,85*		0,47 <sup>ns</sup>		0,53*		0,81*	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%. \* significativo à 5% de probabilidade. ns não significativo à 5% de probabilidade.

OLIVER (2014), estudando o acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar, encontrou resposta linear positiva à adubação nitrogenada sem inoculação com bactérias diazotróficas e resposta quadrática positiva para adubação nitrogenada com inoculação com bactérias diazotróficas. JORIS (2015), não verificou efeito significativo da inoculação com bactérias diazotróficas na variedade IACSP95-5000 com dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

O manejo de inoculação com bactérias diazotróficas (CD) interferiu nos valores de acúmulo de matéria seca e de nitrogênio na planta, somente na primeira época de avaliação, aos 123 DAP; essas alterações encontradas podem ser efeito da produção de precursores de hormônios vegetais, que promoveram maior acúmulo de matéria seca e de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura (DOBBELAERE *et al.*, 2003; SCHULTZ *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2013; JORIS, 2015), época de elevada umidade, maior quantidade de chuvas e altas temperaturas, e também foi a época de inoculação dos tratamentos.



### Conclusões

Os tratamentos fertirrigados com N obtiveram maiores acúmulos de matéria seca e de nitrogênio.

Ocorreu sinergismo entre adubação nitrogenada e a aplicação de água por irrigação.

A inoculação da cana-de-açúcar com bactérias diazotróficas não promoveu elevação de matéria seca e de acúmulo de N nas plantas.

### Referências Bibliográficas

- DIAS, A. C. F.; COSTA, F. E. C.; ANDREOTE, F. D.; LACAVA, P. T.; TEIXEIRA, M. A.; ASSUMPÇÃO, L. C.; ARAÚJO, W. L.; AZEVEDO, J. L.; MELO, I. S.; Isolation of micropropagated strawberry endophytic bacteria and assessment of their potential for plant growth promotion. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. 25:189-195, 2009.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.
- DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 22, n.2, p. 107- 149, 2003.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306 p.
- FARONI, C. A. Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar. 2008. 190 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- FERRARA, F. I. S.; OLIVEIRA, Z. M.; GONZALES, H. H. S.; FLOH, E. I. S.; BARBOSA, H. R. Endophytic and rhizospheric enterobacteria isolated from sugar cane have different potentials for producing plant growth-promoting substances. **Plant Soil**. 2011. 347:1-400, 2011.
- FRANCHE, C.; LINDSTRÖM, K.; ELMERICH, C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant Soil**. V. 321, p.35-59, 2009.
- GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (Saccharum sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2010. v. 1, p. 49-66.
- HOWELL, T. A.; EVETT S. R. The Penman-Monteith method. Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, **Conservation & Production Research Laboratory**, 2004. 14 p.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. L. M.; PEDROSA, F. O.; Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**. 331:413-425, 2010.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; CAMPO, R. J.; GALERANI, P. R. Adubação nitrogenada na soja? Londrina: **Embrapa Soja** (Comunicado Técnico, 57), 1997. 4 p.
- JORIS, H. A. W. Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agrônômicos e ambientais. 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical - Gestão de recursos Agroambientais) – **Instituto Agronômico**, Campinas, 2015.
- KÖLLN, O. T. Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de <sup>13</sup>C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. 1997. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós. 319p.
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES-NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.
- OLIVER, R. Interação entre bactérias diazotróficas e doses de n-fertilizante na cultura da cana-de-açúcar. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.
- PEREIRA, W.; LEITE, J. M.; HIPÓLITO, G. S.; SANTOS, C. L. R.; REIS, V. M. Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 363-370, 2013.
- PINCELLI, R. P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; URQUIAGA, S. Recomendação de uma mistura de estirpes de cinco bactérias fixadoras de nitrogênio para inoculação de cana-de-açúcar: *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Azospirillum amazonense* (BR 11145) e *Burkholderia tropica* (BR 11366). **Circular Embrapa Agrobiologia**. Seropédica, RJ: 2009.
- RHEIN, A. F. de L.. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento. 2013. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.
- SCHULTZ, N.; MORAIS, R. F.; SILVA, J. A.; BAPTISTA, R. B.; OLIVEIRA, R. P.; LEITE, J. M.; PEREIRA, W.; CARNEIRO JÚNIOR, J. B.; ALVES, B. J. R.; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M. Avaliação agrônômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.261-268, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- THORBURN, P. J.; DART, I. K.; BIGGS, I. M.; BAILLIE, C. P.; SMITH, M. A.; KEATING, B. A. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 22, n. 3-4, p. 201-209, 2003.
- URIBE, R. A. M. Produtividade e estimativa do acúmulo de biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento com diferentes doses de N-fertilizante. 2010. 67 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- VIEIRA JÚNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M.; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. J. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, 2008.
- ZHANG, Y. Z.; WANG, E. T.; LI, M.; LI, Q. Q.; ZHANG, Y. M.; ZHAO, S. J.; JIA, X. L.; ZHANG, L. H.; CHEN, W. F.; CHEN, W. X.; Effects of rhizobial inoculation, cropping systems and growth stages on endophytic bacterial community of soybean roots. **Plant Soil**. v. 347, p.147-161, 2011.

## EFEITOS DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA “IN NATURA” OU CONCENTRADA ASSOCIADO AO N-FERTILIZANTE EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Gael Silvia Peñaranda Liendo da Silva<sup>1</sup>; Fábio Cesar da Silva<sup>2,3</sup>; Bruno José Rodrigues Alves<sup>4</sup>; Edson Tomaz<sup>5</sup>; Luis Fernando S. Marchiori<sup>3</sup>; Ronaldo Severiano Berton<sup>7</sup>; Felipe Gomes Da Silveira<sup>6</sup>;

<sup>(1)</sup> Estudante; Pós-graduanda em Engenharia Química (doutorado), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas-SP

<sup>(2)</sup> Pesquisador; Embrapa Informática Agropecuária, Campus da Unicamp, Campinas -SP

<sup>(3)</sup> Professor; Tecnologia em Biocombustíveis, Fatec - Faculdade de Tecnologia “Deputado Roque Trevisan”, Piracicaba-SP;

<sup>(2)</sup> Pesquisador; Embrapa Agrobiologia, Seropédica - RJ;

<sup>(5)</sup> Professor da Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP; Campinas - SP;

<sup>(6)</sup> Estudante; Tecnologia em Biocombustíveis; Faculdade de Tecnologia; Faculdade de Tecnologia “Deputado Roque Trevisan”, Piracicaba - SP

<sup>(7)</sup> Pesquisador, IAC/Centro de Solos, em Campinas - SP.

*gaelsilvia@gmail.com*

### Resumo

O objetivo do trabalho foi a avaliação da fertilização com vinhaça “in natura” ou concentrada e do fertilizante nitrogenado na produtividade, qualidade da cana-de-açúcar e dinâmica de N, refletindo na melhoria da fertilidade do solo pela adição de nutrientes, verificar se há influência dos tratamentos aplicados no crescimento da planta e também avaliar se a suficiência nutricional da cultura foi alcançada, observado pelos teores de macro nutrientes na folha +1 (folha mais alta com colarinho visível – TVD) aos quatro meses após aplicação.

O experimento foi realizado em campo com cana soca no 2º corte, utilizando como delineamento experimental blocos ao acaso, sendo no total 30 parcelas, onde se tem 5 tratamentos com 6 repetições, as aplicações dos tratamentos foram realizadas conforme as proporções a seguir: T1- Vinhaça “in natura” (120 m<sup>3</sup>/ha), T2- Vinhaça (120 m<sup>3</sup>/ha) + 60 Kg de N na forma de uréia, T3- Vinhaça concentrada (20 m<sup>3</sup>/ha), T4- 60 Kg de N na forma de uréia/ha e T5- Testemunha. Constatou-se que não houve diferença significativa para a qualidade tecnológica da cana de açúcar, entretanto para a qualidade do caldo e na produtividade houve, visto que os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram concentração de K (potássio) superior aos tratamentos T4 e T5. Entre os tratamentos de fertilidade foliar constataram-se valores que atendem a suficiência da cultura. Para a fertilidade do solo temos diferenças significativas de K, entre profundidades, localização e tratamentos.

**Palavras-chave:** concentração de vinhaça, efluente agroindustrial, balanço de nitrogênio.

### Summary

The objective was to evaluate the fertilization with vinasse “in natura” or concentrated and nitrogen fertilizer on yield, quality of sugarcane and dynamics of N, reflecting the improvement of soil fertility by adding nutrients, check no influence of treatments applied in plant growth and also assess the nutrition adequacy of culture has been achieved, observed by macronutrient content in leaf +1 (highest sheet with visible collar - TVD) at four months after application.

The experiment was carried out in the field with ratoon in the 2nd cut, using an experimental randomized block design, with a total of 30 plots, where we have 5 treatments with 6 repetitions, the treatments were carried out according to the following proportions: T1 vinasse “in natura” (120 m<sup>3</sup> / ha), T2 vinasse “In natura” (120 m<sup>3</sup> / ha) + 60 kg of urea-N, T3 concentrated vinasse (20 m<sup>3</sup> / ha), T4- 60 kg of urea-N / ha T5- Witness. It was found that there was no significant difference for the technological quality of sugarcane, however the quality of the broth and productivity there, since the treatments T1, T2 and T3 showed concentrations of K (potassium) higher than the treatments T4 and T5. Among the foliar fertility treatments was found values that meet the sufficiency of culture. For the soil fertility K we have significant differences among depths, localization and treatment.

**Keywords:** concentration of vinasse, agroindustrial effluent, nitrogen balance.

### Introdução

O maior produtor mundial de cana-de-açúcar é o Brasil. A contribuição da cana-de-açúcar na matriz energética do país é de aproximadamente 16,4% em 2011, mas com estimativas de crescimento para 2021, passará a representar 21,2%, de acordo com SILVEIRA (2012). Atualmente as grandes demandas por novas fontes de energia limpa e sustentável contribuíram para o investimento em etanol de cana no país (SILVA *et al.*, 2013 e 2015). Devido sua alta quantidade, que varia entre a proporção de 10 a 18 litros de vinhaça por litro produzido de etanol, e potencial fertilizante e também poluente, a aplicação da vinhaça em solos vem sendo estudada pela Esalq (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) desde à década de 50 (ELIA NETO; NAKAHONDO, 2008).

As pesquisas atuais demonstram a viabilidade de se utilizar a vinhaça como adubo, especialmente pelo conteúdo de potássio, além de outros macros e micronutrientes necessários para o bom desenvolvimento da planta (MORO, 2011; SILVA, 2014).

O principal N-fertilizante sólido disponível no mundo é a uréia. No Brasil representa 50% dos adubos nitrogenados, em parte por conta de seu baixo custo por unidade de N e maior facilidade de produção. O presente trabalho teve como objetivo verificar a influência da fertilização nitrogenada e da utilização de vinhaça (“in natura” e concentrada) na cultura da cana-de-açúcar, sendo a vinhaça in natura ou concentrada em aplicação em soqueira, na produtividade de colmos e na qualidade da matéria prima. Além disso, também foi objetivo verificar mudanças de qualidade do caldo, em especial pela elevação dos teores de N.

### Material e Métodos

O ensaio foi conduzido na Fazenda Areão, pertencente à Esalq (USP), no município de Piracicaba (SP), no período de Dezembro de 2012 à Outubro/Novembro de 2013. A região tem clima subtropical, com inverno relativamente seco, verão chuvoso e temperatura média anual de 25° C. O experimento foi conduzido em cana soca, no 2º corte do canavial, sendo que a variedade utilizada foi a SP82-3250. A área foi dividida em 6 blocos (repetições), cada um com cinco parcelas (tratamentos aplicados). A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 5 de dezembro de 2012, distribuindo-se a vinhaça de forma homogênea, conforme os volumes recomendados nos tratamentos, utilizando-se uma mangueira com vazão conhecida e utensílios de apoio para controlar a aplicação.

A vinhaça concentrada foi originária da unidade Usina Costa Pinto, Piracicaba, do Grupo Cosan/Raizen, que utiliza evaporadores de fluxo descendente do tipo névoa turbulento, tecnologia conhecida como T.A.S.T.E. (*Thermally Accelerated Short Time Evaporation*). A vinhaça foi produzida com 22% de teor de sólidos, com volume reduzido em aproximadamente cinco vezes. Amostras de vinhaça foram retiradas antes da aplicação para caracterização de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico e potássio entre outros. Essas análises foram realizadas segundo os protocolos e normas da CETESB, pelo Instituto Brasileiro de Análise IBRA (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização da vinhaça “in natura”(1) e a concentrada utilizadas no experimento em soqueira de cana-de-açúcar.

Descrição	Vinhaça “in natura”		Média <sup>(1)</sup>	Vinhaça concentrada		Média <sup>(2)</sup>
pH	3,93	4,02	3,98	3,99	3,97	3,98
Resíduo não filtrável (Sólidos suspensos) (mg/L)	34200	14800	24500	29100	41200	35150
Dureza Total CaCO <sub>3</sub>	2714	4606	3660	8730	8356	8543

Fonte: Análises realizadas no Laboratório IBRA. Onde: Média (1): É a média aritmética dos parâmetros da vinhaça “in natura” (1) e a vinhaça concentrada (2).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, tendo 6 repetições e 5 tratamentos. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de 10 metros, espaçadas de 1,40 m, sendo área útil de 33,6 m<sup>2</sup>. Os 5 tratamentos utilizados foram: T1- Vinhaça in natura (120 m<sup>3</sup>/ha), T2- 120 m<sup>3</sup>/ha de Vinhaça (120 m<sup>3</sup>/ha) + Uréia (60 Kg de N/ha), T3- Vinhaça concentrada (20 m<sup>3</sup>/ha), T4- Uréia (60 kg de nitrogênio (N) solúvel em água por ha) e T5- Testemunha. Seguiu-se a metodologia CONSECANA (2006) para coletas, preparo de amostras e análises tecnológicas. Para as análises nutricionais da planta e de fertilidade do solo, utilizou-se metodologia descrita em SILVA (2009). Análises estatísticas dos dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) conforme o delineamento descrito no item material e métodos. As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey (P<0,05).

### Resultados e Discussão

Na (Tabela 1) são apresentados os resultados de produtividade de colmos (TCH), assim como as análises tecnológicas. Tais resultados foram submetidos à análise estatística, o que permitiu classificar o comportamento da planta em cada tratamento aplicado. Observou-se maiores produtividades para T2, T3 e T4, em que a cana-de-açúcar foi tratada com vinhaça e/ou fertilizante nitrogenado. A produtividade para T5 (testemunha) foi a menor, pois nenhum nutriente foi aplicado além daqueles contidos nos materiais usados nos tratamentos. Entretanto para T1 (vinhaça “in natura”) verificou-se uma produtividade menor do que as encontradas para T2, T3 e T4. Isso se dá pelo fato de haver menor quantidade de nitrogênio total nos tratamentos foram aplicados em gN por m<sup>2</sup>: (T1 = 5,12); T2 (7,76); T3 (2,32), T4 (8,80) e T5 (zero), em relação aos demais.

**Tabela 1.** Resultados de produtividade e análises tecnológicas da matéria prima obtidos nos diferentes tratamentos na colheita do ensaio.

Trat.	TCH	Pol	Brix	Fibra	ATR	Tpol/ha	TAH
T1	105,84 b	18,59	21,30	13,38	152,90	16,25 b	16,17 b
T2	135,94 a	18,67	21,20	13,62	152,64	20,88 a	20,74 a
T3	132,21 a	18,23	20,87	13,18	150,47	19,99 a	19,90 a
T4	130,19 a	18,64	21,27	14,10	151,73	19,85 a	19,80 a
T5	71,30 c	19,78	22,08	13,15	162,41	11,69 c	11,57 c
DSM	9,29	2,44	2,50	1,52	18,44	2,83	2,72
Prob.>F	0,00	0,36	0,55	0,35	0,33	0,00	0,00

T1- Vinhaça in natura (120 m<sup>3</sup>/ha), T2- 120 m<sup>3</sup>/ha de Vinhaça (120 m<sup>3</sup>/ha) + Uréia (60 kg de nitrogênio solúvel em água por ha), T3- Vinhaça concentrada (20 m<sup>3</sup>/ha), T4- Uréia (60 kg de nitrogênio solúvel em água por ha) e T5- Testemunha. TCH – Tonelada de colmos por hectare; Pol – Porcentagem em massa de sacarose aparente contida no caldo; Brix – Porcentagem em massa de sólidos solúveis contida no caldo; Fibra – Porcentagem de matéria seca insolúvel no caldo; ATR – Açúcares totais redutores (glicose e frutose, principalmente); Tpol/ha – toneladas de Pol por hectare; TAH – Tonelada de açúcar por hectare (ATR xTCH). Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, no teste F.

Considerando as análises tecnológicas da cana, não houve diferenças significativas entre os valores obtidos, exceto para a produtividade de sacarose aparente (Tpol/ha) e de açúcar (TAH).

Os resultados de fertilidade do solo estão expressos na (Tabela 2). A coleta das amostras de solo foi realizada no quarto mês após o corte, e os resultados foram separados em tratamentos, posição, profundidade e nutrientes. Para os resultados de fertilidade do solo na profundidade de 0-20 cm, nota-se diferença estatística para a concentração de Mg na posição EL (entre-linha). A concentração determinada no tratamento T4 (Uréia) foi significativamente menor do que nos outros tratamentos nessa posição, mas na amostragem realizada na linha de plantio não houve diferença estatística. Isso ocorreu devido a vinhaça carregar o magnésio em sua composição, e mesmo apresentando uma concentração cinco vezes menor na vinhaça “in natura”, a dose cinco vezes maior proporcionou similaridade entre os diferentes tratamentos com vinhaça. O potássio possui elevada concentração na vinhaça, promovendo diferenças entre tratamentos na posição linha (L).

**Tabela 2.** Caracterização da vinhaça “in natura”(1) e a concentrada utilizadas no experimento em soqueira de cana-de-açúcar.

Descrição	Vinhaça “in natura”		Média <sup>(1)</sup>	Vinhaça concentrada		Média <sup>(2)</sup>
pH	3,93	4,02	<b>3,98</b>	3,99	3,97	<b>3,98</b>
Resíduo não filtrável (Sólidos suspensos) (mg/L)	34200	14800	<b>24500</b>	29100	41200	<b>35150</b>
Dureza Total CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	2714	4606	<b>3660</b>	8730	8356	<b>8543</b>
Carbono Orgânico (titulação)( %)	2,07	5,26	<b>3,67</b>	7,99	6,59	<b>7,29</b>
Conductividade [mS/cm]	9,34	11,11	<b>10,23</b>	17,81	20,95	<b>19,38</b>
Nitrato NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	134,0	125,0	<b>129,5</b>	415,0	330,0	<b>372,5</b>
Nitrito NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	3,40	11,00	<b>7,20</b>	18,00	16,50	<b>17,25</b>
Nitrogênio Amoniacoal (mg/L) NH <sub>4</sub>	38,00	45,00	<b>41,50</b>	4,00	7,00	<b>5,50</b>
Nitrogênio Total (mg/L)	210,0	644,0	<b>427,0</b>	994,0	1335,6	<b>1164,8</b>
Cálcio (mg/L) Ca	675,0	1350,0	<b>1012,5</b>	1600,0	1450,0	<b>1525,0</b>
Fosfato (mg/L)	427,10	561,54	<b>494,32</b>	408,05	532,56	<b>470,31</b>
Sulfato (mg/L)	1300,0	1650,0	<b>1475,0</b>	5700,0	4400,0	<b>5050,0</b>
Potássio (Kg/m <sup>3</sup> ) K <sub>2</sub> O	2,79	2,98	<b>2,89</b>	6,90	6,70	<b>6,80</b>
Magnésio (mg/L) Mg	250,0	300,0	<b>275,0</b>	1150,0	1150,0	<b>1150,0</b>
Sódio (mg/L) Na	375,0	400,0	<b>387,5</b>	250,0	275,0	<b>262,5</b>

Fonte: Análises realizadas no Laboratório IBRA. Onde: Média (1): É a média aritmética dos parâmetros da vinhaça “in natura” (1) e a vinhaça concentrada (2).

Neste caso, novamente, os tratamentos T4 (Uréia) e T5 (Testemunha), que não receberam vinhaça, apresentaram as menores concentrações, enquanto que o T3 (Vinhaça concentrada) apresentou a maior média, porém não sendo estatisticamente diferente dos demais tratamentos que receberam a vinhaça. Na profundidade de 20-40 cm para Mg houve diferença estatística para a posição L, tendo T2 e T5 os menores teores. Quanto ao potássio a essa profundidade houve apenas diferença para a posição EL tendo T1, T2, T4 e T5 menores teores em relação ao T3. Como no passado a área experimental estava em produção, a adição de fertilizantes em sua totalidade pode ter diminuído a importância dos tratamentos com vinhaça para camadas mais profundas. Em função disso, na profundidade de 40-60 cm ocorreu diferença significativa apenas para Mg, sendo que para a posição “L” T1 apresentou o maior teor, e T4 o menor. Para a posição EL, T2 e T3 tiveram maiores teores, enquanto que T4 o menor (Tabela 3). O pH do solo mostrou-se bastante estável ao longo do tempo e entre os tratamentos, variando na faixa de 5 a 5,6. Somente aos 60 a 78 dias, para os tratamentos que receberam a vinhaça, houve diferença significativa, o que está de acordo com dados de Matiazzo (1976). Em função do pH ácido da vinhaça, é possível levantar a hipótese de que seu uso na agricultura viesse a comprometer a qualidade do solo, principalmente elevando sua acidez. Entretanto ALMEIDA *et. al.* (1952), observaram que, apesar da vinhaça ser ácida, ao contrário do que se esperava, no médio prazo ela elevava o pH do solo, melhorando a sua acidez e suas propriedades físicas. Após sua aplicação no solo, a vinhaça promove reações biológicas de natureza redutora que consomem prótons e fazem com que o pH se eleve (ROSSETTO, 1987). Os resultados mostram que a aplicação de vinhaça concentrada permitiu benefícios na fertilidade do solo, especialmente em relação ao K e Mg, de forma similar à vinhaça “in natura”, partindo-se do princípio de que as diferenças nas doses compensaram as diferenças de concentração entre os dois produtos (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados de fertilidade do solo, aos 4 meses, após aplicação dos tratamentos.

Trat.	Posição	Profundidade 0-20					
		Al	Ca	Mg	K	P	pH
		cmolc/d			mg/L		
T1	L	0,05	3,02	0,99 a	74,83 ab	2,39	5,50
	EL	0,03	2,99	1,05 a	71,33 a	1,96	5,77
T2	L	0,05	2,98	0,99 a	76,00 ab	3,23	5,45
	EL	0,03	2,83	0,99 ab	48,17 a	2,22	5,53
T3	L	0,06	2,57	0,95 a	97,00 a	2,60	5,46
	EL	0,32	2,87	1,05 a	69,67 a	2,37	5,49
T4	L	0,06	2,88	0,89 a	50,67 b	4,13	5,40
	EL	0,07	2,70	0,85 b	32,17 a	2,55	5,55
T5	L	0,04	3,04	0,99 a	45,83 b	3,49	5,45
	EL	0,02	3,20	1,05 a	30,50 a	2,65	5,61
Trat.	Posição	Profundidade 20-40					
		Al	Ca	Mg	K	P	pH
		cmolc/d			mg/L		
T1	L	0,10	2,50	1,01 a	35,83 a	1,91	5,48
	EL	0,18	2,50	0,81 a	14,17 b	1,30	5,39
T2	L	0,25	2,20	0,75 b	30,20 a	2,31	5,08
	EL	0,23	2,18	0,75 a	14,03 b	2,02	5,10
T3	L	0,23	2,10	0,83 ab	22,33 a	1,33	5,08
	EL	0,20	2,11	0,76 a	23,67 a	1,51	5,08
T4	L	0,16	2,61	0,83 ab	21,20 a	2,83	5,28
	EL	0,35	2,21	0,78 a	14,67 ab	1,33	4,98
T5	L	0,17	2,31	0,72 b	15,20 a	1,65	5,14
	EL	0,21	2,35	0,75 a	13,00 b	1,43	5,24
Trat.	Posição	Profundidade 40-60					
		Al	Ca	Mg	K	P	pH
		cmolc/d			mg/L		
T1	L	0,4	2,04	1,03 a	32,83	1,23	5,18
	EL	0,38	1,92	0,75 a	26,17	2,18	5,04
T2	L	0,56	1,6	0,75 ab	16,5	1,54	4,99
	EL	0,4	1,85	0,82 a	16	1,09	5,14
T3	L	0,67	1,32	0,74 ab	13,83	1,6	4,85
	EL	0,78	1,32	0,64 a	15,17	1,08	4,82
T4	L	0,79	1,41	0,56 b	14,83	1,56	4,87
	EL	0,78	1,34	0,53 a	10	1,23	4,77
T5	L	0,39	1,84	0,74 ab	25,5	1,64	5,04
	EL	0,52	1,72	0,69 a	11,5	1,15	4,97

Fonte: Autores, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### Variações no N-disponível e carbono solúvel do solo

Analisando-se o efeito dos tratamentos com fertilização nitrogenada e vinhaça (T1, T2, T3, T4), em comparação a testemunha (T5), sobre a disponibilidade de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no solo em cada fase do cultivo da cana (Tabela 4), observou-se que somente nos tratamentos com uréia as concentrações foram um pouco mais altas (SILVA, 2014). Quatro dias após o início do estudo, os níveis de  $\text{NO}_3^-$  foram reduzidos em todos os tratamentos e novamente se elevaram no sexto dia. A partir daí as condições de umidade do solo eram maiores e perdas por desnitrificação explicariam uma nova redução da concentração de  $\text{NO}_3^-$  no solo. Na comparação de médias de tratamentos para carbono solúvel verificaram-se maiores valores na vinhaça concentrada (T3), aos 8, 22, 30 35 e 209 dias após aplicação. No entanto, de modo geral, houve forte tendência de maior concentração de C solúvel quando vinhaça foi aplicada ao solo, o que respaldaria a hipótese de potencial de redução do solo e elevação do pH e de maiores perdas de N por desnitrificação em função da aplicação da vinhaça junto com a uréia (SILVA, 2014).

**Tabela 4.** Influência dos tratamentos nos teores de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) em: (mg/kg) do solo nas diferentes épocas, após aplicação dos tratamentos. Onde: Dap: Dias após a coleta, T1: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça in natura, T2: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de uréia, T3: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T4 :200 Kg uréia/ha, T5:Testemunha. Medias seguida pela mesma letra não diferem entre probabilidade.

Época (Dap)	Tratamentos (mg/kg)					Estatística	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F	DSM
1	3,20B	10,95AB	0,26B	15,66A	3,90B	0,0067	10,915
4	2,51A	3,85A	2,18A	5,45A	4,56A	0,7220	9
6	5,01A	17,50A	4,41A	12,32A	6,08A	0,4246	26,601
8	4,00BC	9,83A	2,66C	4,80B	4,41BC	<,0001	1,789
12	4,37B	6,18B	5,41B	10,53A	4,08B	0,0029	3,950
22	1,89A	12,15A	2,31A	1,77A	2,01A	0,3330	19,155
30	1,06A	2,15A	2,67A	3,35A	0,94A	0,5129	5,352
35	1,24A	9,99A	2,05A	4,76A	2,05A	0,2920	14,432
43	2,36A	10,20A	4,07A	4,76A	3,70A	0,2006	10,668
49	0,92A	1,77A	1,21A	3,96A	1,39A	0,6590	7,560
57	5,30A	3,68A	3,91A	3,83A	4,93A	0,8850	6,823
64	5,13A	1,62A	1,70A	1,14A	8,22A	0,2590	11,709
71	1,78A	1,27A	2,26A	1,14A	4,76A	0,2080	5,278
78	0,62C	4,27C	11,54B	1,11C	22,11A	<,0001	5,131
106	2,72A	4,27A	4,16A	3,32A	4,33A	0,3603	4,094
141	1,21C	2,91BC	4,77AB	5,80A	6,62A	0,0003	2,422
162	1,43C	1,31DC	1,25D	1,85B	7,07A	<,0001	0,176
204	0,27C	1,13B	0,87B	2,26A	1,07B	<,0001	0,562
209	2,64B	0,62E	1,92C	3,34A	1,09D	<,0001	0,303
245	0,93C	2,37AB	1,61BC	2,44AB	2,75A	0,0007	0,898
294	1,20A	2,54A	3,36A	1,24A	1,15A	0,3021	4,071
347	0,11B	0,92 A	0,95A	0,95A	0,15B	<,0001	0,1156

A produtividade e exportação de N nos colmos, na (Tabela 1) são apresentados os resultados de produtividade de colmos em função dos tratamentos aplicados na cultura da cana-de-açúcar. Os resultados estão dentro dos valores encontrados em canaviais comerciais de alta produtividade, exceto o tratamento controle, cuja produtividade foi próxima de 70 TCH. Tais resultados foram submetidos à análise estatística, o que permitiu classificar o comportamento da planta em cada tratamento aplicado. Observou-se maiores produtividades para T2, T3 e T4 (130 a 136 TCH). Conforme o esperado, a produtividade para T5 (testemunha) foi menor, devido não ter recebido nenhuma fonte de nutrientes, demonstrando assim o acréscimo na produtividade causado pela adição de nutrientes no solo. Entretanto para T1 (vinhaça “in natura”) verificou-se uma produtividade menor do que as encontradas para T2, T3 e T4, o que poderia estar relacionado a menor quantidade de nitrogênio aplicada. Não houve diferença entre tratamento para maturação da cana-de-açúcar (pol, pureza ou umidade) e nem na concentração de nitrogênio total no colmo (g/kg) na ordem de: T1 (0,345), T4 (0,342), T3 (0,337), T5 (0,317) e T2 (0,282), o que refletiu em uma exportação proporcional a produtividade. A exportação de nitrogênio total por hectare (kg N/ha) foi por tratamento de: T3 (92,2 kg/ha), T4 (89,3), T2 (76,0), T1 (74,1) e T5 (45,5).

### Conclusões

Dos resultados obtidos, considerando as condições em que o trabalho foi realizado e de acordo com a metodologia aplicada, conclui-se que:

As utilizações tanto de fertilizante nitrogenado quanto de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar incrementam a produtividade. Benefícios constatados com a aplicação de vinhaça são a elevação da disponibilidade de K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no solo, e também do pH, melhorando as condições de fertilidade para a cultura. Neste caso, a aplicação da vinhaça in natura ou concentrada, com doses similares de nutrientes, resultam em efeito similar. O uso combinado de fertilizante nitrogenado e vinhaça resultam em maior produtividade, certamente pela combinação dos efeitos benéficos da vinhaça para a fertilidade do solo e pela maior disponibilidade de N para a planta.

### Referências Bibliográficas

- CONSECANA, Manual de instruções, Conselho dos produtores de cana-de-açúcar e álcool do estado de São Paulo. 5ª ed. Piracicaba, 2006.
- ELIA NETO; NAKAHONDO. **Vinhaça**. In: DINARDO-MIRANDA, Leila L. (et al.) Cana-de-açúcar. Ribeirão Preto, SP: IAC, 2008.p. 298-308.
- MORO, C. C. et al. Utilização da vinhaça como fertilizante no cultivo da cana de açúcar. **Revista Cognitio Unilins**, Lins, n. 1, 2011.
- ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas:Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.
- SILVA, G. S. P. L. dá Fatores de emissões de óxidos nitrosos decorrente da aplicação de vinhaça no cultivo de cana de açúcar. 62p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2014.
- SILVEIRA, L... Cana é a fonte renovável que mais crescerá na matriz energética. **Revista Canavieiros**. 2012. 1-2p.
- SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. ampl. Brasília: **Embrapa** Informação Tecnológica, 2009.
- SILVA, F. C. ; ALVES, B. J. R. (Org.) ; FREITAS, P. L. (Org.). Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. 1. ed. Brasília, DF: **Embrapa** Informação Tecnológica, 2015. v. 1. 586p .
- SILVA, F. C. ; Carlos Gregorio Hernández Díaz-Ambrona ; ITURRA, A. R. . Desarrollo Sostenible de la Producción de Bioetanol y Azúcar. A partir de la Caña de Azúcar. 1. ed. **Saarbrücken: Editorial Acadêmica Espanhola** (13.06.2013 ), 2013. v. 1. 436p.

## EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO EM GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA FASE INICIAL DE CRESCIMENTO

Oriel T. Kölln<sup>1</sup>, Henrique C. J. Franco<sup>1</sup>, Guilherme M. Sanches<sup>1</sup>, Camila Caldana<sup>1</sup>, Sergio Q. Castro<sup>1</sup>, Marina C. Martins<sup>1</sup>, Lucia Mattiello<sup>2</sup>, Larissa P. Cruz<sup>1</sup>, Paulo C. O. Trivelin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol – CTBE

<sup>2</sup>Instituto de Biologia Unicamp – IB

<sup>3</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP

oriel.kolln@bioetanol.org.br

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência de utilização em N (EUN) de diferentes genótipos de cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento. Desenvolveu-se um experimento em condições controladas em casa de vegetação com 18 genótipos e dois níveis de N, sendo baixo N (10 mg kg<sup>-1</sup> - limitante) e alto N (270 mg kg<sup>-1</sup> - dose elevada). Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Depois de 60 dias de crescimento quantificou-se o acúmulo de massa seca e de N na parte aérea e raízes. Verificou-se grande variação EUN pelos genótipos de cana-de-açúcar. Dos 18 genótipos avaliados, seis foram classificados como responsivos e eficientes na utilização de N, três foram não eficientes e responsivos; dois foram eficientes e não responsivos, e sete não eficientes e não responsivos. O genótipo que obteve a maior EUN tanto para alto N como para baixo N foi o RB975375. Por meio da análise de correlação de Pearson e de Componentes Principais, verificou-se que a principal característica associada a EUN é a massa seca de raízes (MSR). Esse resultado preliminar comprova, em parte, que a recomendação de adubação utilizada atualmente, sem considerar a eficiência de utilização do N, pode estar equivocada.

**Palavras-chave:** Adubação nitrogenada, *Saccharum Spp.*, correlação de Pearson

### Summary

The aim of this study was to evaluate the nitrogen use efficiency of sugarcane genotypes during the initial growth phase. For this, a trial in controlled conditions (glasshouse) was developed with 18 genotypes and two levels of N: low N (10 mg kg<sup>-1</sup> - limiting) and high N (270 mg kg<sup>-1</sup> - high dose). The experiment was performed in a completely randomized design with four replicates. After 60 days of growth, dry matter and N accumulation in serial part and roots were measured. There was a wide variation in the N use efficiency (NUE) by the different sugarcane genotypes. The results of NUE permitted to classify the genotypes as responsive to N and efficient in N use (six genotypes); not efficient and responsive to N (three genotypes); efficient and not responsive to N (two genotypes); not efficient and not responsive to N (seven genotypes). The genotype that presented the highest NUE both in high and low N was RB975375. Through the Pearson correlation and principal component analyses, it was found that the main feature associated with NUE was dry matter of roots (DMR). This result showed that recommendation of N fertilization currently used in Brazil is quite imprecise, because it does not consider NUE of each genotype.

**Keywords:** Nitrogen fertilization, *Saccharum Spp.*, Pearson correlation

### Introdução

A prática da adubação nitrogenada é muito importante para a manutenção da produção em sistemas agrícolas, assegurando bons níveis de produtividade para as culturas. Porém, é conhecido que aplicações excessivas desse nutriente podem gerar perdas e consequentemente danos ambientais associados (ALLEN *et al.*, 2012).

A absorção desse elemento pela cana-de-açúcar varia de 100 até 300 kg ha<sup>-1</sup> para a produção de 100 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos (CANTARELLA, 2007). Estudos constataram que a quantidade de N remanescente nos resíduos vegetais após a colheita anterior de cana, sem queima, é de 40 a 80 kg ha<sup>-1</sup> de N (VITTI *et al.*, 2011; FORTES *et al.*, 2012). Mesmo assim, quantidades significativas de N-fertilizante (100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N) são necessárias para garantir a demanda nutricional da cultura em N (VITTI *et al.*, 2007).

No entanto, de acordo com ROBINSON *et al.* (2011), em alguns países as doses de N utilizadas em cana-de-açúcar ultrapassam os 200 kg ha<sup>-1</sup>, podendo chegar a 400 kg ha<sup>-1</sup>, potencializando os riscos de danos ambientais. No Brasil as doses usadas são menores, da ordem de 100 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, independente da dose de N-fertilizante empregada na lavoura de cana-de-açúcar, a eficiência de uso deste elemento pela planta geralmente é menor que 50%, valor esse inferior ao observado na maioria das outras culturas que se situa entre 50 a 70% (CANTARELLA, 2007). A eficiência de utilização do N (EUN) em plantas é complexa e influenciada por muitos processos fisiológicos, tais como a absorção de N a partir do solo, assimilação em aminoácidos que armazenam N, transporte desse N da fonte para formação de novos tecidos e sinalização e vias regulatórias que mantêm o status de N da planta e o crescimento (MOOSE; BELOW, 2009).

Atualmente, no Brasil, o melhoramento genético de cana-de-açúcar tem como objetivos principais selecionar genótipos que transmitam vantagens de rendimento de biomassa, resistência a doenças e ao pisoteio de colhedoras nas entrelinhas, sem levar em consideração a eficiência de uso de nutrientes. Assim, a cana-de-açúcar tem sido cultivada em condições de campo como se o mesmo genótipo fosse plantado em todas as situações de manejo e disponibilidade de N, sendo as doses desse nutriente calculadas em relação à produtividade esperada e ambientes de produção, não considerando as diferenças genotípicas de EUN. Nesse sentido, é pertinente investigar se a exigência nutricional da cultura de cana-de-açúcar é a mesma para os genótipos brasileiros cultivados atualmente.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de utilização de N (EUN) de diferentes genótipos de cana-de-açúcar submetidos a dois níveis de nitrogênio, sendo baixo N (limitante) e alto N (dose elevada).

### Material e Métodos

O estudo foi realizado em casa de vegetação (CV) no Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol – CTBE/CNPEM – Campinas/SP (22° 48' 09" S, 47° 03' 11" O). Para o desenvolvimento dessa etapa foram selecionados 20 genótipos de cana-de-açúcar do programa de melhoramento RIDESA – Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético, material cedido pelo programa por meio de uma parceria estabelecida entre CTBE e RIDESA (Tabela 1).

**Tabela 1.** Genótipos selecionados para a realização do experimento de EUN.

Nº	Variedade	Progenitores		Ano Cruzamento	Ano Liberação	Representatividade*		
		Mãe	Pai			Área (ha)	%	Pos.
1	RB867515	RB72454	?	1986	1998	921.350	26,29	1º
2	RB855453	TUC71-7	?	1985	1995	248.646	7,1	3º
3	RB966928	RB855156	RB815690	1996	2010	208.697	5,96	4º
4	*RB855156	RB72454	TUC71-7	1985	1995	176.926	5,05	5º
5	RB92579	RB75126	RB72199	1992	2003	150.812	4,3	6º
6	RB855536	SP70-1143	RB72454	1985	1998	91.640	2,62	8º
7	*RB835054	RB72454	NA56-79	1983	1998	50.899	1,45	14º
8	RB935744	RB835089	RB765418	1993	2006	47.864	1,37	15º
9	RB835486	L60-14	?	1983	1992	33.288	0,95	20º
10	RB72454	CP53-76	?	1972	1982	28.966	0,83	21º
11	RB928064	SP70-1143	?	1992	2002	19.695	0,6	24º
12	RB965902	RB855536	RB855453	1996	2010	15.801	0,45	30º
13	RB937570	SP70-1143	RB72454	1993	2010	14.840	0,42	35º
14	RB965917	RB855453	RB855536	1996	2010	2.189	0,06	56º
15	RB975952	RB835486	RB825548	1997	2014 ?	707	0,02	83º
16	RB975201	RB855113	?	1997	2014 ?	155	0,004	129º
17	RB975242	F147	?	1997	2014 ?	7	0,0002	250º
18	RB985476	H53-3989	RB855206	1998	2014 ?	-	-	-
19	RB975375	RB855035	RB855536	1997	?	-	-	-
20	RB995867	F150	?	1999	?	-	-	-

\*Genótipos que não apresentaram germinação suficientes para realização do estudo. Pos.: Posição na representatividade; em vermelho genótipos não disponíveis comercialmente, considerados clones potenciais com liberação. Fonte: RIDESA

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições e duas doses de N – fertilizante, sendo baixo N (10 mg kg<sup>-1</sup> - limitante) e alto N (270 mg kg<sup>-1</sup> - dose elevada). Cada unidade experimental foi constituída de um pote com capacidade de 4 L sem orifícios na base, preenchido com 3,4 kg de areia fina lavada. Antes da instalação do experimento foi realizada a caracterização química e física da areia (Tabela 2). Para elevar os teores de cálcio e magnésio aplicou-se 1,0 g, por vaso, de calcário (calcário dolomítico PRNT=90%). Depois os vasos foram incubados por 14 dias com a umidade ajustada para 70% da capacidade máxima de retenção de água (CRAmáx).

**Tabela 2.** Características químicas e físicas da areia utilizada no experimento.

pH	M.O. g dm <sup>-3</sup>	Al -----	P mg dm <sup>-3</sup> ----	S -----	H+Al -----	K -----	Ca -----	Mg -----	CTC -----	V %	Areia -----	Silte g kg <sup>-1</sup> -----	Argila -----
5,4*	5	0	2,5	34,5	8	0,4	6	1	15,4	48	865**	209	61

\*Análise realizada segundo metodologia de RAIJ (2001). \*\*Análise realizada segundo metodologia da EMBRAPA, (1997).

Os colmos sementes (mini toletes de 1 gema com 25mm de comprimento), foram germinados e cultivados por 4 semanas em bandejas de crescimento, na presença de vermiculita inerte sem a adição de nutrientes. Ao término deste período, uma plântula foi transferida definitivamente para um pote plástico com fundo fechado (para evitar perdas de solução) e capacidade de 4 L.

Em cada vaso, 7 dias após o transplante das mudas, foram aplicados 100 mg kg<sup>-1</sup> de P na forma de fosfato de cálcio Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> e 50 mg kg<sup>-1</sup> de K na forma de sulfato de potássio K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na forma de solução. As doses de micronutrientes foram 3 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco p.a.), 1 mg kg<sup>-1</sup> de B (ácido bórico p.a.), 0,5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (sulfato de cobre p.a.), 5 mg kg<sup>-1</sup> de Fe (EDTA férrico p.a.), 4 mg kg<sup>-1</sup> de Mn (sulfato de manganês p.a.) e 0,3 mg kg<sup>-1</sup> de Mo (molibdato de sódio p.a.). A aplicação dos micronutrientes foi parcelada em duas aplicações: aos 7 dias após o transplante e aos 35 juntamente com mais 70 mg kg<sup>-1</sup> de K na forma de cloreto de potássio (KCl), totalizando 120 mg kg<sup>-1</sup> de K. A umidade dos vasos foi mantida em 70 % da capacidade máxima de retenção. Diariamente 10% dos vasos foram pesados para a realização do cálculo da massa de água perdida, sendo a reposição de água realizada com auxílio de provetas graduadas.



A aplicação do tratamento 270 mg kg<sup>-1</sup> de N (alto N) foi realizada de forma parcelada, sendo que inicialmente todos os vasos receberam 10 mg kg<sup>-1</sup>, referente a dose baixo N, na forma de nitrato de amônio NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 15 dias depois forneceram-se 80 mg kg<sup>-1</sup> solo na forma de nitrato de amônio NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> somente para dose alto N, que recebeu mais duas parcelas de 90 mg kg<sup>-1</sup> de solo de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> em intervalos de 15 dias.

Aos 60 dias após o início da aplicação dos tratamentos foi realizado a avaliação final do experimento, os vasos foram desmontados e as partes das plantas foram coletadas separadamente em parte aérea (PA) e raízes para a determinação da biomassa seca, obtida em estufa de circulação forçada de ar a 65°C. Posteriormente, as amostras de planta foram moídas em moinho de facas tipo Wiley, sendo quantificados os teores de N (g kg<sup>-1</sup>) nas folhas, caules, e raízes segundo metodologia de Nelson; Sommers, (1973). Com os dados de massa seca e o N total acumulado na planta calculou-se a eficiência de uso de N (EUN) para todos os genótipos avaliados, dividindo a massa seca total da planta pelo N total acumulado em mg kg no tecido, assim a EUN é dada em (gramas de massa seca g MS/ gramas de N no tecido g N).

Os dados de acúmulo de MS foram submetidos inicialmente à uma análise de variância (ANOVA), pelo teste F, por meio do programa SISVAR (versão 5.6, UFPA, Lavras, MG), para comparação entre os tratamentos avaliados, quando significativo (p<0,05), utilizou o teste Scott Knott para a comparação entre os genótipos (p<0,05). Utilizando metodologia descrita em ROBINSON et al. (2007) a qual utiliza a média de uma amostra para separar em quadrantes a distribuição dos genótipos, foi possível diferenciar os materiais quanto a eficiência e a resposta a adubação com N. Nesse caso utilizou-se no eixo x a eficiência de utilização de N em baixo N e no eixo y a eficiência de utilização em alto N. Assim é possível identificar no eixo x genótipos que possuem alta EUN, e no eixo y genótipos que apresentam elevada resposta ao N.

Com o objetivo de investigar as causas de variabilidade da EUN nos genótipos, avaliou-se a estrutura de correlação deste fator (EUN) com o acúmulo de biomassa e de N das plantas por meio da correlação de Pearson utilizando-se o programa STATISTICA 12® (StatSoft, Dell Software, Oklahoma, USA).

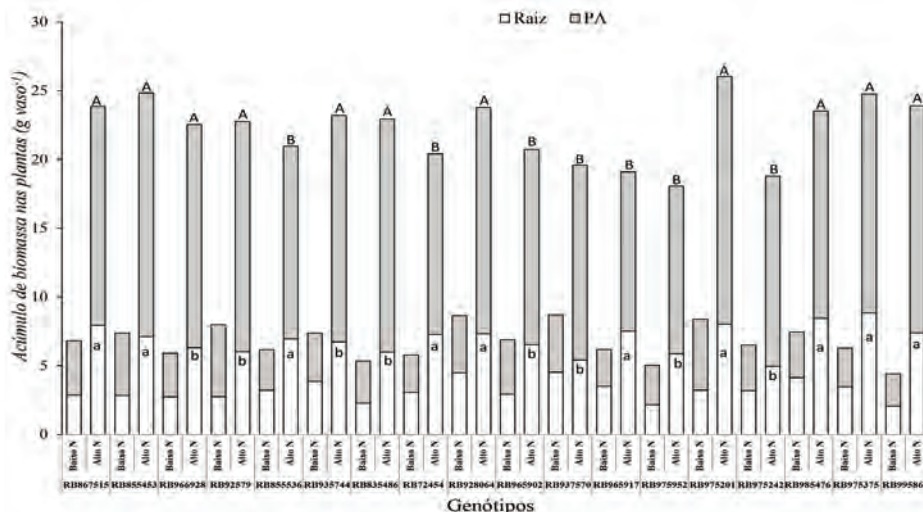
**Resultados**

Houve diferenças entre os genótipos para o acúmulo de massa seca na parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) apenas para dose alto N (270 mg kg<sup>-1</sup> N). O acúmulo de MSPA variou de 11,6 a 18 g em alto N e de 2,3 a 5,2 g em baixo N. Para o acúmulo de MSR as médias variaram de 4,9 a 8,8 g em alto N e de 2,0 a 4,5 g em baixo N (Figura 1). As maiores diferenças entre os genótipos ocorreram quando esses foram cultivados em baixo N do que em alto, tanto para MSPA como para MSR (Figura 1). Os genótipos que se destacaram para a produção de MSPA em ordem decrescente foram RB975201, RB855453, RB835486, RB92579, RB995867, RB935744, RB928064, RB966928, RB975375, RB867515 e RB985476. No acúmulo de MSR as maiores biomassas foram obtidas também, em ordem decrescente, pelo RB975375, RB985476, RB867515, RB965917, RB995867, RB928064, RB72454, RB855453 e RB855536. Para todos os genótipos, no acúmulo de MSPA e MSR, houve diferença entre a dose baixo N e alto N (teste Scott Knott p<0,05).

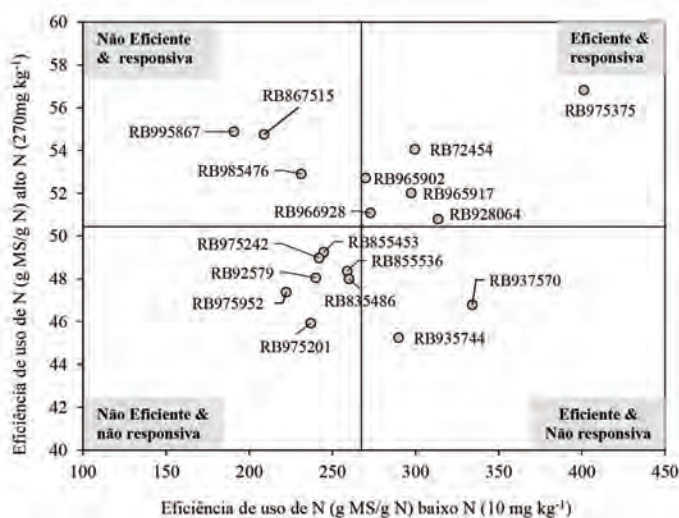
Verificou-se uma grande diferença na EUN entre os genótipos, sendo que dos 18 genótipos testados seis foram classificados como responsivos e eficientes, três não eficientes e responsivos, dois eficientes e não responsivos, e sete não eficientes e não responsivos para a adubação nitrogenada (Figura 2). O genótipo que obteve a maior EUN, tanto para alto N como para baixo N, foi o RB975375. Por outro lado, o genótipo com o pior desempenho para os dois níveis de N foi o RB975201. Cabe ressaltar que entre os genótipos selecionados para a realização desse experimento, seis ainda não estavam disponíveis para os cultivos comerciais, sendo classificados como clones promissores.

Por meio de análise de correlação de Pearson (Tabela 3) verificou-se que a EUN e o acúmulo de massa seca nas raízes estão correlacionados positivamente (r = 0,62 para baixo N e r = 0,53 para alto N), mostrando tendência entre essas variáveis. Por outro lado, a EUN correlacionou negativamente com o acúmulo de N tanto na parte aérea para baixo N (r=-0,75) como nas raízes (r=-0,73 em baixo N e r=-0,71 em alto N).

**Figura 1.** Acúmulo de massa seca na parte aérea (MSPA) e nas raízes (MSR) nos genótipos avaliados com dois níveis de N, sendo baixo N (10 mg kg<sup>-1</sup>) e alto N (270 mg kg<sup>-1</sup>). Coeficiente de variação de MSPA: 19,2, e de MSR: 30,3. Letras maiúsculas comparam os genótipos dentro de uma mesma dose no acúmulo de MSPA e letras minúsculas para MSR.



**Figura 2.** EUN para 18 genótipos de cana-de-açúcar divididos quanto a eficiência de uso de N e a resposta a suplementação de N quando submetidos a níveis de baixo N (10 mg kg<sup>-1</sup>) e alto N (270 mg kg<sup>-1</sup>).



**Tabela 3.** Correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas de planta em baixo (abaixo da diagonal principal) e alto N (acima da diagonal principal).

	MSPA	MSR	N PA	N raiz	EUN
MSPA		0,23	-0,36	0,18	-0,25
MSR	0,22		0,05	-0,31	0,53*
N PA	-0,38	-0,37		-0,49**	-0,08
N raiz	-0,32	-0,31	0,55*		-0,71**
EUN	0,01	0,62*	-0,75**	-0,73**	

MSPA: Massa seca da parte aérea [g]; MSR: Massa seca de raízes [g]; N PA: acúmulo de N na parte aérea [g kg<sup>-1</sup>]; N raiz: Acúmulo de N na raiz [g kg<sup>-1</sup>]; EUN: Eficiência de utilização de N; \*Significativo a 5 % de probabilidade variáveis correlacionadas positivamente; \*\*Significativo a 5 % de probabilidade variáveis correlacionadas negativamente.

### Discussão

Nas condições controladas do experimento foi possível observar grandes diferenças entre os 18 genótipos avaliados para as doses aplicadas, sendo tal fato verificado pela alta variação na produção de biomassa. Para a dose baixa de N a diferença entre a maior e a menor produção de biomassa foi de aproximadamente 2,2 vezes, enquanto que para a dose alta essa foi de 1,5 vezes. A dose alta de N produziu em média, aproximadamente, 5 vezes mais MSPA do que para a dose baixa, sendo a (MSR) o dobro para a dose alta em comparação à dose baixa. Tal fato evidencia que os genótipos selecionados apresentam alta variabilidade de produção, indicando ser uma amostra representativa para a avaliação de eficiência em utilização de Nitrogênio. Resultados semelhantes foram obtidos por ROBINSON *et al.* (2007), que avaliaram cerca de 60 genótipos de cana-de-açúcar na Austrália. Os autores obtiveram uma variação ainda maior, chegando a quatro vezes a diferença na produção de biomassa. No presente trabalho, dentre os genótipos que se destacaram para a produção de biomassa, quatro deles (RB975201, RB995867, RB975375, RB985476) ainda não estavam disponíveis comercialmente. Esse fato mostra o elevado potencial de novos genótipos que estão sendo desenvolvidos com a possibilidade de associar a esses novos lançamentos a informação quanto a EUN. A realização de experimentos em casa de vegetação e até mesmo em campo são necessários para pesquisar e desenvolver genótipos, melhorando assim a sustentabilidade de uso de nitrogênio na produção de cana-de-açúcar.

Em relação a EUN, o genótipo que apresentou grande destaque foi o RB975375 (Figura 2). Esse genótipo foi altamente eficiente quando o N estava limitante no substrato (baixo N) e apresentou elevada resposta quando se utilizou dose elevada de N (alto N). Embora muitos estudos em outras culturas já identificaram uma variação genotípica de EUN, como milho de clima temperado, (BERTIN; GALLAIS, 2000); cevada (SINEBO *et al.*, 2004); arroz (SAMONTE *et al.*, 2006), a importância da interação do genótipo e do suprimento de N ainda não é clara, e isso tem implicações significativas para estratégias de seleção de cultivares. PRESTERL *et al.* (2002) verificaram que genótipos de milho selecionados no campo com baixa oferta de N, tinham significativamente rendimentos mais elevados com baixa e alta oferta N do que aqueles que foram selecionados sob elevada oferta de N. Esse fato ocorreu devido há um aumento da eficiência de absorção de N. Esses autores sugeriram que genótipos de milho europeu deveriam ser selecionados com uma baixa oferta de N, e que isso não afetaria o rendimento quando submetidos a uma grande oferta de N. Nesse caso, considerando as áreas de expansão da cana-de-açúcar no Brasil que geralmente ocorrem em áreas de menor fertilidade, seria mais prudente a seleção de genótipos que apresentem elevada EUN com dose baixa de N, possibilitando a utilização desses em condições de maior e menor disponibilidade de nutriente sem afetar os níveis de produtividade. Dos oito genótipos que foram considerados eficientes na utilização do N com suprimento limitado de N, apenas dois não foram classifi-

cados como responsivos a dose elevada de N RB935744 e RB937570, esses mesmos genótipos tiveram menor produção de MSR quando cresceram bem supridos de N. Nesse estudo, somente quatro genótipos dos oito considerados eficientes com baixo N apresentaram produção de MSPA e MSR elevada. Esses resultados discordam dos obtidos por ROBINSON *et al.* (2007), a qual verificou que os genótipos com as maiores EUN também tiveram maior produção de biomassa.

### Conclusão

Os genótipos avaliados apresentaram grandes contrastes em relação a resposta e a eficiência de utilização do N, sendo que esse resultado preliminar comprova, em parte, que a recomendação de adubação atualmente utilizada, sem considerar a eficiência de utilização dos nutrientes nesse caso o N, pode estar equivocada. Por meio da correlação de Pearson foi possível identificar que a produção de raízes é o principal responsável pela elevada EUN obtida por alguns genótipos.

### Referencias bibliográficas

- ALLEN, D. E.; KINGSTON, G.; RENNENBERG, H.; DALAL, R. C.; SCHMIDT, S. Effect of nitrogen fertilizer management and waterlogging on nitrous oxide emission from subtropical sugarcane soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, p. 209–217, 2012.
- BERTIN, P.; GALLAIS, A. Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set of recombinant maize inbred lines. I. **Agrophysiological results**. *Maydica*, Bergamo, 45, 53–66, 2000.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.
- FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long Term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo State Brazil. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 42, p. 189-198, 2012.
- MOOSE, S. BELOW, F. E. Biotechnology approaches to improving maize nitrogen use efficiency. In: KRIZ, A. L.; LARKINS, B. A. (Ed.). *Molecular genetics approaches to maize improvement*. Heidelberg: Springer, 2009. P. 65–77. (**Biotechnology in Agriculture and Forestry**, 63).
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Determination of total nitrogen in plant material. **Agronomy Journal, Madison**, v. 65, p. 109-112, 1973.
- PRESTERL, T.; GROH, S.; LANDBECK, M.; SEITZ, G.; SCHMIDT, W.; GEIGER, H. H. Nitrogen uptake and utilization efficiency of European maize hybrids developed under conditions of low and high nitrogen input. **Plant Breeding**, Berlin, v. 121, p. 480–486, 2002.
- ROBINSON, N.; BRACKIN, R.; SOPER, K. V. F.; GAMAGE, J. H. H.; PAUNGFUO-LONHIEHNE, C.; RENNENBERG, H.; LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S. **Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane**. *PloS One*, San Francisco, v. 6, n. 4, e19045, 2011.
- ROBINSON, N.; FLETCHER, A.; WHAN, A.; CRITCHLEY, C.; WIRÉN, N. VON, LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S. Sugarcane genotypes differ in internal nitrogen use efficiency. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 34, p. 1122-1129, 2007.
- SAMONTE, S. O. P. B.; SAMONTE, P. B.; WILSON, L. T.; MEDLEY, J. C.; PINSON, S.; MCCLUNG, A. M.; LALES, J. S. Nitrogen utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein, and yield-related traits in rice. **Agronomy Journal, Madison**, v. 98, p. 168–176, 2006.
- SINEBO, W.; GRETZMACHERB, R.; EDELBAUER, A. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 85, p. 43–60, 2004.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C. E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 287-293, 2011.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 491-498, 2007.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

**FORMAS DE APLICAÇÃO DE N-FERTILIZANTE EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Clovis D. Borges<sup>1</sup>, Oriel T. Kölln<sup>1</sup>, Sérgio G. Q. Castro<sup>1</sup>; Guilherme M. Sanches<sup>1</sup>;  
Henrique C. Junqueira Franco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE – CNPEM) – Campinas, SP

henrique.franco@bioetanol.org.br

**Resumo**

A cana-de-açúcar apresenta baixa eficiência de utilização do nitrogênio (EUN) quando comparada as demais culturas, assim, faz-se necessário buscar alternativas para o aumento da EUN e a produtividade de colmos (TCH) da cultura. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes formas de aplicação do N-fertilizante na produtividade de colmos e açúcar da cultura. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com quatro repetições, com os seguintes tratamentos: 1) controle (sem aplicação de N); 2) aplicação superficial sobre a palha paralela à linha de cana-de-açúcar; 3) aplicação abaixo da camada de palha ao lado da linha; 4) aplicação incorporada ao solo a 0,1 m de profundidade no lado da linha. O experimento foi conduzido por duas safras agrícolas, em Latossolo Vermelho Eutroférico, sendo avaliado a produtividade de colmos e açúcar ao término de cada ciclo de soqueira. A aplicação do N-fertilizante promoveu acréscimo de 21% na TCH e TPH da cana-de-açúcar quando comparado ao tratamento controle, além de ter ocorrido diferença entre as formas de aplicação. A aplicação incorporada ou sob a palha promoveu acréscimo na TCH e TPH da cana-de-açúcar, respectivamente, de 23 Mg ha<sup>-1</sup> e 5 Mg pol ha<sup>-1</sup>, quando comparado à aplicação superficial, na soma de duas safras.

**Palavras-chave:** Tratos culturais; adubação nitrogenada; Produtividade de colmos;

**Summary**

The nitrogen use efficiency (NUE) of sugarcane crop is lower than other crops. Therefore, it is necessary looking for alternatives to improve the NUE and sugarcane yield (TSH – Tons of stalks per hectare). The objective of this research was assessing the effect of different N-fertilizer application methods in cane and sugar yield of the crop. The experimental design was randomized blocks with four replications. The treatments were: 1- without N-fertilizer application; 2- surface application of N-fertilizer; 3- N-fertilizer applied under the straw and aboveground beside the ratoon; 4- incorporate application of N-fertilizer at 0.1m beside the ratoon. The experiment was conducted for two years and the soil was classified Oxissol Typical Eutruxox. After the sugarcane harvest and yield calculate, the data were submitted at variance analysis (p<0,10). The N-fertilizer application promote increase 21% in TSH and TPH of sugarcane when compare with without application N-fertilizer treatment. There is difference about application methods in TSH and TPH of the sugarcane. The incorporate a plication or the application under the straw showed increase in TSH (23 Mg ha<sup>-1</sup>) and TPH (5 Mg pol ha<sup>-1</sup>) in sugarcane crop when compared with surface application.

**Keywords:** Crop Practices; Nitrogen fertilization; Sugarcane yield; Pol.

**Introdução**

Uma das práticas de manejo que impactam diretamente na produtividade da cultura é a fertilização nitrogenada. De acordo com Trivelin (2000), o nitrogênio (N) é um dos nutrientes que mais limitam o desempenho produtivo da lavoura canavieira. Além disso, o manejo inadequado de fertilizantes nitrogenados aumenta os riscos de perdas de N no sistema solo-planta, e pode impactar fortemente no balanço energético, devido a emissão de N<sub>2</sub>O (CERRI *et al.*, 2011) como verificado por ALLEN *et al.* (2010).

Geralmente a eficiência de utilização do N-fertilizante pela cultura é baixa, apresentando valores inferiores a 50% da dose aplicada (FRANCO *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2015), o que leva ao questionamento: não seria eminente a necessidade de desenvolvimento de estratégias visando o manejo da fertilização nitrogenada nos canaviais brasileiros promovendo o aumento da EUN pela cana-de-açúcar? Para outras culturas a aplicação incorporada ao solo de N-fertilizante tem diminuído as emissões de N<sub>2</sub>O, além de eliminar as perdas de N por volatilização de NH<sub>3</sub> quando são usados fertilizantes a base de ureia e/ou amônia anidra (GAVA *et al.*, 2001) e, mais importante ainda, tem aumentado a eficiência agrônômica de uso de N pelas culturas agrícolas (AMADUCCI *et al.*, 2006; BERES *et al.*, 2010), o que provavelmente pode ocorrer em áreas de cana-de-açúcar.

A importância do N para aumento da produtividade da cana-de-açúcar foi reportada em diversos estudos (FRANCO *et al.*, 2010; VITTI *et al.*, 2011; FORTES *et al.*, 2013), e apesar do nutriente estar presente em apenas 1% da fitomassa da planta, sua deficiência ocasiona redução da clorofila, aminoácidos e carboidratos, afetando diretamente o rendimento da cultura (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Assim, a disponibilidade de quantidades adequadas de nitrogênio no solo é fator chave na produtividade da cana, sendo mais importante do que fatores limitantes como radiação solar e temperatura (TRIVELIN, 2000; NOVAIS & MELO, 2007).

Nesse contexto, esse trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes formas de aplicação de N-fertilizante na produtividade de colmos e açúcar na cultura da cana-de-açúcar.

**Material e Métodos**

O experimento foi realizado em uma área comercial de cana-de-açúcar localizada na Usina Iracema (Iracemópolis, São Paulo, Brasil, 22° 34' 53" S/47° 31' 11" W). O clima é classificado como Koppens Cwa, úmido mesotermal subtropical, com inverno seco e verão quente e úmido. A precipitação anual é de 1220 mm ano<sup>-1</sup> e a temperatura média de 22,5°C. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 2006 – Tabela 1). A colheita foi realizada de forma mecanizada, sem queima da palha, e as análises foram conduzidas após o primeiro ciclo da cultura. As parcelas foram instaladas em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por 7 linhas de cana-de-açúcar com 15 metros de comprimento e espaçamento entrelinhas de 1,5 m.

**Tabela 1.** Atributos do solo na área experimental sob diferentes métodos de aplicação de N-fertilizante antes do início do ensaio.

Atributos	Método	Unidade	Camada do solo			
			0 - 0,1m	0,1 - 0,2m	0,2 - 0,4m	0,8 - 1,00m
P	Resina	mg dm <sup>-3</sup>	40,0	39,0	12,0	8,0
M.O.	Oxidação	g dm <sup>-3</sup>	37,0	23,0	20,0	13,0
COT	-	g dm <sup>-3</sup>	21,0	13,0	12,0	8,0
pH	CaCl <sub>2</sub>	-	5,4	5,0	5,4	5,5
K	Resina	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,4	0,8	0,4	0,5
Ca	Resina	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	40,0	29,0	37,0	38,0
Mg	Resina	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	29,0	19,0	14,0	12,0
H+Al	-	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	40,0	38,0	28,0	20,0
CTC	-	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	110,4	86,8	80,2	70,5
V		%	64	56	64	72
Argila	HMFS+NaOH	g kg <sup>-1</sup>	492,0	494,0	-	574,0
Areia	HMFS+NaOH	g kg <sup>-1</sup>	209,0	201,0	-	210,0
Silte	HMFS+NaOH	g kg <sup>-1</sup>	136,0	122,0	-	63,0

**M.O.:** matéria orgânica; **COT:** carbono orgânico total; **CTC:** capacidade de troca catiônica; **V:** índice de saturação por bases.

Para avaliação do efeito das diferentes formas de aplicação de fertilizante nitrogenado foram estabelecidos os seguintes tratamentos: 1) controle (sem aplicação de N); 2) aplicação superficial sobre a palha ao lado linha de cana-de-açúcar; 3) aplicação abaixo da camada de palha ao lado da linha; 4) aplicação incorporada ao solo (a 0,1 m de profundidade no lado da linha). Os detalhes de manejo adotados para os dois anos agrícolas estão descritos na tabela 2.

**Tabela 2.** Manejo cultural e fertilização nas safras consecutivas 2014/15 e 2015/16 sob diferentes métodos de N-fertilização.

Manejo	Safras	
	2014/2015	2015/2016
Variedade	RB855156	-
Plantio da cana-de-açúcar	12 de Janeiro de 2013	-
Ciclo da cana-de-açúcar	1º Soqueira	2º Soqueira
Fonte de N-fertilizante	Nitrato de amônio (líquido)	Sulfato de amônio (granulo)
Data de instalação experimento	23 de Maio de 2014	06 de Outubro de 2015
Colheita da cana-de-açúcar	29 de Maio de 2015	08 de Abril de 2016
Dose de N-fertilizante	100 kg N ha <sup>-1</sup>	100 kg N ha <sup>-1</sup>
Dose de Super Fosfato triplo	-	120 kg P ha <sup>-1</sup>
Dose de Cloreto de Potássio	-	100 kg K ha <sup>-1</sup>

A produtividade da cana-de-açúcar foi determinada em três linhas de 15 metros por meio de uma colhedora de cana (modelo Case 8.800). A aferição do peso colhido foi realizada por meio de um transbordo instrumentado com célula de carga. Utilizou-se 10 colmos para a análise tecnológica da cana-de-açúcar, seguindo a metodologia descrita por FERNANDES *et al.* (2003).

Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA por meio da análise fatorial comparando tratamentos dentro de cada evento amostral. Quando significativo, as médias foram comparadas pelo Teste t ( $p < 0.10$ ). As análises foram realizadas com auxílio do programa SISVAR 9.0.

## Resultados

As formas de aplicação do N fertilizante na soqueira de cana-de-açúcar impactaram positivamente, promovendo incrementos na produtividade de colmos (TCH), açúcar (TPH), e quantidade de pol da cana nos dois ciclos de avaliação do experimento (Tabela 3).

**Tabela 3.** Efeito das diferentes formas de aplicação do N-fertilizante na produtividade de colmos (TCH), de açúcar (TPH), e qualidade tecnológica (POL) em soqueira de cana-de-açúcar.

Tratamentos	TCH			POL		TPH		
	2015	2016	Soma	2015	2016	2015	2016	Soma
Controle	72 c	77 b	149 c	16,7 c	17,1 a	12,0 c	13,1 b	25,2 b
N-superficial	84 b	81 b	165 b	17,2 bc	16,0 ab	14,6 b	12,9 b	27,4 b
N-sob a palha	96 a	90 a	186 a	18,2 a	15,2 b	17,5 a	13,7 b	31,2 a
N-incorporado	100 a	90 a	191 a	17,7 ab	16,9 a	17,8 a	15,2 a	33,0 a
DMS	10	9	13	0,7	1,1	1,9	1,5	2,4
CV	7,5	6,8	4,7	2,4	4,3	7,9	6,9	5,3

**OBS:** Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro de cada coluna; TCH - Toneladas de colmos por hectare; TPH- Toneladas de Pol por hectare.

A aplicação do N-fertilizante também proporcionou maior TCH e TPH quando comparado aos locais com e sem aplicação do N-fertilizante (Tabela 3). Independentemente da forma de aplicação, as parcelas adubadas obtiveram um acréscimo de 21% na TCH (32 Mg ha<sup>-1</sup>) em relação ao tratamento controle no somatório dos dois ciclos de cultivo. Para a TPH, somados os resultados obtidos nos dois anos de avaliação, se observou um acréscimo nas parcelas adubadas de 21% (5,3 Mg Pol ha<sup>-1</sup>).

Considerando as produtividades obtidas nos dois anos agrícolas, a aplicação incorporada ao solo do fertilizante nitrogenado possibilitou acréscimo na TCH e TPH, respectivamente, de 16% (26 Mg ha<sup>-1</sup>) e 20% (5,6 Mg ha<sup>-1</sup>). Resultados semelhantes também foram observados ao se comparar a aplicação sob a palha com a aplicação superficial, na qual os acréscimos obtidos na TCH foram de 13% (21 Mg ha<sup>-1</sup>) e TPH com 14% (3,8 Mg ha<sup>-1</sup>). Apesar de expressivo ganho de TPH, de acordo com o modo de aplicação, o mesmo não foi obtido no parâmetro tecnológico pol da cana (Tabela 3), o qual somente apresentou diferença a favor da aplicação incorporada ou sob a palha no primeiro ano (2015).

Apesar de não ter ocorrido diferenças entre a aplicação incorporada e a aplicação sob a palha, a prática de incorporar o fertilizante nitrogenado a 0,1m de profundidade, estando esse mais próximo ao sistema radicular da cultura, possibilitou acréscimo de 3% na TCH (5 Mg ha<sup>-1</sup>) e 6% na TPH (1,8 Mg Pol ha<sup>-1</sup>).

### Resultados e Discussão

A aplicação do N-fertilizante apresentou ganhos expressivos na TCH e TPH da cana-de-açúcar como já fora demonstrado em outros trabalhos (FORTES *et al.*, 2013; CASTRO *et al.*, 2014, 2016). Desse modo, a disponibilidade de N é fator primordial para a elevar a produção de colmos da cana-de-açúcar (TRIVELIN, 2000).

Trabalhos que avaliaram o efeito do modo de aplicação do fertilizante na soqueira de cana-de-açúcar são escassos na literatura (MANECHINI, 2000; CASTRO *et al.*, 2016), embora todos os resultados sejam semelhantes ao ocorrido no presente trabalho, demonstrando assim, que a aplicação incorporada ou sob a palha do N-fertilizante possibilita maiores ganhos produtivos. A justificativa para tal fato pode estar associada ao posicionamento e volume de solo ocupado pelo sistema radicular, já que estudos demonstram que a cana-de-açúcar apresenta um vigoroso sistema radicular, com raízes presentes de 1 a 2 metros de profundidade (SMITH *et al.*, 2005). OTTO *et al.* (2009b) mostraram que 87% do volume de raízes da soqueira de cana-de-açúcar se concentram nos primeiros 0,4m de profundidade do solo, e 43% das raízes estão a uma distância horizontal da soqueira de cana-de-açúcar de até 0,3m. Nesse sentido, a aplicação incorporada do N-fertilizante permite um maior contato das raízes com o grânulo, ao passo que, na aplicação superficial toda a camada de palha tem que ser transposta pelos grânulos até esses atingirem a superfície do solo.

Devido ao ciclo vegetativo da cana-soca ser longo, de aproximadamente 12 meses, no início do período chuvoso (primavera-verão) ocorre um rápido desenvolvimento e estabilização do sistema radicular da cana-de-açúcar (SMITH *et al.*, 2005), fase essa que coincide com o aumento da brotação e perfilhamento da soqueira. Assim, nesse estágio é grande a demanda de nitrogênio pela planta, sendo que a alocação do nutriente próximo ao sistema radicular permite maior contato com as raízes, promovendo maior eficiência de utilização do nutriente pela planta (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Além disso, o maior crescimento das raízes pode favorecer a produtividade das soqueiras subsequentes. VITTI *et al.* (2007) constataram efeito residual da adubação nitrogenada de terceira soca na produtividade da quarta soca, proporcionado pelo maior crescimento das raízes e maior acúmulo de nutrientes nas raízes nos tratamentos em que houve aplicação de N. Nesse contexto, a aplicação incorporada é capaz de colocar o fertilizante diretamente em contato com o sistema radicular, sem haver necessidade de ocorrer precipitações ou outros eventos que favoreçam o transporte e chegada do nutriente até as raízes.

Ao longo dos ciclos agrícolas avaliados, apenas no primeiro ano a POL da cana diferiu em relação a aplicação do N (Tabela 3), sendo que resultado semelhante também foi apresentado por PENATTI (2014). MANECHINI (2000), trabalhando com aplicação de nitrogênio em duas formas distintas - superficial e na entrelinha da cultura, em quatro áreas por dois anos consecutivos - constatou que apenas em uma das áreas a POL da cana diferiu, na qual a aplicação superficial na linha da cana-de-açúcar apresentou maior pol (pol%cana). CASTRO *et al.* (2016) avaliando a aplicação superficial e incorporada do N-fertilizante não obteve diferenças na pol da cana, demonstrando assim que a qualidade tecnológica da matéria prima é pouco afetada pelo modo de aplicação do N-fertilizante. Nesse contexto, o acréscimo obtido na TPH pode estar mais associado ao resultado obtido na TCH, devido ao fato de se considerar a TCH obtida no cálculo da TPH.

### Conclusão

A aplicação de N promove ganhos na produtividade de colmos e açúcar da cana-de-açúcar. O modo de aplicação do N-fertilizante possibilita maximizar o aumento da TCH e TPH da cultura, pois a aplicação incorporada ao solo ou sob a palha do N-fertilizante apresenta maiores produtividades de colmo (23 Mg ha<sup>-1</sup>) e açúcar (5 Mg pol ha<sup>-1</sup>) quando comparada a aplicação superficial a palha.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa de Pós-doutorado ao primeiro autor e pelo financiamento de parte dos resultados desse trabalho (Chamada Universal CNPq Processo449688/2013-6), assim como a Usina Iracema (Grupo São Martinho) pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho em todas as etapas de campo.

### Referências Bibliográficas

ALLEN, D.E.; KINGSTON, G.; RENNENBERG, H.; DALAL, R.C.; SCHMIDT, S. Effect of nitrogen fertilizer management and water-logging on nitrous oxide emission from subtropical sugarcane soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 136, p. 209–217, 2010.

- AMADUCCI, M.T.; BARBANTI, L.; VENTURI, G. Comparing application methods for N-fertilizer in the sugar beet crop. **Italian Journal of Agronomy**, v.1, p.51-61, 2006.
- BERES, B.L.; HARKER, K.N.; CLAYTON, G.W.; BREMER, E.; O'DONOVAN, J.T.; BLACKSHAW, R.E.; SMITH, A.M. Influence of N fertilization method on weed growth, grain yield and grain protein concentration in no-till winter wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 90, p.637-644, 2010.
- CASTRO, S.G.Q.; DECARO JR., S.T.; FRANCO, H.C.J.; MAGALHÃES, P.S.G.; MUTTON, M.A. Best Practices of Nitrogen Fertilization Management for Sugarcane Under Green Cane Trash Blanket in Brazil. **Sugar Tech**, 2016. DOI 10.1007/s12355-016-0443-0.
- CASTRO, S.G.Q.; FRANCO, H.C.J.; MUTTON, M.A. Harvest managements and cultural practices in sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.299-306, 2014.
- CERRI C.C.; GALDOS M.V.; MAIA S.M.F.; BERNOUX M.; FEIGL B.J.; POWLSON D.; CERRI C.E.P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p..23-28, 2011.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa**, 2006. 306p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 402 p.
- FERNANDES, A.C. Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar. 2.ed. Piracicaba: **STAB**, 2003. 240 p.
- FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; VITTI, A.C.; FORTES, C.; FARONI, C.E.; GARSIDE, A.L.; TRIVELIN, P.C.O. Contribution of N from green harvest residues for sugarcane nutrition in Brazil. **Global Change Biology Bioenergy**. 2015. doi: 10.1111/gcbb.12292
- FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E. Nitrogen responses in the agro industrial production of sugarcane under reduced tillage in southeastern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.88-96, 2013
- FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; FORTES, C.; FERREIRA, D.A.; KOLLN, O.T.; GARSIDE, A.L.; TRIVELIN, P.C.O. Residual recovery and yield performance of nitrogen fertilizer applied at sugarcane planting. **Scientia Agricola**, v. 72, n.6, p. 528-534, 2015.
- FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O., FARONI, C.E., VITTI, A.C., OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v. 67, p.579-590, 2010.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1347-1354, 2001.
- MANECHINI, C. Cultivo mecânico da soqueira de cana colhida sem queimar (condensado da experiência acumulada). Relatório Interno Coopersucar - **Projeto Cana crua**, Piracicaba - SP. 2000.10p.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p.276-374.
- OLIVEIRA, E.C.A.; GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, v.000, p.1-12, 2013. doi: 10.1002/jpln.201200133.
- OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. Root system distribution of sugarcane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.601-611, 2009a.
- OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p.398-405, 2009b.
- PENATTI, C.P. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência. Ottoni (Ed.), Itu - SP, Brasil. 2014. 347p.
- SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, p.169-183, 2005.
- TRIVELIN, P.C.O. Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com o uso do traçador 15N. 143p. Tese (Livre-Docência) – **Centro de Energia Nuclear na Agricultura**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.287-293, 2011.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 491-498, 2007.

# FITOSSANIDADE



## DETERMINAÇÃO DA DOSE LETAL DE IRRADIAÇÃO EM GEMAS GERMINADAS DE CANA DE AÇÚCAR (*SACCHARUM SPP*)

Luis Fernando Sanglade Marchiori<sup>1</sup>; Valter Arthur<sup>2</sup>; Fábio Cesar da Silva<sup>3,1</sup>; Mariane Soares Raposo<sup>4</sup>; Gael Silvia Penaranda Liendo da Silva<sup>5</sup>; Talita Gabriela Goia<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>.Professor doutor, Faculdade Fatec Piracicaba - Dep. Roque Trevisan, em Piracicaba, SP

<sup>2</sup>.Professor doutor, Universidade de São Paulo (USP). Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, SP

<sup>3</sup>.Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e professor da Fatec Piracicaba, Piracicaba, SP

<sup>4</sup>.Agência Inova Paula Souza, em Campinas, SP

<sup>5</sup>.Acadêmica: Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – FATEC, Piracicaba, SP

<sup>6</sup>.Eng. Química, doutoranda na FEQ/Unicamp, Campinas, SP

sanglade.lf@usp.br

### Resumo

Com o intuito de aumentar e melhorar a produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), se faz necessário o uso de técnicas de melhoramento da cultura. Uma dessas técnicas é o uso de doses de radiação a fim de causar mutações genéticas e fenotípicas no indivíduo. Para determinação da dose letal, ou seja, a menor dose que apresenta alto índice de mortalidade foi separada gemas germinadas em 13 grupos contendo 32 gemas cada da variedade SP 803280 obtidas de soqueira de terceiro corte cultivada na Fazenda Areão da ESALQ - USP, sendo que 12 desses grupos receberam radiação gama obtida do Cobalto-60 ( $Co^{60}$ ) e um grupo foi usado como testemunha. As taxas variam em 25 Grey (GY) = Joules/Kg, sob tempos diferentes, onde a menor taxa foi de 25 e a maior foi de 300 GY. Após a irradiação, os resultados mostraram que a dose letal encontra-se entre as taxas de 25 e 50 GY, ou seja, nesse intervalo estão as menores doses que apresentam pelo menos 50% de mortalidade.

**Palavras-chaves:** gramíneas, radiação ionizante, dose letal.

### Summary

In order to increase and improve the productivity of sugarcane (*Saccharum spp.*), the use of crop improvement techniques is necessary. One such technique is the use of levels of radiation to cause genetic and phenotypic changes in the individual. To determine the lethal dose, ie the lowest dose that has a high mortality rate, germinated gems were separated in 13 groups containing 32 gems each of the variety SP 803280 obtained from ratoon third cut cultivated in farm Areão ESALQ - USP, where 12 of these groups received gamma radiation obtained from cobalt-60 ( $Co^{60}$ ) and one group was used as control. Rates range 25 Gray (Gy) = Joules / kg, at different times, where the lower rate was 25 and the highest was 300 Gy. After irradiation, the results showed that the lethal dose is between rates 25 and 50 Gy, or in that range are the smaller levels that have at least 50% mortality.

**Keywords:** grasses, ionizing radiation, lethal dose.

### Introdução

A cana-de-açúcar é uma planta alógama do gênero *Saccharum*, originária do Sudeste Asiático, na grande região central da Nova Guiné e Indonésia (DANIELS e ROACH, 1987). Os maiores produtores são Brasil, Índia, China, Tailândia, Paquistão, Austrália, México e Cuba. Essa cultura era considerada até recentemente como pertencendo à família das gramíneas, mas estudos taxonômicos de Cronquist (1981) determinam que a cana-de-açúcar pertença a família das *Poaceae*, mas mantém todas as demais denominações abaixo na chave taxonômica (tribo, subtribo, gênero e espécie) (SILVA et al., 2015).

Há uma busca em selecionar variedades mais produtivas e resistentes a doenças, o que os programas de melhoramento por meio de cruzamento dirigido aumenta a probabilidade de recombinações genéticas que resultem em genótipo de maior relevância (MACHADO JUNIOR et al., 2015), mas tem-se que selecionar as plântulas superiores em uma população de milhares centenas de milhares de plantas. O trabalho pioneiro de Vieira (1984) utilizou-se de gemas da parte reprodutiva da cultura exposta à radiação ionizante para alterações monogênicas ou oligogênicas, se prefere à irradiação da parte reprodutiva, em especial a gema esta localizada no entrenó da cana-de-açúcar e segundo CESNIK E MIOQUE (2004) é formada de reentrâncias e de um poro germinativo que ao germinar emite um broto dando origem a um novo colmo. A propagação vegetativa da cana-de-açúcar é feita através da gema, onde toletes que possuem três gemas (podendo variar) são plantados e assim ocorre a germinação dos novos brotos.

O poro germinativo pode estar situado no ápice da gema, em seu terço superior ou ao redor de sua parte mediana, que recebe o nome respectivamente de apical, subapical e dorsal (CESNIK E MIOQUE, 2004). Quanto ao tamanho, a gema pode ser grande, média ou pequena e saliente, medianamente saliente ou achatada. Quanto ao aspecto a gema pode ser oval, alongada, pentagonal, retangular, romboide e triangular (CESNIK; MIOQUE, 2004).

A busca por variedades que apresentem maior teor de sacarose é muito antiga e a espécie que teve destaque para essa contribuição foi a *Saccharum officinarum*, que é responsável por grande parte da matéria-prima mundial (LANDELL e BRESSIANI, 2008).

Os programas de melhoramento de cana-de-açúcar têm como principal objetivo adquirir plantas com alta produtividade energética (açúcar, etanol e fibra). Para cada região as plantas são desenvolvidas para atender as necessidades edafoclimáticas das mesmas, para que hajam ganhos significativos em cada nicho de produção específica (LANDELL e BRESSIANI, 2008).

O uso da radiação gama como técnica de melhoramento em cana-de-açúcar iniciou-se a partir de 1956, embora os resultados não tenham sido divulgados. Posteriormente alguns centros de pesquisa fizeram uso de radiação gama e conseguiram comprovar seu potencial para induzir mutações na cultura (VIEIRA, 1984), como induzir a resistência ao vírus do mosaico e aumentar a fibra da cultura. VIEIRA (1984) relata que alguns pesquisadores fizeram uso da radiação gama em variedades de cana-de-açúcar e conseguiram mudanças morfológicas em plantas que apresentaram dificuldades de florescimento ou até mesmo o não florescimento. Ele também relata que Rao em 1973 obteve além de mutantes que não floresciam e um clone que produziu 48% a mais de açúcar. A radiação gama consiste na

liberação de energia em excesso presente no núcleo do átomo na forma de radiação eletromagnética com energia definida (quântica).

A irradiação acarreta em mudanças a nível celular no sistema biológico. A absorção da radiação pode ocasionar alterações químicas dos componentes celulares acarretando assim em consequências nas atividades das células. Essas mudanças funcionais das células provocam alterações no comportamento do indivíduo que foi submetido a tal técnica. Algumas dessas mudanças não são de fácil percepção necessitando assim que o indivíduo passe por uma ou mais fases do seu ciclo de vida (CARMO, 2013.).

Também pode ocasionar mudanças dos efeitos enzimáticos, no processo de síntese de ribose (RNA) e desoxirribose (DNA) e redução da fosforilação afetando o metabolismo energético. Com isso ocorre mudanças nas funções normais das células, inclusive a reprodução (CARMO, 2013). Segundo TRINDADE (2011), a irradiação é medida através da unidade Grey (Gy) que expressa a quantidade de energia (joules) que é emitida por massa de matéria (Kg), sendo 1Gy = 100J/Kg.

Um aspecto a ser considerado para a determinação da dose ótima é a frequência de mutação que é diretamente proporcional ao aumento da dose de irradiação (QUESADA, 1977, apud VIEIRA 1984). Segundo HARTEN (1991) a mutação pode ser definida como uma mudança hereditária de uma célula viva, que não é causada por fenômenos comuns de segregação ou recombinação genética.

Para utilizar de técnicas de radiação, se faz necessário conhecimento da dose letal para o organismo, ou seja, a menor dose em que ocorre a maior quantidade de mortes. Este trabalho teve como objetivo irradiar gemas germinadas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) com radiação gama obtida a partir do cobalto-60 ( $Co^{60}$ ) e assim conhecer a dose letal para cultura.

## Metodologia

### Material vegetal

Este trabalho foi realizado no período de julho a novembro de 2012, onde se utilizaram gemas germinadas de cana-de-açúcar da variedade SP803280, cultivada em campo na ESALQ – USP/Fazenda Areão. A cana-de-açúcar era cana soca de terceiro corte e com dez meses de ciclo, esta variedade tem como características alto teor de sacarose e produtividade em soqueira; o seu perfilhamento é intermediário e o fechamento das entrelinhas é bom, devido ao crescimento inicial vigoroso; floresce, no entanto apresenta pouca isoporização; seu teor de fibra é alto, o tombamento é regular e a exigência em fertilidade do solo é média; tem boa brotação de soqueira; apresenta sensibilidade média a herbicidas e resistência ao carvão, mosaico, ferrugem e é tolerante à escaldadura; não tem mostrado sintomas da síndrome do amarelecimento; apresenta suscetibilidade à broca (COPLACANA, 2011). A irradiação foi realizada na CENA/USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – campus Luiz de Queiroz - Piracicaba.

### Aplicação da irradiação

As canas foram colhidas e picadas deixando apenas a região nodal que contém a gema, e assim foram colocadas em caixas contendo areia para que germinassem. As gemas foram postas para germinar para que o tratamento seja aplicado em plântulas com o mesmo estágio vegetativo de desenvolvimento. Após a germinação em caixa de areia, foram separadas as plantas e colocadas em sacos plásticos formando treze grupos com 32 plantas cada. Após separadas foram levadas para o CENA e irradiadas sob diferentes tempos e foram aplicadas 12 doses diferentes começando com 25 GY (4 min. e 24 seg.), 50 GY (8 min. 49 seg.), 75 GY (13min. e 13 seg.), 100 GY (17 min. e 38 seg.), 125 GY (22 min. e 2 seg.), 150 GY (26 min. e 27 seg.), 175 GY (30 min. e 51 seg.), 200 GY (35 min. e 16 seg.), 225 GY (39 min. e 41 seg.), 250GY (44 min. e 5 seg.), 275 GY (48 min. e 30 seg.) e 300 GY ( 52 min. e 54 seg.) e 1 grupo ficou como testemunha. Depois de irradiadas as gemas foram plantadas em bandeja, onde cada grupo foi colocado em bandejas distintas para posteriores avaliações.

### Resultados e Discussões

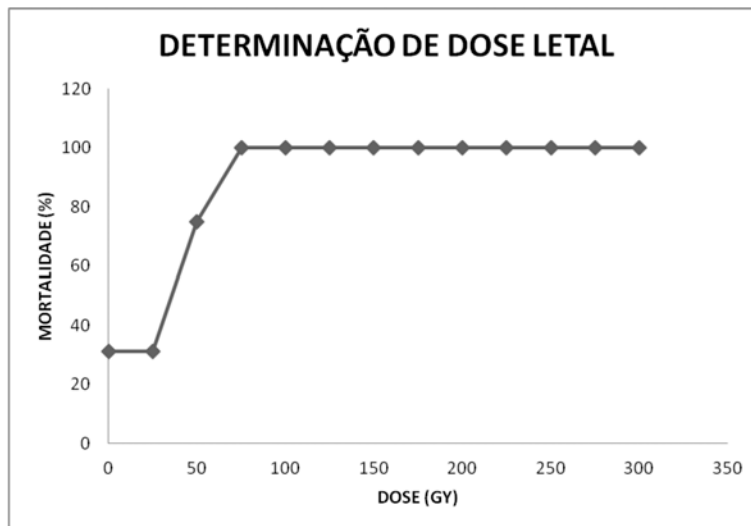
Com o intuito de aumentar e melhorar a produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), se faz necessário o uso de nova técnicas de melhoramento da cultura, no qual o trabalho foi testado a utilização de doses de radiação a fim de causar mutações genéticas e fenotípicas no indivíduo, o que já foi demonstrado por Vieira (1984) ser viável para induzir a resistência ao vírus do mosaico da cana de açúcar utilizando –se à irradiação com gama na dose de 5,5 kR (~ 55 GY) na gema da cana. Para determinação da dose letal, ou seja, a menor dose que apresenta alto índice de mortalidade foi testando-se à dose crescente de 25 a 300 GY aplicada sobre as gemas separadas germinadas em 13 grupos contendo 32 gemas cada da variedade SP 803280 Na tabela 1, apresenta-se o acompanhamento das plântulas que foram submetidas a irradiação gama e comparando-as com a testemunha foi possível notar que ocorreu início de crescimento basicamente em todas, porém no decorrer dos dias as gemas que receberam as doses maiores não prosseguiram com o desenvolvimento e morreram. Na contagem final após 118 dias da irradiação, as plântulas apresentaram a seguinte taxa de mortalidade (Tabela 1), o que fica evidente que há potencial de utilização da irradiação de gemas em dosagem inferior a 50 GY.

**Tabela 1. Doses de radiação gama e a taxa de sobreviventes e mortalidade das plântulas das gemas.**

Doses (GY)	Sobreviventes(%)	Mortalidade(%)
0	62,00	31,25
25	62,00	31,25
50	25,00	75,00
75	0,00	100,00
100	0,00	100,00
125	0,00	100,00
150	0,00	100,00
175	0,00	100,00
200	0,00	100,00
225	0,00	100,00
250	0,00	100,00
275	0,00	100,00
300	0,00	100,00

Na (Figura 1), tem-se a curva de mortalidade é crescente e após isso, fica constante, ou seja, com o aumento da dose ocorreu o aumento da taxa de mortalidade, o que segundo Vieira (1984) seria suficiente para induzir a resistência ao vírus do mosaico.

Figura 1. Curva de mortalidade das plântulas de cana-de-açúcar irradiadas em doses crescentes.



#### Conclusão

Com as observações feitas durante o desenvolvimento das gemas irradiadas foi possível concluir que a dose de 25 Gy é segura para irradiação da cana-de-açúcar. A dose de 50 Gy e as demais apresentaram alto índice de mortalidade.

Novos estudos devem ser elaborados visando determinar a dose letal com intervalos mais estreitos, uma vez que a dose letal está entre as doses de 25 e 50 Gy.

#### Referências Bibliográficas

- CARMO, L. F. **Efeito das radiações ionizantes sobre os microrganismos**. Concórdia: Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA- USP). Apostila, 2013.
- CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Botânica**. In: CESNIK, R.; MIOCQUE, J.(Ed.), Melhoramento da cana-de-açúcar. Brasília, Embrapa Informação Tecnológico, 2004. p 37-38.
- COPLACANA. **Características agrônomicas das variedades SP**. Disponível em: [http://www.coplana.com/gxpsites/hgxp001.aspx?1,5,316.O.P.O.M.NU.E:32;5:MNU](http://www.coplana.com/gxpsites/hgxp001.aspx?1,5,316.O.P.O.M.NU.E:32;5:MNU;); Acesso em: 14 nov, 2012.
- DANIEL, J.; ROACH, B. T. **Taxonomy and evolution**. In: HEINZ, D. J (Ed). Sugarcane improvement through breeding. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.
- HARTEN, A.M. **The beginning of mutation breeding**. In: Plant Mutation Breeding for Crop Improvement. 1990, Vienna. Jointly organized by iaea and fao/International atomic energy agency, Vienna, 1991.
- LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A.(Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 101-155.
- MOZAMBANI, A.E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et al. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Cadernos Planalsucar. 2006.p.11-18.
- SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDO MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana de açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, p. 47-56.
- TRINDADE. **Como medir a radiação ionizante**. 2011. Disponível em: <http://ianalitica.wordpress.com/aplicacoes-com-analises-industriais/emissoes-atmosfericas/radiacao-ionizante/como-medir-a-radiacao-ionizante/>. Acesso em : 13 nov.2012.
- VIEIRA, M. A. S. **Indução de mutações, através de raios gama, visando resistência ao vírus do Mosaico da cana-de-açúcar**. Dissertação. UNICAMP: Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, 78p. 1985.
- CRONQUIST, A.. **An Integrated System of Classification of Flowering Plants**. New York, Columbia Univ. Press. 1262 p. 1981.
- SILVA, F. C. da; ALVES, B. J. R. ; FREITAS, P. L. (Org.) . **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2015. v. 1. 586p .
- MACHADO JUNIOR, G.R.; MATSUOKA, S.; RAIZER, A.J.; LANDELL, M.G. de A.; SANTOS, E.G.D. dos; SIMÕES NETO, D.G.; OLIVEIRA, R.A. de Melhoramento da cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C. da; ALVES, B. J. R. ; FREITAS, P. L. Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2015. v. 1. 114-175 p.

## INVESTIGAÇÃO DO PERFIL DE METILAÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB INFECÇÃO COM O *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) –Rib1

Marcel F. da Silva<sup>1,3</sup>, Marcos C. Gonçalves<sup>2</sup>, Cibele Nataliane Facioli Medeiros<sup>1</sup>, Michael dos Santos Brito<sup>1</sup>, Silvana Creste<sup>1</sup>, Luciana Rossini Pinto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Agronômico, Centro de Cana Iac, Ribeirão Preto, SP

<sup>2</sup>Instituto Biológico, Centro P&D Sanidade Vegetal, Laboratório De Bioquímica Fitopatológica, São Paulo, SP

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista, Departamento De Produção Vegetal, Campus De Jaboticabal, Jaboticabal, SP

lurossini@iac.sp.gov.br

### Resumo

Processos epigenéticos como metilação de DNA podem estar envolvidos na relação patógeno/hospedeiro e regular a expressão de genes responsivos à infecção pelo *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) agente causal do mosaico e uma das principais viroses da cana-de-açúcar. O presente trabalho teve como objetivo avaliar mudanças no padrão de metilação em duas cultivares de cana-de-açúcar (IAC911099, e IAC-SP955000, suscetível e resistente ao SCMV, respectivamente) por meio da técnica MSAP (*Methylation-sensitive amplified polymorphism*), quando inoculadas com o vírus. Após a avaliação de quatro combinações seletivas de primers foram obtidos 150 locos, dos quais 92 foram suscetíveis a metilação (MSL) e 58 não apresentaram metilação (NML). O polimorfismo ocasionado pela interação com o SCMV e entre cultivares foi de 48% para MSL, enquanto o polimorfismo entre cultivares em NML também foi de 48%. As cultivares se diferenciaram de forma significativa quanto ao nível de metilação genômica ( $\Phi_{ST} = 0,4517$ ;  $P = 0,0012$ ) e também nos locos sem metilação ( $\Phi_{ST} = 0,8155$ ;  $P = 0,0067$ ). A análise por coordenadas principais (PCoA) revelou maiores alterações em MSL no cultivar suscetível, sugerindo que o vírus pode causar maior instabilidade em seu genoma.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, mosaico, epialelos

### Abstract

Epigenetic processes such as DNA methylation may play a role in host/pathogen interactions and regulate the expression of *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) responsive genes in sugarcane, the causal agent of mosaic and one of the main viruses infecting the crop. The present work aimed to evaluate changes in methylation pattern of two contrasting sugarcane cultivars in terms of resistance to SCMV (IAC911099, susceptible; and IACSP955000, resistant) after mechanical virus inoculation and sample collection 24, 48 and 72 hours post inoculation (hpi) by MSAP (*Methylation-sensitive amplified polymorphism*) technique. After the evaluation of four primer selective combinations, 150 loci were obtained, 92 were classified as methylation susceptible loci (MSL) and 58 as non-methylated loci (NML). Percentage of MSL polymorphism caused by SCMV/host interaction and between cultivars scored 48%, while polymorphism between cultivars in NML was also 48%. Cultivars differed significantly in MSL ( $\Phi_{ST} = 0.4517$ ;  $P = 0.0012$ ) and NML ( $\Phi_{ST} = 0.8155$ ;  $P = 0.0067$ ). Principal coordinate analysis (PCoA) showed higher alterations in MSL in the susceptible cultivar, suggesting a higher effect of the virus in its genome stability.

**Keywords:** sugarcane, mosaic, epialleles

### Introdução

Estudos recentes têm mostrado diversas alterações na expressão gênica envolvendo processos como metilação de DNA, interferência de RNA [RNAi] e modificação de histonas e proteínas remodeladoras da cromatina (TCHURIKOV, 2005). Essas alterações formam um sistema que promove a regulação gênica e a adaptabilidade a estímulos externos, de natureza biótica ou abiótica, de forma independente de modificações na sequência de DNA, sendo conhecidas, em um sentido amplo, como epigenética (FEIL; FRAGA, 2012).

Modificações epigenéticas podem fornecer alternativas de variação fenotípica de forma rápida, reversível e prontamente disponível, sendo modeladas pelas pressões de seleção sobre patógeno e hospedeiro (BONDURIANSKY; DAY, 2009).

Até o presente, a metilação de DNA tem sido o processo epigenético mais conhecido, em parte devido à facilidade de estudo e à tecnologia disponível. Em plantas, a metilação é comumente detectada em sítios de sequência CpG, CpHpG e CpHpH (com H sendo A, T ou G), ocorrendo por meio da adição covalente de um grupo metil ao carbono 5' da citosina, catalisada enzimaticamente, com alterações no processo de transcrição ou na estrutura da cromatina. A influência de variações no padrão de metilação tem sido observada em importantes caracteres agronômicos, como tempo de florescimento e altura da planta (FIELDES *et al.*, 2005), produção (TANI *et al.*, 2005) e resistência a estresses bióticos (BOYKO *et al.*, 2007) e abióticos (GARG *et al.*, 2015). Em termos de marcadores, o marcador molecular mais comumente utilizado é o MSAP (*Methylation Sensitive Amplification Polymorphism*), uma variação da técnica de AFLP com a utilização dos isosquízômeros HpaII e MspI (CERVERA *et al.*, 2002). Essas enzimas de restrição apresentam o mesmo sítio de restrição (5'-CCGG<sup>3'</sup>), porém exibem sensibilidade diferente à metilação.

O mosaico da cana-de-açúcar é uma das principais doenças da cultura da cana-de-açúcar, com registros em praticamente todos os países produtores (GONÇALVES *et al.*, 2012). No Brasil, o *Sugarcane mosaic virus* (SCMV), espécie do gênero *Potyvirus*, família *Potyviridae*, é o único agente causal da doença (GONÇALVES *et al.*, 2012). O mosaico é responsável por diversos impactos econômicos na cultura, com prejuízos desde a redução na eficiência fotossintética a reduções em vários parâmetros de crescimento e produção (VISWANATHAN; BALAMURALIKRISHNAN, 2005) sendo o seu controle realizado principalmente com o uso de cultivares resistentes. A compreensão de efeitos reguladores da expressão gênica durante a infecção viral é importante para a caracterização genética da resistência da cana-de-açúcar ao SCMV, havendo poucas informações a respeito até o momento. O presente trabalho teve como objetivo investigar as alterações no perfil de metilação do DNA em cana-de-açúcar em resposta à inoculação do SCMV.

### Material e Métodos

O estudo foi realizado partir de amostras foliares de duas cultivares indexadas de cana-de-açúcar contrastantes quanto à resistência ao SCMV, IACSP955000 (resistente) e IAC911099 (suscetível) as quais foram previamente inoculadas mecanicamente com o isolado viral SCMV Rib-1 (MEDEIROS *et al.*, 2014). A parcela experimental consistiu em seis plantas, em três tempos de coleta (24, 48 e 72 horas) após a inoculação com uma estirpe agressiva do SCMV (Rib<sup>-1</sup>), mais os respectivos controles sem inoculação, em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em condições de casa de vegetação.

### Extração do DNA Genômico Total

O DNA genômico total foi extraído de 150 mg de tecido vegetal de cada tratamento, segundo o método do CTAB (HOISINGTON; KHAI-RALLAH; GONZÁLEZ-DE-LEÓN, 1994) e quantificado na presença de um padrão de DNA do fago λ, em gel de agarose 0.8% (p/v) corado com brometo de etídio.

### Obtenção de Marcadores MSAP

Os marcadores MASP foram obtidos de acordo com Lei *et al.* (2006) utilizando o mesmo protocolo dos marcadores do tipo AFLP, adaptados para cana-de-açúcar no Laboratório de Biologia Molecular do Centro de Cana (IAC) de Ribeirão Preto. A digestão dupla com a enzima de restrição EcoRI (corte raro) foi realizada em duas situações: em combinação com as enzimas HpaII e MspI a partir de 250 ng de DNA genômico.

Os produtos amplificados das combinações seletivas foram separados por eletroforese vertical em gel desnaturante de poliacrilamida a 6% em tampão de corrida TBE (445 mM de Tris-base; 445 mM de ácido bórico; 10 mM de EDTA) pH 8,0. Os produtos das ampliações de duas combinações seletivas EcoRI(700)/MspI e EcoRI(800)/MspI foram misturados, acrescidos de tampão de amostra (LiCor, Bioscience), diluídos cinco vezes e desnaturados a 95°C por 5 minutos para separação em gel de poliacrilamida desnaturante a 6,0%, em genotipador de DNA (Infrared 4300 DNA Analyzer, LiCor Bioscience), utilizando iniciadores seletivos de EcoRI marcados com IR700 e IR800. Após a análise de 14 combinações seletivas, quatro foram selecionadas para análise estatística, com base no maior número de polimorfismos gerado.

### Análise Estatística

Os materiais em análise nessas quatro combinações foram avaliados quanto à presença e ausência de bandas por meio de comparações lado a lado dos perfis moleculares obtidos de cada tratamento (com inoculação e sem inoculação), de cada cultivar, em cada um dos tempos de coleta, nas digestões realizadas por EcoRI-MspII e EcoRI-HpaI. Os quatro padrões possíveis (++/+, -/+ , +/- e -/-) representam ausência de metilação, semi-metilação da citosina externa, metilação da citosina interna, metilação completa ou ausência de sítio de restrição, respectivamente. Tais comparações permitiram estimar a porcentagem de alterações ocorridas nas sequências de DNA atribuídas às regiões de metilação, sendo os polimorfismos decorrentes da interação com o SCMV caracterizados como perda de metilação (hipometilação, -/+ ou +/-) ou ganho de metilação (hipermetilação, -/+ ou +/-) no motivo CCGG.

Com o uso do pacote R msap (PÉREZ-FIGUEROA, 2013) no programa R 3.0.3 (R Core Team 2014), um valor padrão de 0,05 foi adotado como limiar de erro específico de combinação de primers (threshold) em todas as combinações seletivas e os loci com frequências de metilação acima ou abaixo desse threshold foram classificados como locus suscetíveis à metilação (Methylation Susceptible Loci – MSL) e não metilados (*Non methylated loci* – NML), respectivamente. O conteúdo de informação em MSL e NML foi estimado por meio do índice de diversidade de Shannon, e as diferenças foram testadas por meio do teste da soma de postos de Wilcoxon (W) (PÉREZ-FIGUEROA, 2013). Os níveis genômicos de metilação, semimetilação e ausência de metilação foram estimados para cada material com base na frequência dos estados de metilação em MSL. As diferenciações entre modificações epigenéticas (MSL) e genéticas (NML) para as cultivares sob diferentes tratamentos foram visualizadas por coordenadas principais (PCoA).

### Resultados e Discussão

Um total de 150 loci, variando de 17 a 53 por combinação seletiva, foi avaliado nas 24 amostras das cultivares IAC911099 e IAC-SP955000. O número total de MSL (variações epigenéticas) foi de 92 e de NML (variações genéticas) 58. Apesar da técnica MSAP sub-estimar os níveis de metilação genômica por sua detecção ocorrer somente nos sítios CCGG, aproximadamente 60% dos loci apresentou metilação (Tabela 1). Gravitol *et al.* (2014) ao aplicarem uma técnica de filtragem de metilação no genoma da cana-de-açúcar, com o intuito de excluir sequências repetitivas, normalmente metiladas e pertencentes à heterocromatina, filtraram e excluiram 35% do genoma da cana-de-açúcar resultando em 1,5 vezes mais scaffolds e montagens 1,73 vezes maiores que dados não filtrados.

**Tabela 1.** Combinações seletivas usadas no marcador MSAP, número de loci, loci suscetíveis a metilação (MSL) e loci não metilados (NML) adotando valor threshold de 0,05 para erro específico de combinação de primer.

EcoRI	MspI/HpaII	Número de loci	MSL	NML
CTGCGTACCAATTCaca	GATGAGTCCTGATCGGacc	53	29	24
CTGCGTACCAATTCaca	GATGAGTCCTGATCGGtag	50	33	17
CTGCGTACCAATTCaca	GATGAGTCCTGATCGGttg	30	17	13
CTGCGTACCAATTCaca	GATGAGTCCTGATCGGaca	17	13	4
		150	92	58

Os polimorfismos ocasionados pela interação com o SCMV podem ter contribuído para os maiores valores MSL observados no presente trabalho, uma vez que 44 MSL (48%) foram polimórficos, com índice de diversidade de Shannon de  $I=0,53 \pm 0,13$ . Uma mesma proporção de polimorfismo foi observada para NML, onde 28 (48%) foram polimórficos, com  $I=0,57 \pm 0,18$  ( $W = 432$ ;  $P = 0,03$ ), revelando uma diversidade semelhante de epialelos, entre e dentro de cultivares, e de alelos entre as duas cultivares. A distinção entre metilação da citosina externa ou interna entre as duas cultivares em estudo é mostrada na (Tabela 2). É possível observar maiores alterações no padrão de metilação na IAC911099 com aumento na semimetilação (HPA+/MSP-) e diminuição na metilação da citosina interna (HPA-/MSP+).

**Tabela 2.** Níveis de metilação das cultivares IAC911099 e IACSP955000

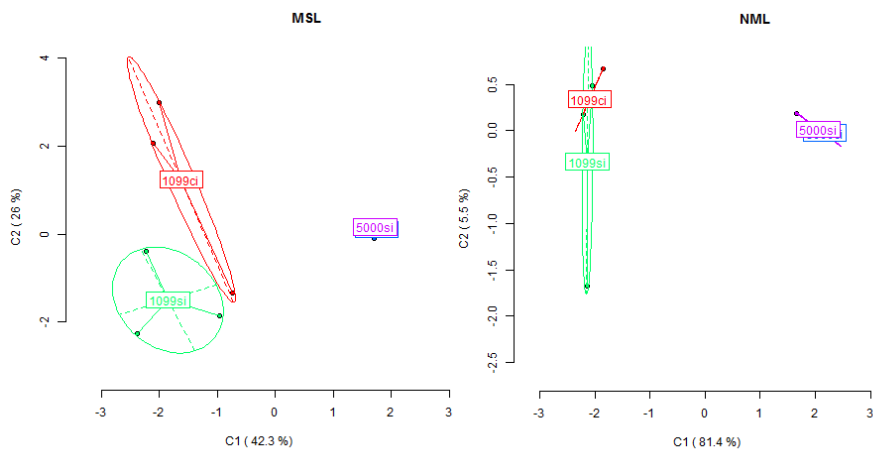
	IAC911099		IACSP955000	
	s/i	c/i	s/i	c/i
HPA+/MSP+ (ausência de metilação)	0,2609	0,1775	0,2138	0,2174
HPA+/MSP- (Semi-metilação)	0,1739	0,2464	0,1413	0,1449
HPA-/MSP+ (metilação da citosina interna)	0,2862	0,2572	0,3732	0,3478
HPA-/MSP- (metilação completa ou falta de sítio)	0,2790	0,3188	0,2717	0,2899

A análise de variância molecular (AMOVA), apresentada na (Tabela 3), revelou diferenças significativas entre grupos (cultivares) e dentro de grupos (tempo de coleta de amostra após a inoculação) para MSL (Phi\_ST = 0,4517; P= 0,0012) e NML (Phi\_ST = 0,8155; P= 0,0067). O índice de fixação (Phi\_ST), que varia de 0 a 1, sendo zero o completo compartilhamento de material genético, e 1 a ausência de compartilhamento, revelou uma maior diversidade genética (NML) em relação à epigenética (MSL). O método de melhoramento genético da cana-de-açúcar, envolvendo a hibridação de diferentes espécies, principalmente as pertencentes ao gênero *Saccharum*, pode explicar a diversidade observada dos epialelos entre as cultivares, uma vez que a complexa poliploidia dos híbridos promove a reorganização de sequências repetitivas, alvos do processo de metilação, podendo leva-las à amplificação do número de cópias (DOYLE *et al.*, 2008).

**Tabela 3.** Análise AMOVA para locos suscetíveis a metilação (MSL) e locos não metilados (NML) entre grupos (cultivar) e dentro de grupos (tempo de coleta após inoculação)

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Variância
<b>MSL</b>				
Entre grupos	3	51,57	17,26	4,095
Dentro de grupos	8	39,77	4,971	4,971
Total	11	91,54	8,322	8,322
<b>NML</b>				
Entre grupos	3	55,67	18,56	5,741
Dentro de grupos	8	10,67	1,333	1,333
Total	11	66,33	6,03	6,03

Diversos conjuntos de genes, no entanto, geralmente não acompanham o processo de aumento de cópias, e são ocasionalmente perdidos (ROULIN *et al.*, 2013) o que pode explicar o menor número de NML observado na (Tabela 1). As coordenadas principais em MSL explicaram 68,3% da variação total enquanto em NML foi de 86,9% e demonstram a capacidade destes fatores em determinar a formação de grupos (Figura 1). De acordo com a análise PCoA, cada cultivar formou um grupo distinto tanto em MSL como NML, também é possível observar que a cultivar suscetível ao vírus apresentou maiores alterações no padrão de metilação.

**Figura 1.** Representação da análise por coordenadas principais (PCoA) para variações origem epigenéticas (MSL) e genéticas (NML) entre cultivares sem inoculação e com inoculação.

Estresses de natureza biótica e abiótica podem promover a perda da metilação de DNA direcionada por RNA (RNA-directed DNA methylation, RdDM), a dispersão de elementos transponíveis e um novo processo de RdDM, alterando assim o perfil de metilação genômica

(MATZKE; MOSHER, 2014). A ativação de elementos transponíveis e sequências repetitivas podem afetar a estabilidade do genoma e aumentar o potencial adaptativo do hospedeiro (ROMANEL *et al.*, 2012), o que ocorreu com maior intensidade no cultivar suscetível, podendo caracterizar uma resposta defensiva. O'DONNELL *et al.* (2003) ressalta que diversos hospedeiros suscetíveis são capazes de ativar respostas defensivas, mas que não são rápidas ou intensas o suficiente para limitar a movimentação do vírus. As futuras caracterizações dos polimorfismos identificados neste trabalho fornecerão informações importantes para a compreensão da regulação da expressão gênica em resposta a presença do SCMV.

### Conclusões

O SCMV ocasionou alterações no perfil de metilação das cultivares em estudo, sendo a maior intensidade observada no cultivar suscetível, e a técnica MSAP foi eficiente na detecção destes polimorfismos.

### Referências Bibliográficas

- BONDURIANSKY, R.; DAY, T. Nongenetic inheritance and its evolutionary implications. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** 40: 103–125, 2009
- BOYKO, A.; KATHIRIA, P.; ZEMP, F.J.; *et al.* Transgenerational changes in the genome stability and methylation in pathogen-infected plants: (virus-induced plant genome instability). **Nucleic Acids Res**; 35(5):1714–25, 2007.
- CERVERA, M.T.; RUIZ-GARCIA L.; MARTINEZ-ZAPATER, J.M. Analysis of DNA methylation in *Arabidopsis thaliana* based on methylationsensitive AFLP markers. **Mol Genet Genom**; 268(4):543–52, 2002
- DOYLE, J.J.; FLAGEL, L.E.; PATERSON, A.H.; RAPP, R.A.; SOLTIS, D.E.; SOLTIS, P.S.; WENDEL, J.F. **Evolutionary genetics of genome merger and doubling in plants**. *Annu. Rev. Genet.* 42, 443–461, 2008.
- FELL, R.; FRAGA, M.F. Epigenetics and the environment: emerging patterns and implications. **Nature Reviews in Genetics** 13: 97–109, 2012.
- FIELDES, M.A.; SCHAEFFER, S.M.; KRECH, M.J.; *et al.* DNA hypomethylation in 5-azacytidine-induced early-flowering lines of flax. **Theor Appl Genet**; 111(1):136–49, 2005.
- GARG, R.; NARAYANA, C.V.V.S.; SHANKAR, R.; JAIN, M. Divergent DNA methylation patterns associated with gene expression in rice cultivars with contrasting drought and salinity stress response. **Nature, Scientific Reports** 5, Article number: 14922. Doi:10.1038/srep14922, 2015.
- GONÇALVES, M.C.; PINTO, L.R.; SOUZA, S.C.; LANDELL, M.G.A. Virus Diseases of Sugarcane. A Constant Challenge to Sugarcane Breeding in Brazil. **Functional Plant Science & Biotechnology** 6: 108-116, 2012.
- HOISINGTON, D.; KHAIRALLAH, M.; GONZÁLEZ-DE-LEÓN, D. Laboratory Protocols: CIMMYT. **Applied Molecular Genetics Laboratory**. CYMMYT, Mexico, p.51, 1994.
- LEI, C. P. *et al.* Analysis of tissue culture-derived regenerants using methylation sensitive AFLP. *As. Pac. J. Mol. Biol. Biotechnol.*, v.14 (2), p.47-55, nov. 2006.
- MEDEIROS, C., GONÇALVES, M., HARAKAVA, R., CRESTE, S., NÓBILE, P., PINTO, L., PERECIN, D.; LANDELL, M. Sugarcane Transcript Profiling Assessed by cDNA-AFLP Analysis during the Interaction with Sugarcane Mosaic Virus. **Advances in Microbiology**, 4, 511-520. doi: 10.4236/aim.2014.49057, 2014.
- O'DONNELL, P.J.; SCHMELZ, E.A.; MOUSSATCHE, P.; LUND, S.T.; JONES, J.B.; KLEE, H.J. **Susceptible to intolerance —a range of hormonal actions in a susceptible Arabidopsis pathogen response**. *Plant J.* 33, 245– 257, 2003.
- PÉREZ-FIGUEROA, A. msap: a tool for the statistical analysis of methylation-sensitive amplified polymorphism data. **Molecular Ecology Resources**. doi: 10.1111/1755-0998.12064, 2013.
- ROMANEL, E. *et al.* Global alteration of microRNAs and transposon-derived small RNAs in cotton (*Gossypium hirsutum*) during Cotton leafroll dwarf polerovirus (CLRVD) infection. **Plant Mol. Biol.** 80, 443–460, 2012.
- TANI, E.; POLIDOROS, A.N.; NIANIOU-OBEIDAT, I.; *et al.* **DNA methylation patterns are differentially affected by planting density in maize inbreds and their hybrids**. *Maydica*; 50:19–23, 2005.
- TCHURIKOV, N.A. **Molecular mechanisms of epigenetics**. *Biochem.* (Moscow), 70: 406-423, 2005.
- VISWANATHAN, R.; KARUPPAIAH, R.; BALAMURALIKRISHNAN, M. Impact of Mosaic Infection on Growth and Yield of Sugarcane. **Sugar tech**, Gandharva Mahavidyalaya, v. 7, n. 1, p. 61-65, 2005.

**REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR A *Meloidogyne javanica***

Leila Luci Dinardo-Miranda e Juliano Vilela Fracasso

Centro de Cana, Instituto Agrônômico (IAC), Ribeirão Preto (SP) Brasil

leiladinardo@iac.sp.gov.br

**Resumo**

Para avaliar a reação de novos genótipos de cana-de-açúcar, oriundos do Programa de Melhoramento Genético do IAC, à espécie *Meloidogyne javanica*, foram conduzidos quatro experimentos, usando vasos de 64 L, contendo solo arenoso, previamente tratado para eliminar prováveis populações de nematoides, e mantidos a céu aberto. Em cada experimento, de 11 a 13 genótipos foram avaliados, em comparação com a SP81-3250, utilizada como padrão de suscetibilidade. As plantas foram inoculadas com ovos e eventuais juvenis de segundo estágio do nematoide e cinco meses depois, foram cuidadosamente arrancadas dos vasos. As raízes foram então lavadas e pesadas e de cada planta retirou-se uma amostra de raízes para extração e contagem dos nematoides. Assim, os seguintes parâmetros foram obtidos: número de nematoides por grama de raízes e número de nematoides no sistema radicular, usado do cálculo do fator de reprodução. Entre os 48 genótipos estudados, as cultivares IACSP93-3046, IACSP94-4004 e IACSP97-4039 foram consideradas resistentes a *M. javanica*, por apresentarem fator de reprodução menor que 1, enquanto os demais comportaram-se como suscetíveis. Os fatores de reprodução registrados na SP81-3250 variaram de 1,2 a 7,5, variação atribuída às condições ambientais, especialmente temperatura, ocorridas durante o período de condução dos experimentos.

**Palavras-chave:** manejo de nematoides, resistência.

**Summary**

In order to evaluate the reaction of new sugarcane genotypes, obtained from the IAC Sugarcane Breeding Program, to *Meloidogyne javanica*, four experiments were carried out, using 64-L plastic pots containing sandy soil, previously treated to eliminate possible nematodes population and kept in open air. In each experiment, 11 to 13 new cultivars were studied, compared to SP81-3250, used as standard susceptible cultivar. The plants were inoculated with eggs a second stage juveniles of *M. javanica* and five months after, they were carefully uprooted from pots. The root systems were washed and weighted and a sample was collected for nematodes extraction. Thus, the following parameters were obtained: number of nematodes per gram of root and number of nematodes in root system, used to calculate the reproductive ratio. Among 48 studied cultivars, the cultivars IACSP93-3046, IACSP94-4004 and IACSP97-4039 were resistant to *M. javanica*, showing reproductive ratio lower than 1, while the others were susceptible. The reproductive ratio values registered in SP81-3250 varied from 1.2 to 7.5. This variation was attributed to the environmental conditions, especially temperature, during the period in which the experiments were conducted.

**Keywords:** nematode management, resistance.

**Introdução**

Os nematoides são importantes parasitos da cana-de-açúcar no Brasil, reduzindo significativamente a produtividade da cana-planta e das soqueiras, em decorrência da destruição do sistema radicular das plantas. Em variedades muito suscetíveis, os nematoides podem reduzir a produtividade da cana-planta pela metade e das soqueiras, em cerca de 30 %, quando em altas infestações (DINARDO-MIRANDA, 2014).

O manejo de áreas infestadas tem incluído, principalmente, o uso de nematicidas no plantio e nas soqueiras (DINARDO-MIRANDA, 2014), mas há grande interesse dos produtores em utilizar variedades resistentes, devido aos impactos ambientais decorrentes do uso de produtos químicos. Além disso, como citado por Lordello (1981), uma variedade resistente não representa qualquer custo adicional ao produtor.

Em razão disso, o Centro de Cana do IAC tem avaliado a reação de novos genótipos, oriundos de seu Programa de Melhoramento Genético em relação à *Meloidogyne javanica*, uma vez que esta é uma das espécies mais comuns e patogênicas aos canaviais brasileiros (NOVA-RETTI & TÉRAN, 1983, MOURA et al., 1990, Dinardo-Miranda, 2014). Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a reação de 48 clones de elite do programa Cana - IAC à *M. javanica*.

**Material e Métodos**

Quatro ensaios foram conduzidos no Centro de Cana - IAC, em Ribeirão Preto, SP, entre março de 2009 e março de 2013, nos quais os seguintes genótipos foram avaliados: IAC87-3396, IAC91-1099, IACSP93-3046, IACSP94-2101, IACSP94-2094, IACSP94-4004, IACSP95-5000, IACSP96-3060, IACSP96-2042, IACSP95-3028, IACSP95-1218, IACSP95-5094 e SP81-3250, no experimento 1; IACSP96-2019, IACSP96-3046, IACSP96-7569, IACSP96-7586, IACSP97-2000, IACSP97-2020, IACSP97-2023, IACSP97-2053, IACSP97-6682, IACSP97-7018, IACSP97-7543, IACSP97-2098 e SP81-3250, no experimento 2; IACSP96-1005, IACSP96-1066, IACSP96-2008, IACSP96-3048, IACSP3076, IACSP96-7506, IACSP97-2028, IACSP97-2084, IACSP97-2101, IACSP97-3313, IACSP97-3331 e SP81-3250, no experimento 3; e IACSP97-3384, IACSP97-3391, IACSP97-7065, IACSP97-7077, IACSP98-5046, IACSP98-6202, IACSP97-4039, IACSP97-4048, IACSP99-4013, IACSP98-2030, IACSP98-3020, IACSP98-7043, IACSP99-4010 e SP81-3250, no experimento 4. A cultivar SP81-3250 foi incluída em todos os experimentos por ser padrão de suscetibilidade (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

Em todos os experimentos, gemas únicas de cada cultivar foram plantadas em vasos de 0,5 L contendo substrato e, um mês depois, as plantas foram transferidas para vasos de 64 L, contendo solo arenoso, previamente tratado com metam-sódico 33,0% m/v (Bunema®) para eliminar possíveis populações de nematoides, e adubadas com 200 g/50L de solo de NPK 14-14-14, de liberação lenta, para cada 50 L de solo; os vasos foram mantidos a céu aberto e irrigados quando necessário.



As plantas foram inoculadas logo após o transplante para os vasos de 64 L com ovos e eventuais juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica*, obtidos de raízes de tomateiros mantidos em casas de vegetação. Os transplantos das plantas foram feitos em 12/03/2010, 16/11/2010, 15/09/2011 e 10/10/2012, respectivamente nos experimentos de 1 a 4. Ao mesmo tempo, 200.000, 50.000, 150.000 e 150.000 ovos e eventuais juvenis de segundo estágio foram inoculados em cada vaso dos experimentos 1 a 4, respectivamente. Inocularam-se diferentes quantidades de ovos em cada experimento devido à disponibilidade.

Cinco meses depois da inoculação, as plantas foram retiradas dos vasos, as raízes foram lavadas em água corrente e posteriormente pesadas. Das raízes de cada vaso, retirou-se uma amostra de 20 g para extração e contagem de nematoides, de acordo com o método proposto por COOLEN & D'HERDE (1972). Assim, em cada parcela obteve-se o número de nematoides por grama de raízes; considerando a massa de raízes em cada vaso, foi possível obter também o número de nematoides no sistema radicular, utilizado para cálculo do fator de reprodução, dado pela razão entre o número de nematoides no sistema radicular e o número de nematoides inoculados; cultivares com fator de reprodução menor ou igual a 1 foram consideradas resistentes, enquanto cultivares com fator de reprodução maior que 1 foram consideradas suscetíveis, como proposto por OOSTENBRINK (1966). Para análise estatística, os dados foram transformados em raiz quadrada de (x+1) e comparados pelo teste de Tukey a 10% de significância.

### Resultados e Discussão

Nos experimentos 1, 2 e 4, foram registradas significativas diferenças entre as cultivares, tanto em relação ao número de nematoides por grama de raízes quanto em relação ao fator de reprodução, mas na maioria dos casos não houve diferenças entre os novos genótipos e a SP81-3250, usada como padrão de suscetibilidade (Tabela 1).

No experimento 1, a maior população de *M. javanica* (J2 + ovos por g de raiz) foi observada nos genótipos IACSP95-1218 e IAC87-3396, que diferiram dos genótipos IACSP93-3046, IACSP94-2101 e IACSP95-5094. O fator de reprodução de *M. javanica* em IACSP93-3046, IACSP94-2101 e IACSP94-4004 foi menor que na cultivar IAC87-3396. Em IACSP93-3046 e IACSP94-4004, o fator de reprodução foi menor que 1, indicando que esses genótipos são resistentes a *M. javanica*, de acordo com o critério de OOSTENBRINK (1966). Os demais genótipos apresentaram fator de reprodução maior que 1, sendo considerados suscetíveis (Tabela 1).

No experimento 2, a população de *M. javanica* (J2 + ovos por g de raiz) mais alta foi observada no genótipo IACSP96-2019, que diferiu de IACSP96-7586. A cultivar IACSP96-7586 também apresentou o mais baixo fator de reprodução, diferindo de IACSP96-2019, IACSP97-2000 e IACSP97-2053, em relação a esse parâmetro. Apesar dessas diferenças entre os genótipos quanto ao fator de reprodução, todos eles foram suscetíveis à *M. javanica*, por apresentarem fator de reprodução maior que 1 (Tabela 1).

Também no experimento 3, todos os genótipos foram considerados suscetíveis à *M. javanica* (fator de reprodução maior que 1), mas não foram registradas diferenças entre eles em relação a esse parâmetro ou em relação à população de *M. javanica* por grama de raiz (Tabela 1). Entre os genótipos avaliados no experimento 4, IACSP97-4039 apresentou não somente menor infestação de *M. javanica* que a SP81-3250, como também menor fator de reprodução. Enquanto a SP81-3250 apresentou fator de reprodução de 7,5, na IACSP97-4039 o valor foi 0,6, sendo por isso considerada resistente à *M. javanica* (Tabela 1).

**Tabela 1.** População de *Meloidogyne javanica* nas raízes (Mj, número de J2 + ovos por grama de raiz) e fator de reprodução (FR) do nematoide em cada genótipo, nos quatro experimentos.

Experimento 1			Experimento 2			Experimento 3			Experimento 4		
Genótipo	Mj	FR	Genótipo	Mj	FR	Genótipo	Mj	FR	Genótipo	Mj	FR
IAC87-3396	622 a	5,2 a	IACSP96-2019	520 a	11,2 a	IACSP96-1005	340 a	2,8 a	IACSP97-3384	36 abcd	2,2 ab
IAC91-1099	384 ab	2,3 ab	IACSP96-3056	352 ab	9,3 ab	IACSP96-1005	340 a	2,8 a	IACSP97-3391	135 a	7,6 a
IACSP93-3046	133 b	1,0 b	IACSP96-7569	292 ab	8,3 ab	IACSP96-1066	289 a	3,4 a	IACSP97-4039	11 d	0,6 b
IACSP94-2094	306 ab	1,3 ab	IACSP96-7586	72 b	1,3 b	IACSP96-2008	218 a	2,3 a	IACSP97-4048	107 abc	7,0 ab
IACSP94-2101	163 b	1,1 b	IACSP97-2000	409 ab	11,6 a	IACSP96-3048	286 a	2,4 a	IACSP97-7065	32 abcd	1,8 ab
IACSP94-4004	204 ab	0,9 b	IACSP97-2020	314 ab	7,5 ab	IACSP96-3076	267 a	2,7 a	IACSP97-7077	38 abcd	2,5 ab
IACSP95-1218	648 a	4,3 ab	IACSP97-2023	231 ab	3,4 ab	IACSP96-7506	235 a	2,5 a	IACSP98-2030	22 cd	2,1 ab
IACSP95-5000	183 ab	2,2 ab	IACSP97-2053	429 ab	11,0 a	IACSP97-2028	204 a	2,0 a	IACSP98-3020	125 ab	8,4 a
IACSP95-5094	143 b	1,2 ab	IACSP97-2098	182 ab	3,8 ab	IACSP97-2084	212 a	2,0 a	IACSP98-5046	18 cd	2,2 ab
IACSP96-2042	239 ab	1,7 ab	IACSP97-6682	250 ab	5,4 ab	IACSP97-2109	113 a	1,1 a	IACSP98-6202	30 abcd	2,1 ab
IACSP96-3028	526 ab	4,0 ab	IACSP97-7018	410 ab	8,5 ab	IACSP97-3313	181 a	1,6 a	IACSP98-7043	62 abcd	3,0 ab
IACSP96-3060	535 ab	3,4 ab	IACSP97-7543	315 ab	10,0 ab				IACSP99-4010	63 abcd	6,5 ab
									IACSP97-3384	36 abcd	2,2 ab
SP81-3250	143 ab	1,2 ab	SP81-3250	289 ab	6,0 ab	SP81-3250	183 a	2,6 a	SP81-3250	124 abc	7,5 a

Médias na mesma coluna seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 10 % de significância.

A menor capacidade de *M. javanica* se estabelecer nas raízes da IACSP93-3046, observada no experimento 1, já tinha sido verificada em campo, em experimento conduzido por Dinardo-Miranda et al. (2008), que classificaram a cultivar como resistente à *M. javanica*. Naquele estudo, os autores observaram que as cultivares IAC87-3396, IAC91-1099 e IACSP94-2094 comportaram-se como suscetíveis, com alta população do nematoide em suas raízes, assim como foi observado no presente trabalho. A suscetibilidade da IAC87-3396 já tinha sido registrada por DINARDO-MIRANDA (1999), em trabalhos conduzidos em vasos a céu aberto.

Por outro lado, DINARDO-MIRANDA *et al.* (2008) registraram no cultivar SP81-3250 populações de *M. javanica* mais altas do que as observadas nas raízes de IAC87-3396, IAC91-1099 e IACSP94-2094, ao contrário do que foi observado no presente trabalho.

Considerando os quatro experimentos e a classificação proposta por OOSTENBRINK (1966), com base no fator de reprodução, a maioria dos genótipos se mostrou suscetível à *M. javanica*. De fato, a suscetibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à *M. javanica* parece ser mais comum do que a resistência, como mostram trabalhos de diversos pesquisadores, tanto em campo naturalmente infestado como em condições controladas. DINARDO-MIRANDA *et al.* (1995), conduzindo um trabalho com 12 cultivares em campo naturalmente infestado, observaram que todas elas permitiram a multiplicação de *M. javanica* em suas raízes, embora três delas (RB735275, SP71-1632 e SP72-1861) se comportassem como tolerantes à espécie em questão. Mais recentemente, DINARDO-MIRANDA *et al.* (2008) observaram que somente a IACSP93-3046 foi resistente à *M. javanica*, entre oito cultivares plantadas em campo naturalmente infestado.

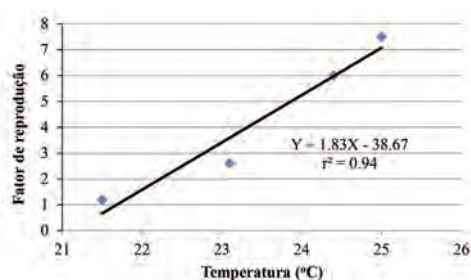
Em experimento conduzido em condições controladas, DINARDO-MIRANDA (1999) observou que *M. javanica* se multiplicou abundantemente em dez cultivares e causou redução da massa da parte aérea de todas elas, que foram, então, consideradas suscetíveis à espécie. Trabalhando com 29 cultivares de cana-de-açúcar, DIAS-ARIEIRA *et al.* (2010) registraram fator de reprodução de *M. javanica* maior que 1 em todas as cultivares, o que levou os autores a considerá-las suscetíveis à espécie.

Em relação a esse estudo, vale notar que o fator de reprodução registrado no cultivar SP81-3250, empregada como padrão de suscetibilidade, variou de 1,2 (experimento 1) a 7,5 (experimento 4). Essa diferença pode ser explicada pelas condições ambientais, especialmente temperatura, durante o período de condução dos ensaios. O crescimento e o desenvolvimento dos nematoides são diretamente afetados pela temperatura (NOE, 1991); para *M. javanica*, a temperatura ótima para desenvolvimento está entre 25°C e 30 °C (TAYLOR & SASSER, 1978), sendo que temperaturas mais baixas comprometem a sobrevivência e fazem com que o seu ciclo de vida se prolongue. Todos os experimentos foram conduzidos por cinco meses, mas o experimento 1 foi conduzido durante o outono e o inverno, quando as menores temperaturas mínimas foram registradas (Tabela 2), justificando as taxas de reprodução menores observadas nesse experimento. Temperaturas mais altas ocorridas durante a condução dos ensaios 2 e 4 justificam os maiores fatores de reprodução obtidos nesses ensaios (Tabela 2). De fato, considerando os dados obtidos nos presente trabalho, nota-se uma forte relação entre a temperatura e o fator de reprodução de *M. javanica* na cultivar SP81-3250, dada pela equação  $Y = 1,83X - 38,67$ , na qual Y representa o fator de reprodução e X a temperatura média (°C), com  $r^2$  igual a 0,94 (Figura 1).

**Tabela 2.** Temperaturas médias mensais (°C) durante a condução de cada experimento.

Experimento	Mês ano	Média das temperaturas máximas (°C)	Média das temperaturas mínimas (°C)	Temperatura média (°C)
1	Março 2010	31,1	19,1	25,1
	Abril 2010	28,8	16,9	22,9
	Mai 2010	26,7	13,1	19,9
	Junho 2010	26,4	11,3	18,9
	Julho 2010	28,2	13,8	21,0
	Agosto 2010	29,4	12,5	21,0
2	Novembro 2010	30,4	18,1	24,3
	Dezembro 2010	30,7	20,0	25,3
	Janeiro 2011	30,3	20,1	25,2
	Fevereiro 2011	31,3	19,6	25,5
	Março 2011	27,5	19,1	23,3
	Abril 2011	28,8	16,9	22,9
3	Setembro 2011	31,2	15,1	23,1
	Outubro 2011	29,7	17,8	23,8
	Novembro 2011	29,2	16,7	22,9
	Dezembro 2011	30,2	18,6	24,4
	Janeiro 2012	28,1	18,2	23,2
	Fevereiro 2012	31,0	19,2	25,1
4	Outubro 2012	32,9	19,0	26,0
	Novembro 2012	30,8	18,7	24,7
	Dezembro 2012	31,5	20,5	26,0
	Janeiro 2013	29,7	19,1	24,4
	Fevereiro 2013	30,1	19,2	24,7
	Março 2013	29,3	18,6	24,0

**Figura 1.** Relação entre temperatura e fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* no cultivar SP81-3250



**Conclusão**

As cultivares IACSP93-3046, IACSP94-4004 e IACSP97-4039 são resistentes à *M. javanica*.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro ao projeto 2008/56146-5.

**Referências Bibliográficas**

- COOLEN, W.A.; D'HERDE, C.J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. **Ghent: State Agriculture Research Centre**, 1972. 77p.
- Dias-Arieira, C.R.; Santos, D.A.; Souto, E.R.; Biela, F.; Chiamolera, F.M.; Cunha, T.P.L.; Santana, S.M.; Puerari, H.H. Reação de variedades de cana-de-açúcar aos nematoides-das-galhas. **Nematologia Brasileira**, v.34, p.198-203, 2010.
- Dinardo-Miranda, L.L.; Novaretti, W.R.T.; Morelli, J.L.; Nelli, E.J. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar em relação a *Meloidogyne javanica* em condições de campo. **Nematologia Brasileira**, v.19, p.60-66, 1995.
- Dinardo-Miranda, L.L.; Fracasso, J.V.; Xavier, M.A. Reação de variedades de cana-de-açúcar a *Meloidogyne javanica*. In: Congresso Nacional da STAB, 9., Maceió. **Anais... Maceió, STAB**. p.133-136, 2008.
- Dinardo-Miranda, L.L. Reação de variedades de cana-de-açúcar ao parasitismo de *Meloidogyne javanica* e de *Meloidogyne* incognita. **Nematologia Brasileira**, v.23, p.76-83, 1999.
- Dinardo-Miranda, L.L. Nematoides e pragas da cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agrônomo, 2014. 400p.
- Lordello, L.G.E. **Nematóides das plantas cultivadas**. 6ª ed. São Paulo, 1981. 314p.
- Moura, R.M.; Régis, E.M.O; Moura, A.M. Espécies e raças de *Meloidogyne* assinaladas em cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Nematologia Brasileira**, v.14, p.33-38, 1990.
- Noe, J.P. Development of *Meloidogyne arenaria* on peanut and soybean under two temperature cycles. **Journal of Nematology**, v.23, p.468-476, 1991.
- Novaretti, W.R.T.; Téran, F.O. Controle de nematóides parasitos da cana-de-açúcar. In: Reunião técnica agrônômica, 1., Piracicaba, **Anais**. São Paulo, Copersucar, p.16-24. 1983.
- OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededelingen Landbouwhogeschool**, v.66, p.1-46, 1966.
- Taylor, A.L., Sasser, J.N. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). **Raleigh: North Carolina State University Graphics**, 1978. 111p.

# FITOTECNIA

## DENSIDADE APARENTE EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-ACÚCAR COM BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO

MICHENDER WERISON MOTTA PEREIRA<sup>1</sup>; SOLISMAR DE PAIVA VENZKE FILHO<sup>2</sup>;  
MARA DE ANDRADE MARINHO<sup>3</sup>; RAFAEL LACERDA COBRA<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Doutorando da Unicamp no programa de pós-graduação em Eng. Agrícola.

<sup>2</sup>Consultor da Rotar – Crop Production System;

<sup>3</sup>Professora da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp.

*michender.ambiental@gmail.com*

### Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar a densidade aparente do solo cultivado com cana-de-açúcar em áreas com e sem aplicação de biofertilizante líquido, que recebeu 75% da dose de fertilizantes minerais. O trabalho constituiu em três locais: i) Mata: área de mata nativa (referência de estrutura do solo preservada); ii) área cultivada com cana-de-açúcar do cultivar CTC 15 com aplicação do biofertilizante líquido; e iii) área cultivada com cana-de-açúcar do cultivar CTC 15 sem aplicação biofertilizante. A densidade do solo (Ds) apresentou diferença estatística entre as áreas na profundidade de 0-0,25m para as três áreas analisadas, de tal forma que o menor valor de densidade do solo foi encontrado na mata (1,02 kg m<sup>-3</sup>), seguida pela área cultivada com aplicação do biofertilizante líquido (1,31 kg m<sup>-3</sup>) e, por último para área cultivada sem aplicação do produto. Nas demais profundidades analisadas (0,25 a 0,5 m e 0,5 a 0,8 m), as densidades do solo das áreas cultivadas com cana-de-açúcar foram estatisticamente iguais, com tendência numérica menor para a área com aplicação do biofertilizante líquido. Com os resultados pode-se concluir que em área de cana-de-açúcar com aplicação de biofertilizante a densidade do solo é menor na camada superficial (0 - 0,25 m), sendo a densidade nesta área com valores mais próxima da mata (referencia neste estudo).

**Palavras-Chave:** Física do solo; densidade do solo; qualidade estrutural do solo.

### Summary

The objective of this work was evaluated the bulk density of the soil cultivated with sugarcane in areas with and without application of biofertilizers, which received 75% of the dose of mineral fertilizers. The work was conducted in three areas: i) native forest: native forest (the preserved soil structure reference); ii) area cultivated with sugarcane cultivar CTC 15, where biofertilizers was applied; and iii) area cultivated with sugarcane cultivar CTC 15 without application of biofertilizers. The bulk density (Ds) showed statistically significant differences between areas in the depth of 0-0.25 m for the three areas analyzed, so that the lower soil density was found in the woods (1.02 kg m<sup>-3</sup>) followed by the area under application biofertilizers (1.31 kg m<sup>-3</sup>) and finally to the area cultivated without application of biofertilizers. In other depths examined (0.25 to 0.5 m and 0.5 to 0.8 m), bulk densities of sugarcane areas were statistically similar, with lower numerical trend for the biofertilizers area. From the results it can be concluded that in sugarcane areas with biofertilizer application the bulk density is lower in the superficial layer (0 - 0.25m), bulk density in this area with the nearest values of the forest (reference in this study).

**Keywords:** Soil physical; bulk density; structural soil quality.

### Introdução

A densidade do solo, definida como sendo o quociente de sua massa de sólido por seu volume, é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume de poros. Essas alterações afetam propriedades físico-hídricas importantes, como a retenção e a disponibilidade de águas às plantas, a dinâmica de troca gasosa do solo e a resistência à penetração (KLEIN, 2008). Em solos agrícolas, a principal causa das alterações de densidade do solo são as forças mecânicas originadas da pressão causadas pelos rodados das máquinas agrícolas e pela própria ação de implementos sobre o solo.

Com a mecanização do plantio, dos tratos culturais e da colheita nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, o tráfego ficou excessivo e muitas vezes realizado indiscriminadamente em diferentes condições de umidade do solo, sendo este eleito o principal responsável pela compactação e a diminuição da capacidade produtiva do solo (MARASCA *et al.*, 2015).

Por outro lado, tem-se o conhecimento de técnicas de descompactação como a aração profunda e a subsolagem, porém estas técnicas apresentam alto custo (DOMSCH *et al.*, 2006). Essas operações agrícolas causam a desagregação das partículas do solo, favorecendo um rearranjo das partículas de forma mais ordenada, permitindo assim um aumento no peso específico aparente do solo, diminuição da porosidade total e aumento na resistência à penetração (OTTO *et al.*, 2011). Entretanto, nessa fase de rearranjo das partículas após a descompactação se faz necessário um bom desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar ou de outra planta cultivada, em conjunto com a comunidade microbiana da rizosfera para diminuir os efeitos maléficos citados acima (BRONICK & LAL, 2005). Já é bem conhecido a habilidade dos micro-organismos do solo em conjunto com as transformações das fontes orgânicas facilmente disponíveis (matéria orgânica fresca) de unir as partículas minerais do solo com as substâncias orgânicas resultantes destas transformações, no qual é chamado de agregação orgânica (SIX *et al.*, 2002). De uma forma aleatória construindo uma estrutura de solo adequada para o próprio desenvolvimento do sistema radicular. Decorrente desta construção da estrutura, a densidade do solo modifica-se como o passar do tempo, passando a ser um atributo físico do solo dinâmico e sensível ao manejo do solo (JUMA, 1993).

Os autores objetivaram com este trabalho avaliar a densidade aparente do solo cultivado com cana-de-açúcar em áreas com e sem aplicação de biofertilizante líquido.

## Material e Métodos

### Caracterização e manejo das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em Latossolo Vermelho eutrófico sob delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo (3 x 3) com três repetições. O primeiro fator (principal) refere-se a três áreas de estudo e o segundo fator (secundário) corresponde às três profundidades do solo avaliadas (0 a 0,25 m; 0,25 a 0,5 m e 0,5 a 0,8 m).

As três áreas selecionadas para avaliação estão localizadas no campo experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (Jaboticabal/SP), sendo: i) Mata: área de mata nativa (referência de estrutura do solo preservada); ii) CCB - cana com biofertilizante: área cultivada com cana-de-açúcar da cultivar CTC 15, onde realizou-se a aplicação do biofertilizante líquido; e iii) CSB – cana sem biofertilizante: área cultivada com cana-de-açúcar da cultivar CTC 15 sem aplicação de biofertilizante líquido.

O biofertilizante líquido utilizado foi o Microgeo®, que é um componente balanceado que alimenta os micro-organismos do conteúdo ruminal bovino na Compostagem Líquida Contínua™ (CLC). O processo CLC™ é uma inovação biotecnológica patenteada, que garante ao produtor o domínio exclusivo do processo de produção do biofertilizante com qualidade agrônômica certificada (MANUAL TÉCNICO MICROGEO, 2016).

Em Junho de 2011 foi realizado plantio de cana-de-açúcar em ambas as áreas cultivadas (CCB e CSB). Nestas áreas foram aplicadas doses crescentes de fertilizantes minerais de 0, 25, 50, 75 e 100 % da dose recomendada para a cultura, conforme análise química do solo e produtividade esperada. O tratamento com nível de 100 % de fertilizante mineral, como adubação de base recebeu 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 20-05-20. O presente estudo concentrou-se na área do tratamento com 75 % da dose recomendada de fertilizantes minerais. Esta escolha justifica-se pelo fato de que em estudos anteriores (SILVA-NETO, 2014), na área com dose de 75 % de fertilizantes minerais + biofertilizante apresentou 53 t.ha<sup>-1</sup> a mais do que a mesma área sem biofertilizante. Estudo em anos seguintes (safra 2015), as maiores produtividades foram obtidas na dose de 75 % de fertilizantes minerais + biofertilizante líquido, incluindo a aplicação de 100% da dose de fertilizante mineral recomendada (SILVA-NETO, 2014).

Na área CCB foi realizada em 2014 a última das quatro aplicações de biofertilizante (2011, 2012, 2013, 2014) de 300 L ha<sup>-1</sup>, obtido a partir de uma suspensão de esterco bovino (15 %, em água), acrescida de 5 % do componente balanceado conforme recomendações descritas no manual técnico do produto (MANUAL TÉCNICO MICROGEO, 2016).

Na (Tabela 1) encontra-se a caracterização da granulometria do solo nas áreas estudadas, expressa por seus teores (g kg<sup>-1</sup>) de areia, silte e argila. Pode ser visto que o solo em todas as áreas e profundidades é argiloso (350 < Argila < 600).

A área possui relevo suave ondulado e a análise química para fins de fertilidade apresentou os seguintes resultados: M.O. = 23 g dm<sup>-3</sup>; pH = 5,3; P (res.) = 26 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,4 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 14 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 8 mmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 28 mmolc dm<sup>-3</sup>.

**Tabela 1.** Teores médios de areia, silte e argila (g kg<sup>-1</sup>) nas três áreas e profundidades do estudo.

Profundidade (m)	Mata	CCB	CSB
<b>AREIA (g kg<sup>-1</sup>)</b>			
0 - 0,25	218	244	228
0,25 - 0,5	173	222	218
0,5 - 0,80	164	199	207
<b>SILTE (g kg<sup>-1</sup>)</b>			
0 - 0,25	313	237	248
0,25 - 0,5	250	237	230
0,5 - 0,80	250	232	218
<b>ARGILA (g kg<sup>-1</sup>)</b>			
0 - 0,25	469	519	524
0,25 - 0,5	577	541	552
0,5 - 0,80	586	569	575

Método: As análises granulométricas foram realizadas empregando-se o método da Pipeta modificado conforme descrito em DOURADO *et al.* (2012).

### Coleta de amostras de solo

Para a coleta de amostras dos solos, procedeu-se a abertura de trincheiras de aproximadamente 1,5 m de largura x 1,5 m de comprimento e 1,0 m de profundidade (1,5 m x 1,5 m x 1,0 m) utilizando enxada, enxadão e pá reta. Uma trincheira foi aberta em cada área. Nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar (CCB e CSB), as trincheiras foram alocadas de forma a que a linha de plantio ficasse no centro da largura da trincheira, permitindo que os perfis de solo fossem estudados englobando a região do sistema radicular das plantas.

As amostras de solo foram com estrutura indeformada foram coletadas em anéis volumétricos de aço inox, em três profundidades (0 a 0,25 m; 0,25 a 0,5 m e 0,5 a 0,8 m), com três repetições por profundidade, totalizando 27 amostras (3 áreas x 3 profundidades x 3 repetições).

As determinações da densidade do solo foram realizadas no Laboratório de Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP) pelo método do anel volumétrico, conforme descrito em EMBRAPA (2015). As amostras foram levadas à estufa à 105°C até atingir peso constante (solo seco), A Ds foi calculada utilizando a equação 1.

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

Ds = Densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>);

Ms = Massa do solo seco (kg);

V = Volume de solo (dm<sup>3</sup>), que corresponde ao volume interno do anel de Koepeck utilizado na coleta das amostras.

### Análise estatística dos resultados

Os resultados obtidos foram tabulados e submetidos a testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk no programa Assisat 7.6 beta (SILVA e AZEVEDO, 2009). Diante da positividade da normalidade os resultados foram submetidos à análise de variância e tiveram as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de significância usando-se o Assisat 7.6 beta (SILVA e AZEVEDO, 2009). Todas as análises estatísticas foram executadas considerando o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo (3 x 3) com três repetições. O primeiro fator (principal) refere-se às áreas avaliadas (Mata; CCB e CSB) e o segundo fator (secundário) corresponde às profundidades de estudo (0 a 0,25 m; 0,25 a 0,5 m e 0,5 a 0,8 m).

### Resultados e Discussão

A densidade do solo (Ds) apresentou diferença estatística entre as três áreas na profundidade de 0-0,25 m, de tal forma que o menor valor de densidade do solo foi encontrado na mata (1,02 kg m<sup>-3</sup>), seguida pela CCB (1,31 kg m<sup>-3</sup>) e CSB (1,40 kg m<sup>-3</sup>). O maior valor de densidade do solo nesta profundidade ocorreu na CSB (1,40 kg m<sup>-3</sup>), conforme (Tabela 2). Essa diferença na Ds entre as áreas cultivadas pode ter sido o limitante para de produtividade na CSB.

**Tabela 2.** Teores médios de densidade do solo – Ds (kg m<sup>-3</sup>) nas três áreas e profundidades estudadas e teste de médias.

Profundidade (m)	Mata	CCB	CSB
0 - 0,25	1,02 aA	1,31 bB	1,40 bC
0,25 - 0,5	1,13 bA	1,36 bB	1,41 bB
0,5 - 0,8	1,13 bA	1,19 aAB	1,22 aB
CV = 3,47%			

CCB – Cana com biofertilizante; CSB – Cana sem biofertilizante.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Para a profundidade 0,25-0,5 m, a densidade do solo nas áreas de cana-de-açúcar (CCB e CSB) não diferiu estatisticamente entre si, sendo maiores do que a Ds média caracterizada para a área de mata, o que era de se esperar, uma vez que não há o efeito do manejo agrícola no solo sob mata.

Para a profundidade 0,5-0,8 m o maior valor de densidade do solo ocorreu na CSB (1,22 kg m<sup>-3</sup>), em comparação com a área de mata (1,13 kg m<sup>-3</sup>). A Ds na CCB (1,19 kg m<sup>-3</sup>), não diferiu nem da Ds da área de mata nem da Ds da CSB.

Nestas duas últimas profundidades não houve diferenças estatística, entretanto as médias da área com aplicação do biofertilizante (CCB) foi menor, demonstrando uma tendência do efeito do biofertilizante em profundidade. Neste caso pode-se esperar um efeito acumulativo do biofertilizante em provocar maior expansão do sistema radicular no perfil do solo, alterando a Ds com o passar do tempo. É de conhecimento na literatura a ação do sistema radicular na mudança do Ds, em decorrência de dois eventos, a entrada de carbono orgânico via exsudação ou deposição, sendo fonte de C para os micro-organismos e formação de espaço poroso após a senescência das raízes, chamado de bioporos radiculares no perfil do solo (JUMA; 1993; SIX *et al.*; 2002).

Para a variação da densidade do solo em profundidade, observa-se que a Mata apresentou menor variação do Ds, contudo, a profundidade 0 a 0,25m apresentou melhores resultados sob a óptica da qualidade do solo (menor Ds). Nas áreas de cana (CCB e CSB) a menor Ds foi observada na camada mais profunda (0,5 a 0,8 m).

### Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que a densidade do solo na profundidade 0 a 0,25 m é menor na área de cana-de-açúcar com aplicação do biofertilizante quando comparada a área desta cultura sem aplicação do produto. A Mata, contudo, apresentou menor densidade do solo que ambas as áreas cultivadas para a profundidade 0 a 0,25 m.

Nas profundidades 0,25 a 0,50 m e 0,50 a 0,8 m a densidade do solo nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar com e sem aplicação do biofertilizante são iguais entre si e superiores aos valores observados para a mata, embora exista tendência de valores mais próximos a mata na cana com aplicação do biofertilizante, principalmente na camada mais profunda (0,5 a 0,8 m).

**Referências Bibliográficas**

- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, 3-22, 2005.
- DOMSCH, H.; EHLERT, D.; GIEBEL, A.; WITZKE, K. Evaluation of the soil penetration resistance along a transect to determinate the loosening depth. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v.7, p.309-326, 2006.
- DOURADO, T. A.; SILVA, L. F. S.; MARINHO, M. A. Performance of a reciprocal shaker in mechanical dispersion of soil samples for particle-size analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1131-1148, 2012.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2015.
- JUMA, N. Interrelationships between soil structure/texture/soil biota/soil organic matter and crop production. **Geoderma**, v.57, v.3-30, 1993.
- KLEIN, V.A. **Física do Solo**. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo. 2008. 212p.
- MANUAL TÉCNICO MICROGEO. **Microgeo adubação biológica**. Document on-line, disponível em: [http://www.microgeo.com.br/sist/pdfs/manual\\_tecnico.pdf](http://www.microgeo.com.br/sist/pdfs/manual_tecnico.pdf). Acesso em: 07 de julho de 2016.
- MARASCA, I; LEMOS, S. V.; SILVA, R. B. da; GUERRA, S. P. S; LANÇAS, K. P. Soil compaction curve of an oxisol under sugarcane planted after In-Row Deep Tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1490-1490, 2015.
- OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, v.117, p.201-210, 2011.
- SILVA NETO, H.F.; de PAULI, F.A.; HOMEM, B.F.M.; RAGGHIANI, K.C.; VENZKE FILHO, S.P.; MARQUES, M.O. **Adubação biológica em cana-de-açúcar**. Araxá, MG: FertBio2014/SBCS, 2014. (ANAIIS - Formato CD).
- SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SÁ, J.C. de M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie*, **EDP Sciences**, v.22, p. 755–775, 2002.



## IMPACTO NA PRODUTIVIDADES DA CANA-DE-AÇÚCAR EM NITOSSOLO COM HORIZONTE A PRESERVADO E ERODIDO

Renato Prates de Araújo<sup>1</sup>; Gabriela Zucari de Andrade<sup>2</sup>; Anderson Gomes Ramos<sup>3</sup>;  
André César Vitti<sup>4</sup>; Hélio do Prado<sup>5</sup>; Thiago Antonio Basso do Prado<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo Casa da Agricultura de Areiópolis/CATI Regional Botucatu, Areiópolis-SP

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma da Usina Zilor – Lençóis Paulistas-SP

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo da Usina Zilor – Lençóis Paulistas-SP

<sup>4</sup> Pesquisador Científico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios do Pólo Centro Sul (APTA) Piracicaba-SP,

<sup>5</sup> Pesquisador Científico do Centro de Cana (IAC), Ribeirão Preto-SP

<sup>6</sup> Engenheiro Agrônomo em aperfeiçoamento técnico no Centro de Cana (IAC).

*renato.araujo@cati.sp.gov.br;*

### Resumo

A cultura da cana-de-açúcar é destaque no cenário agrícola do Brasil, sendo cultivada em vários tipos de ambiente. O solo entra como um importante componente desses ambientes, destacando-se por fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes. Este trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade da cana-de-açúcar nos ambientes de produção de Nitossolo Vermelho (Nvef) em duas situações: com horizonte A preservado e horizonte A erodido. A pesquisa foi desenvolvida, em parceria com o projeto AMBICANA, na fazenda Agrícola Pouso Alegre, em Macatuba-SP. A área foi dividida em dois blocos, ambos com o mesmo tipo de solo, se diferenciando pela presença ou não do horizonte A, onde foram plantadas cana de ano-e-meio, nos meses de fevereiro/março, em ambos blocos. As épocas de colheitas no Nitossolo com A preservado foram 26/05/2008, 10/08/2009, 17/05/2010, enquanto no Nitossolo com A erodido 11/06/2008, 14/08/2009 e 12/05/2010. A produtividade no canavial com horizonte A preservado foi maior em 39 % em relação ao horizonte A erodido, considerando média de três cortes. Houve redução da nota de Ambiente passando de A2, com produtividade, para uma média de 5 cortes, variando de 6-99 ton. ha<sup>-1</sup> (solo não erodido) para E1 (71-68 ton.ha<sup>-1</sup>) quando o horizonte A do Nitossolo foi erodido.

**Palavra-chave:** ambientes de produção; Ambicana; TCHs.

### Summary

The sugarcane crop is featured in the agricultural scene in Brazil, being cultivated in various types of environment. The soil is an important component of these environments, mainly by providing the physical support., further it provides water and nutrients to the plants. This study aims to evaluate the productivity of sugarcane in production environments of Eutrudalf very clay in two situations: with A horizon preserved and eroded A horizon. The research was developed, in partnership with the AMBICANA Project, in Agrícola Pouso Alegre farm, in Macatuba-SP. The area was divided into two blocks, both with the same soil type, differing by the presence or not of the A horizon, where a year-and-half sugarcane was planted, on February/March in both blocks. The harvest period of Eutrudalf with the A horizon preserved were 26/05/2008, 10/08/2009, 17/05/2010, while in Eutrudalf with the A horizon eroded were 11/06/2008, 14/08/2009 e 12/05/2010. The productivity in the cane fields with A horizon preserved was 39% higher, comparing to the A horizon eroded, considering average of three cuts. There was a reduction on rating of environment passing from A2, with productivity for an average of 5 cuts between 96-99 ton. ha<sup>-1</sup> (A horizon preserved), to E1 (71-68 ton.ha<sup>-1</sup>) when the A horizon was eroded.

**Keyword:** production environments; Ambicana; TCHs.

### Introdução

A crescente preocupação da sociedade mundial com o ambiente vem gerando pressão sobre o uso de combustíveis fósseis, os quais são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Vários países estão buscando reduzir ao máximo o uso desses combustíveis, seja pela substituição do produto ou pela adição de outros combustíveis para diminuir a carga poluidora.

Atualmente, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial. Outro ponto que se tem procurado trabalhar é com a conservação do solo do ponto de vista ambiental e produtivo.

Como o Brasil é um dos mais tradicionais produtores de cana-de-açúcar e possui grande extensão territorial, surgiram linhas de pesquisas sobre ambientes de produção de cana-de-açúcar, sendo definido por PRADO (2013) como a interação das condições físico-hídricas e químicas dos solos com o clima, resultando assim no potencial de produtividade do solo, considerando o uso do manejo básico (correto preparo de solo, controle de pragas, doenças e ervas daninhas, correta alocação varietal nas melhores épocas de plantio e colheita, uso de corretivo e fertilizantes e conservação do solo, principalmente com práticas que evitem a erosão). Na tabela de ambientes de produção desenvolvida por Prado, considera sete ambientes: A, B, C, D, E, F e G, sendo estes subdividido em dois.

O solo é um importante componente do conjunto que determina os ambientes de produção, destacando-se pelo seu importante papel de fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes.

O conhecimento das características inerentes a cada solo, os chamados fatores edáficos, é essencial para julgar o potencial de produção agrícola, visto que, a produtividade de cana-de-açúcar ao longo do tempo, está intimamente ligada às condições químicas e físico-hídricas das camadas superficial e sub-superficial.

Os Nitossolos são solos com textura argilosa a muito argilosa ao longo do perfil, profundos, avermelhados, com consistência úmida firme, consistência molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso no horizonte B estrutura bem desenvolvida com grau expressivo de

cerosidade. Quimicamente possuem valores elevados de CTC na camada arável, diminuindo em profundidade e com baixos valores de saturação por base ao longo do perfil. Na paisagem ocorrem em relevo ondulado, estando suscetível a erosão. Nessas condições ocorre menor crescimento radicular, afetando a nutrição da planta e consequentemente reduzindo a produtividade.

O objetivo desta pesquisa, portanto foi avaliar a produtividade da cana-de-açúcar nos ambientes de produção de Nitossolo Vermelho em duas situações: com horizonte A preservado e horizonte A erodido.

### Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida, em parceria com o projeto AMBICANA, na fazenda Agrícola Pouso Alegre, localizada na cidade de Macatuba-SP. A área apresentava o mesmo tipo de solo, porém em uma parte da área o horizonte A do Nitossolo havia sido erodido e nas demais áreas estava preservado. O projeto AMBICANA trabalha com a classificação de solo e ambientes de produção em cana-de-açúcar, fazendo parte das linhas de pesquisas do Centro de Cana, do Instituto Agrônomo de Campinas.

A área foi dividida em dois blocos, ambos com o mesmo tipo de solo, se diferenciando pela presença ou não do horizonte A, onde foram plantadas cana de ano-e-meio, nos meses de fevereiro/março, em ambos blocos.

Foram realizadas tradagens, nas profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e de 80 a 100 cm, onde os solos foram classificados, segundo (Embrapa, 2006), como Nitossolo Vermelho eutroférico típico A chermozênico textura muito argilosa, (Nvef-4). A determinação da textura se baseou no método de determinação baseado no tato, feito por treinamento do projeto AMBICANA, bem como por análises químicas e físicas no laboratório. Já a determinação da coloração se deu pela relação valor/croma, segundo a carta de coloração MUNSSELL.

A produtividade da área, em três safras agrícolas, foi determinada através da colheita dos blocos. A pesagem foi feita exclusivamente na usina, com pesagem total dividida pela área de cada tratamento. As épocas de colheitas no Nitossolo com A preservado foram 26/05/2008, 10/08/2009, 17/05/2010, enquanto no Nitossolo com A erodido 11/06/2008, 14/08/2009 e 12/05/2010.

As parcelas comparadas possuem o mesmo tratamento, não existindo em nenhuma delas a aplicação de vinhaça e/ou qualquer outro tipo de tratamento que favoreça algum dos solos, mantendo assim a homogeneidade das comparações.

O Nitossolo com o horizonte A preservado pedologicamente apresentou a cor escura quanto à relação valor/croma da tabela, sendo 3/1, 3/2 ou no máximo 3/3. Diferentemente do horizonte A, o horizonte B exposto apresenta relação valor/croma de 3/4, 3/5 ou 3/6 sendo identificadas neste caso, presença de horizonte A erodido.

Para os dois blocos, a variedade utilizada na pesquisa foi a RB 855453, que foram submetidas aos seguintes tratamentos culturais: espaçamento de 1,5 m, adubação de NPK, dessecação da área com glifosato (6 litros.ha<sup>-1</sup>), preparo convencional com aração, gradagem, sulcamento, plantio, uso de nematicida (Furadan) e inseticida (regente), operação “quebra-lombo” e herbicida Gamit.

### Resultado e Discussão

De acordo com a tabela 1, o Nvef com horizonte A erodido não permitiu um bom desenvolvimento da cana-de-açúcar e houveram quedas de produtividades em todos os cortes, sendo a diferença, respectivamente, de 83,5 e 27,8 t.ha<sup>-1</sup> de colmo somadas e da média de três cortes. O Nvef com A preservado foi maior que do Nvef com A erodido em, aproximadamente, 40%.

A (Tabela 1) apresenta os dados de safra, variedade, estágio, data de corte e THC real da cana-de-açúcar com horizonte A preservado e erodido de 3 safras agrícolas.

**Tabela 1.** Dados de safra, variedade, estágio, data de corte e THC real da cana-de-açúcar com horizonte A preservado e erodido de 3 safras agrícolas.

SAFRA	VARIETADE	ESTÁGIO	DATA DE CORTE	THC REAL
Nvef com A preservado				
2008	RB855453	Cana planta	26/05/2008	112,7
2009	RB855453	1ª Rebrotas	10/08/2009	99,7
2010	RB855453	2ª Rebrotas	17/05/2010	87,0
<b>Total</b>				<b>299,4</b>
<b>Média</b>				<b>99,8</b>
Nvef com A erodido				
2008	RB855453	Cana Planta	11/06/2008	95,9
2009	RB855453	1ª Rebrotas	14/08/2009	59,5
2010	RB855453	2ª Rebrotas	12/05/2010	60,5
<b>Total</b>				<b>215,9</b>
<b>Média</b>				<b>72,0</b>

Segundo o projeto AMBICANA, os ambientes de produção são de A2 (NVef com horizonte A intacto) e E1 (NVef com horizonte A erodido), apresentando produtividade, em uma média de cinco cortes, de 96-99 ton. ha<sup>-1</sup> para o ambiente A2 e 71-68 ton. ha<sup>-1</sup> para o ambiente E1, conforme é determinado na régua de ambientes de produção de cana-de-açúcar desenvolvida pelo HÉLIO DO PRADO (Figura 1). Essa régua apresenta os tipos de ambientes de produção, com suas respectivas faixas de produtividade, em ton. ha<sup>-1</sup> para média de 5 cortes, e a nota para cada faixa de ambiente de produção, variando de 0 (ambientes mais restritivos) à 10 (melhores ambientes)

Figura 1. Régua de ambientes de produção de cana-de-açúcar.



Foi observado, de acordo com a tabela, que no primeiro corte da cana-de-açúcar há uma diferença nas produtividades do horizonte A preservado e erodido, e ainda maior no segundo e terceiro cortes. Tem-se, portanto, que quando o horizonte A está preservado a longevidade do canavieiro passa a ser maior. Isso pode ser explicado devido ao ressecamento que o solo sofre ao longo do tempo e ausência de matéria orgânica no NVef com horizonte A erodido. Esse ressecamento se deve também a baixa infiltração de água no solo e elevado escoamento superficial, aproveitando menos, principalmente, quando se tem chuvas torrenciais. Essa baixa infiltração faz com que a cana-de-açúcar entre em estresse hídrico mais cedo quando comparado ao solo que não sofreu erosão.

No Argissolo com o horizonte B exposto PRADO (2013) constatou que a produtividade diminui de 90 para 50 ton. ha<sup>-1</sup>, o que certamente reduziu a longevidade do canavieiro.

Dentre as melhorias químicas, físicas e biológicas que a matéria orgânica proporciona para o solo presente em maior quantidade no horizonte A, destacam-se, para o melhor longevidade e produtividade das canas plantadas no NVef com horizonte A, a elevação da CTC do solo, regulação do pH, melhoria na estrutura do solo, aumento da capacidade de retenção de água do solo e redução da abertura de fendas na superfície de solo diminuindo o escoamento superficial da água, prevenindo a erosão. Nesse sentido o manejo, quanto as épocas de plantio e preparo do solo, são manter a área vegetada no período de maior intensidade de chuva, planejamento de terraços, entre outros itens que evitem a erosão são fundamentais para preservar o horizonte superficial que tem importante papel na nutrição e produtividade da cana-de-açúcar.

A (Figura 2) apresenta a relação do solo-paisagem da fazenda Pouso Alegre, em Lençóis Paulista/SP. Nota-se que o relevo é ondulado e, à medida que vai se tornando mais acidentado, maior é o efeito da erosão no solo, prevalecendo o Nitossolo com horizonte A preservado no topo e o Nitossolo com A erodido na baixada.

Figura 2. Ocorrência do Nitossolo com horizonte A erodido e preservado na paisagem.



\*NVef. Nitossolo Vermelho eutroférico típico A chermozênico textura muito argilosa

### Conclusões

- 1 – O Nitossolo com horizonte A erodido prejudica o desenvolvimento da cana-de-açúcar.
- 2 – A produtividade do canavieiro com horizonte A preservado foi maior em relação ao horizonte A erodido em 27,8 t. ha<sup>-1</sup> de colmo, média de três cortes, dentro da mesma paisagem.
- 3 – O ambiente de produção passou de A2 (NVef com horizonte A intacto) para E1 (NVef com horizonte A erodido).

### Referências Bibliográficas

- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- PRADO, H. Pedologia fácil: aplicações na agricultura. Piracicaba: H. Prado, 2013. 284 p.

## IMPACTO DAS ÉPOCAS DE CORTE NA PRODUTIVIDADE DA CANA

R. L. C. Braga Jr.<sup>1</sup>, R. A. Sordi <sup>2</sup>, H. Arizono <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Consultor em Planejamento Estratégico

<sup>2</sup> Grupo São Martinho

<sup>3</sup> Consultor Varietal

*renato.araujo@cati.sp.gov.br*

### Resumo

A época de colheita é um fator importante para o alcance de um maior retorno econômico e para explorar de forma mais efetiva o potencial genético de uma cultivar de cana-de-açúcar. No sistema tradicional de colheita, a prática comum entre os produtores é iniciar a safra a partir da cana-planta e os primeiros estágios de corte, para depois passar a colher as socas e estágios mais avançados. Com o propósito de elucidar a influência da época de colheita na produtividade média da cana-de-açúcar, quatro ensaios foram conduzidos nos estados de São Paulo e Goiás. Considerando a média de quatro cortes, os resultados revelaram que a colheita iniciada pelos estágios de corte mais avançados e finalizando nos estágios de corte iniciais (sistema invertido), proporcionou um ganho significativo de 15%, em toneladas de pol por hectare, em relação ao sistema tradicional.

**Palavras-chave:** Sistemas de colheita, Maturação, Retorno econômico

### Summary

The harvest season is an important factor for achieving higher profitability and explore more effectively the genetic potential of sugarcane varieties. In the traditional harvest system, the common practice is harvesting from the first cutting stage and go up the middle stage of cutting as the harvest will extend. In order to elucidate the influence of cutting stage on productivity of sugarcane, four trials were conducted in the states of São Paulo and Goiás. The results showed that the harvest started by stages more advanced cutting and finishing the initial cutting stages (inverted system), contributed 15% gain in tonnes per hectare pol over the traditional system.

**Keywords:** collection systems, Maturation, economic return

### Introdução

O agronegócio nacional é um dos mais importantes setores econômicos do país, gerando saldos positivos na balança comercial, ano após ano. Dentro do agronegócio o setor sucroenergético contribui de forma significativa com esse resultado. Na safra 2015/16 foram colhidos 617 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo produzidos 31 milhões de toneladas de açúcar e 28 bilhões de litros de etanol (UNICA, 2016).

Uma das mais importantes tarefas de um gestor de produção na cana está no controle do estágio médio de corte, uma vez que a idade média dos canaviais é influenciada pela taxa média de renovação das áreas cultivadas. Além disso, a produtividade média e, por consequência, o retorno econômico está altamente correlacionada com o estágio médio de corte (BRAGA JR., NARDY, 2014).

Atualmente a maioria dos produtores da região Centro-Sul utiliza o sistema tradicional de manejo das épocas de corte, ou seja, inicia-se a safra de cana colhendo os estágios de corte iniciais, para depois colher os estágios mais avançados conforme a safra vai evoluindo. Contudo, estudos preliminares mostraram existir uma razoável possibilidade de que esse sistema não produza os melhores resultados (BRAGA JR., BENEDINI, 2010).

Para tanto, o objetivo deste trabalho foi quantificar o impacto de diferentes épocas de colheitas (sistema tradicional e invertido) na produtividade da cana-de-açúcar, estudando qual dos dois manejos é mais eficiente em relação a qualidade e produtividade dos canaviais.

### Material e Métodos

Foram conduzidos quatro ensaios por quatro safras consecutivas, sendo dois na região de Piracicaba - Tipo de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico, textura argilosa - LVAa1.1. Ambiente edafoclimático CI pela classificação do CTC e dois no sul de Goiás - Tipo de solo: Latossolo Vermelho distroférrico, textura argilosa - LVdf1.1. Ambiente edafoclimático BIV pela classificação do CTC (BERTOLANI et al., 2015).

Os ensaios foram plantados no delineamento estatístico de blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas tiveram o formato de quatro sulcos de 20 metros nos ensaios colhidos na região de Piracicaba e quatro sulcos de 15 metros nos ensaios colhidos no sul de Goiás. O espaçamento entre sulcos foi sempre de 1,5 metros.

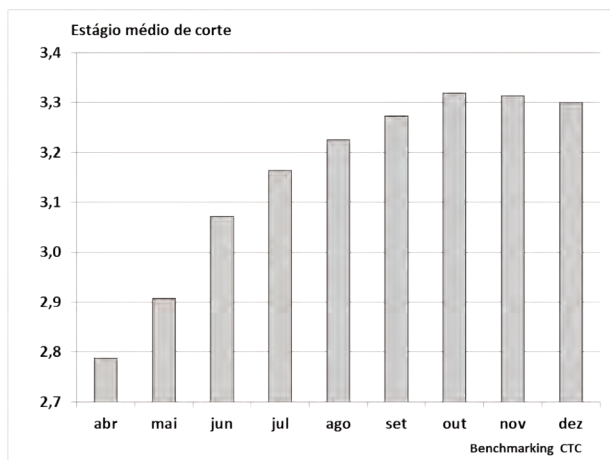
Utilizou-se 16 variedades: CTC2, CTC4, CTC6, CTC7, CTC9, CTC15, CTC16, CTC17, CTC18, CTC19, CTC20, SP81-3250, RB855156, RB855453, RB855536 e RB867515, que ocupavam, na época do plantio, cerca de metade da área cultivada no Market share na região Centro-Sul do Brasil (BRAGA JR., 2010).

Dados do benchmarking do CTC mostram que o estágio médio de corte aumenta entre os meses iniciais e finais da safra (Figura 1). Os ensaios foram manejados para colheita através dos seguintes sistemas:

Sistema Tradicional – o primeiro corte foi realizado no mês de agosto e os demais cortes foram feitos nos meses subsequentes para cada ano.

Sistema Invertido - o primeiro corte foi realizado no mês de novembro e os demais cortes foram feitos nos meses anteriores para cada ano.

**Figura 1.** Estágio médio de corte em relação ao mês de colheita na média de sete safras no benchmarking do CTC.



Encontra-se na (Tabela 1) as datas do plantio, amostragem para análise tecnológica e colheita dos ensaios. Os caracteres analisados foram: i) Caracteres tecnológicos: avaliadas a partir de uma amostra de 10 colmos na parcela - Pol do caldo em (%), fibra industrial na cana (%), percentagem açúcar corrigido (PCC) e Fibra (CALDAS,1998); ii) toneladas de cana por hectare (TCH): obtida pela pesagem total da parcela por meio de caminhão balança iii) Toneladas de pol hectare (TPH): obtida por meio da expressão  $TPH = (TCH \times PCC)/100$ . Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com significância de 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011) e do aplicativo Microsoft Office Excel.

**Tabela 1. Datas de plantio, amostragem para análise tecnológica e colheita dos ensaios.**

Região	Plantio	Corte	Levantamentos	Ciclo	Total de dias
<b>Sistema Tradicional</b>					
Piracicaba	08-04-2011	1	26-06-2012,01-08-2012	481	
Piracicaba	08-04-2011	2	02-09-2013,02-09-2013	397	
Piracicaba	08-04-2011	3	03-10-2014,14-10-2014	407	
Piracicaba	08-04-2011	4	06-10-2015,08-10-2015	359	1644
<b>Sistema Invertido</b>					
Piracicaba	08-04-2011	1	23-10-2012,06-11-2012	577	
Piracicaba	08-04-2011	2	14-10-2013,28-10-2013	356	
Piracicaba	08-04-2011	3	01-10-2014,03-10-2014	338	
Piracicaba	08-04-2011	4	03-08-2015,08-08-2015	311	1582
<b>Sistema Tradicional</b>					
Sul de Goiás	13-04-2011	1	22-05-2012,14-06-2012	428	
Sul de Goiás	13-04-2011	2	16-07-2013,10-08-2013	422	
Sul de Goiás	13-04-2011	3	03-09-2014,21-10-2014	436	
Sul de Goiás	13-04-2011	4	08-10-2015,09-10-2015	353	1639
<b>Sistema Invertido</b>					
Sul de Goiás	13-04-2011	1	26-08-2012,27-08-2012	501	
Sul de Goiás	13-04-2011	2	16-07-2013,10-08-2013	349	
Sul de Goiás	13-04-2011	3	09-07-2014,21-07-2014	345	
Sul de Goiás	13-04-2011	4	28-07-2015,30-07-2015	372	1567

## Resultados e Discussão

Os resultados médios dos ensaios, obtidos pelas médias das 16 variedades nos quatro primeiros estágios de corte, considerando os dois sistemas de colheita (Tradicional e Invertido), podem ser observados na (Tabela 2) para os ensaios colhidos na região de Piracicaba.

Constatou-se que, para a variável FIBRA, apesar de existirem diferenças significativas entre os dois sistemas de colheita nos estágios de corte, elas se compensaram, pois não houve diferença significativa entre os sistemas Tradicional e Invertido na média dos cortes. Para a variável PCC a diferença entre as médias foi altamente significativa a favor do sistema Invertido no primeiro estágio de corte. Esse resultado se inverteu no quarto estágio de corte, contudo, na média dos quatro cortes, houve vantagem significativa para o sistema Invertido. Para a variável TCH, com exceção do terceiro corte, observou-se que as médias foram sempre maiores e significativas no sistema Invertido.

Quanto a variável TPH, que consolida as anteriores, constatou-se diferença significativa do sistema Invertido em relação ao tradicional nos dois primeiros cortes. Nos demais cortes a diferença foi não significativa, contudo na média dos quatro cortes observou-se diferença significativa a favor do sistema Invertido.

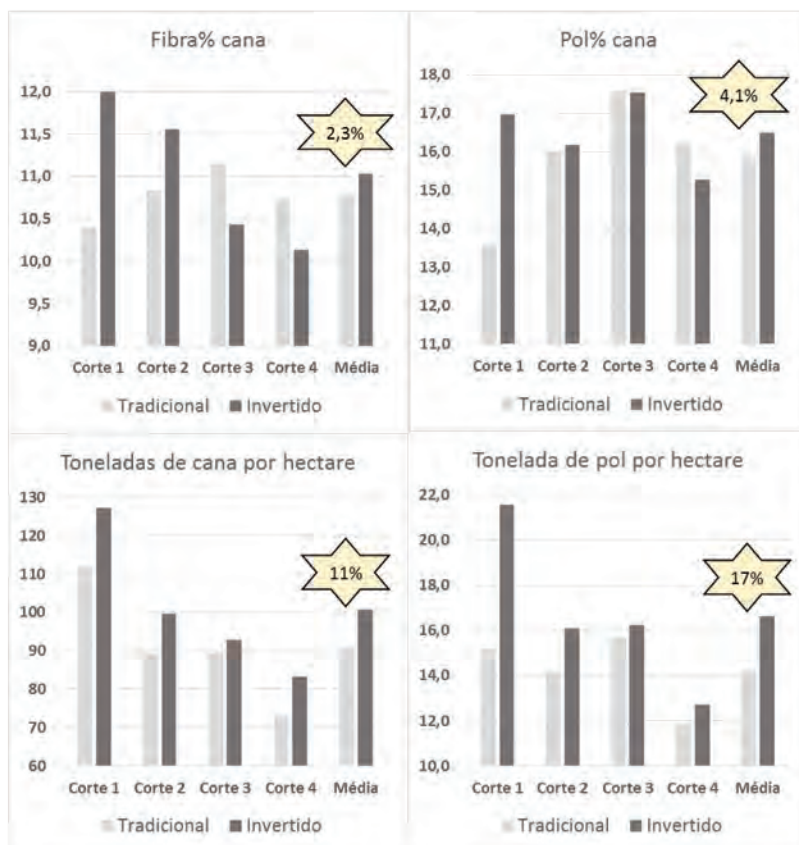
**Tabela 2.** Resultados médios e diferenças estatísticas da média das 16 variedades analisadas para as variáveis fibra, PCC, TCH e TPH, nos ensaios colhidos na região de Piracicaba.

ESTÁGIO DE CORTE	FIBRA			PCC		
	Tradicional	Invertido	Signif.	Tradicional	Invertido	Signif.
Corte 1	10,40	12,00	***	13,58	16,97	***
Corte 2	10,84	11,55	***	15,98	16,18	n.s
Corte 3	11,15	10,44	***	17,58	17,53	n.s
Corte 4	10,75	10,13	***	16,21	15,28	***
<b>Média</b>	<b>10,79</b>	<b>11,03</b>	n.s.	<b>15,84</b>	<b>16,50</b>	***
<b>C.V.(%)</b>	<b>2,15</b>	<b>2,81</b>		<b>1,67</b>	<b>2,29</b>	

ESTÁGIO DE CORTE	TCH			TPH		
	Tradicional	Invertido	Signif.	Tradicional	Invertido	Signif.
Corte 1	111,8	127,1	***	15,16	21,57	***
Corte 2	88,9	99,6	***	14,19	16,06	***
Corte 3	89,4	92,7	n.s	15,70	16,24	n.s.
Corte 4	73,1	83,2	***	11,82	12,72	n.s.
<b>Média</b>	<b>90,9</b>	<b>100,7</b>	***	<b>14,23</b>	<b>16,63</b>	***
<b>C.V.(%)</b>	<b>6,63</b>	<b>4,67</b>		<b>7,25</b>	<b>5,22</b>	

Na (Figura 2), apresenta-se uma análise gráfica dos resultados da região de Piracicaba. Os valores obtidos pela variável FIBRA foram maiores no sistema Invertido nos dois primeiros cortes. Nos dois cortes seguintes o sistema Tradicional obteve maiores valores de Fibra. Na média dos quatro cortes a FIBRA obtida no sistema Invertido foi 2% superior. Já para o teor de sacarose, medido pela variável PCC, observou-se um ganho de 4% a favor do sistema Invertido.

**Figura 2.** Resultados médios e diferenças percentuais da média das 16 variedades analisadas para as variáveis fibra, PCC, TCH e TPH, nos ensaios colhidos na região de Piracicaba



Para variável TCH, observou-se o ganho mais consistente para o sistema Invertido. Em todos os estágios de corte, o sistema Tradicional apresentou produtividade inferior ao Invertido, sendo que na média dos quatro cortes essa diferença foi igual a 11%. Esses resultados refletiram na análise da variável TPH onde o sistema Invertido foi sempre superior ao Tradicional, totalizando um ganho de 17% na média dos quatro cortes.

Na (Tabela 3) são apresentados os resultados médios dos ensaios colhidos na região de sul de Goiás. Para a variável FIBRA não houve diferença significativa entre os sistemas Tradicional e Invertido na média dos quatro cortes, enquanto que para a variável PCC o sistema Invertido foi significativamente superior.

**Tabela 3.** Resultados médios e diferenças estatísticas da média das 16 variedades analisadas para as variáveis fibra, PCC, TCH e TPH, nos ensaios colhidos na região de Goiás Sul.

MÉDIA GERAL	FIBRA			PCC		
	Tradicional	Invertido	Signif.	Tradicional	Invertido	Signif.
Corte 1	10,67	11,70	***	11,63	15,37	***
Corte 2	11,89	12,09	n.s.	14,51	14,45	n.s.
Corte 3	11,31	10,61	***	16,01	15,25	***
Corte 4	10,96	11,24	n.s.	16,83	16,04	***
<b>Média</b>	<b>11,21</b>	<b>11,41</b>	n.s.	<b>14,75</b>	<b>15,29</b>	**
<b>C.V.(%)</b>	<b>3,35</b>	<b>3,35</b>		<b>2,55</b>	<b>2,68</b>	

ESTÁGIO DE CORTE	TCH			TPH		
	Tradicional	Invertido	Signif.	Tradicional	Invertido	Signif.
Corte 1	95,1	86,6	***	11,06	13,29	***
Corte 2	96,8	88,1	***	14,03	12,73	***
Corte 3	61,2	81,3	***	9,76	12,40	***
Corte 4	71,8	95,7	***	12,08	15,37	***
<b>Média</b>	<b>81,2</b>	<b>87,9</b>	**	<b>11,73</b>	<b>13,45</b>	***
<b>C.V.(%)</b>	<b>5,22</b>	<b>5,57</b>		<b>6,04</b>	<b>6,51</b>	

Cumprir destacar que num ambiente climático mais restritivo, nos dois primeiros cortes, o sistema Tradicional foi significativamente superior para a variável TCH. No entanto, esse resultado foi o oposto nos terceiro e quarto cortes com amplos ganhos para o sistema Invertido, resultando em um ganho significativo para o sistema Invertido na média dos quatro cortes.

Com exceção do segundo corte, o TPH no sistema Invertido foi significativamente superior em todos os demais cortes. Na média dos quatro cortes, o sistema Invertido foi significativamente superior.

A (Figura 3) apresenta os resultados da análise gráfica dos resultados dos ensaios da região sul de Goiás. Para a variável FIBRA o sistema Tradicional foi superior ao Invertido apenas no terceiro corte. Na média dos quatro cortes a FIBRA obtida no sistema Invertido foi 2% superior. Já para a variável PCC o ganho obtido pelo sistema Invertido no primeiro corte compensou a perda verificada nos demais cortes, resultando em um acréscimo de 4% na média dos quatro cortes.

Para a variável TCH o sistema Invertido obteve valor 8% superior ao sistema tradicional na média de quatro cortes. Isso ocorreu em função de os valores de TCH obtidos pelo sistema Tradicional irem reduzindo conforme os estágios de corte avançavam. O mesmo não ocorreu no sistema Invertido onde o TCH se manteve praticamente estável nos quatro cortes. Considerando o resultado de açúcar por área, medido pela variável TPH, o sistema Invertido foi 15% superior ao sistema Tradicional, na média dos quatro cortes para a média das 16 variedades.

### Conclusões

O manejo da época de colheita na cultura da cana-de-açúcar provoca influência significativa nos resultados da produtividade agrícola.

O sistema Invertido, colhendo-se o primeiro corte no final de safra e os demais cortes nos meses anteriores, apesar de propiciar um número menor de dias de desenvolvimento para as plantas nas socas, apresentou resultados de produtividade do ciclo total significativamente superiores, principalmente para as variáveis toneladas de cana por hectare e toneladas de pol por hectare.

Sugere-se que esse modelo seja validado em condições de exploração comercial para se verificar se seria exequível essa adaptação ao manejo atual empregado, considerando-se inclusive os resultados em anos agrícolas distintos.

### Agradecimentos

Agradecemos ao pesquisador Thiago O. M. de Paula pela excelente contribuição tanto na condução dos ensaios como na redação desse texto.

### Referências Bibliográficas

- BERTOLANI, F. C.; JOAQUIM, A.C.; DONZELLI, J. L. C. Sistema de classificação edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar. Capítulo do livro **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília: Embrapa, p. 362-373, 2015.
- BRAGA JR., R. L. C. Censo varietal e de produtividade 2010. Caderno do CTC – **Centro de Tecnologia Canavieira**, Piracicaba, 2010. 32p.
- BRAGA JR., R. L. C.; BENEDINI, M. S. Manejo da época de corte do canavial por idade e ambiente de produção. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, ano 5, n. 54, p.28-30, dez. 2010.

BRAGA JR., R. L. C.; NARDY, V. Efeito do estágio médio de corte na produtividade dos canaviais da região Centro-Sul. **Revista da STAB**, Piracicaba, v. 32, n. 4, p.18-19, mar-abr. 2014.

CALDAS, C. Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras. Maceió: Sindicato da Indústria e do Alcool do Estado de Alagoas, 1998. 424p.

R Development Core Team (2011), R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. **R Foundation for Statistical Computing**. ISBN: 3-900051-07-0. Available online at <http://www.R-project.org/>.

UNICA. Relatório quinzenal de 01 de abril de 2016. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em 13/04/2016.



## CONTRIBUIÇÕES DE SISTEMAS DE PREPARO PARA A PRODUÇÃO E ACÚMULO DE CARBONO NA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR, SOB PLANTIO DE NOVEMBRO EM GUAÍRA-SP

Nilza Patrícia Ramos<sup>1</sup>, Rebeca Ramos<sup>2</sup>, Tamires Esther Ferreira<sup>3</sup>, Débora F. De Souza<sup>4</sup>, Henrique Vasquez<sup>5</sup>, Mateus, S. G. da Silva<sup>5</sup>; Rogério P. Alves<sup>5</sup>; Gustavo V. Gomes<sup>5</sup>, Ana Paula C. Packer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; <sup>2</sup>Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas-SP; <sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista – FCA-Botucatu-SP; <sup>4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Inconfidentes-MG; <sup>5</sup>Usina Açucareira Guaira-UAG Guaira-SP.

nilza.ramos@embrapa.br

### Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar a contribuição do preparo do solo para a produção e acúmulo de carbono na biomassa de cana-de-açúcar, sob plantio de novembro em Guaira-SP. O período experimental foi de novembro de 2013 e agosto de 2014, após pousio, sob latitude 20°30'33"S, longitude 48°11'18"W. Foram testados três tratamentos (convencional, reduzido e plantio direto) de preparo/plantio com a variedade IAC 95-5000, em blocos casualizados, com quatro repetições. Como parâmetros avaliou-se: número de perfilhos ( $n^{\circ} m^{-1}$ ), altura (m), diâmetro (mm), produtividade de colmos ( $Mg ha^{-1}$ ), acúmulo de carbono ( $Mg ha^{-1}$ ) nas folhas verdes, secas, colmo, total e na palha. Usou-se análise de variância e Tukey para comparação de médias. Foi possível concluir que sob condição de estresse hídrico prolongado a produtividade de colmos em cana de plantio de novembro não se altera nos preparos reduzido e convencional; o acúmulo de carbono na biomassa total e na palha não se modifica com o preparo do solo, porém a qualidade da biomassa da palha gerada é superior no preparo reduzido e plantio direto, em relação ao convencional, devido à biomassa mais significativa de folhas verdes.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum* sp., biomassa total, plantio direto, carbono.

### Summary

The research aimed to evaluate the contribution of soil tillage system on yield and sugarcane carbon accumulation in November planting period in Guaira-SP. The study was carried out in 2013/2014 crop season (2013/Nov – 2014/August) after fallow area (20°30'33"S and 48°11'18"W). Three soil tillage systems (conventional, reduced tillage, and no-tillage) plotted in randomized blocks with four replications were tested using IAC 95-5000 sugarcane variety. Biometric methodology was used to determine number of tillers ( $n m^{-1}$ ), plant height (m), stalk diameter (mm), yield ( $Mg ha^{-1}$ ) and carbon accumulation ( $Mg ha^{-1}$ ) in green leaves, dried leaves, stalk, total and straw. The variance analysis and Tukey test were used for mean evaluation. It was possible to conclude that sugarcane stalk yield in November planting does not change between reduced and conventional tillage, but is affected negatively by a long drought period. Carbon accumulation in sugarcane biomass and straw compound are not affected by soil tillage, however the quality of the straw is higher in reduced and no tillage systems than conventional, due to presence of more green leaves.

**Keywords:** *Saccharum officinarum* sp., whole biomass, no tillage, carbon.

### Introdução

O Brasil possui aproximadamente 9,8 milhões de hectares de área colhida com cana-de-açúcar (FAO, 2016), dos quais 54% é cultivado em terras paulistas, sob expressiva colheita mecanizada e crua, que atinge 85% do seu território (IEA, 2015). Esta relevância está associada ao aproveitamento quase total da cultura como matéria-prima, voltada para a produção de açúcar, biocombustível, fertilizante, energia elétrica (Goldemberg, 2007; Rossetto *et al.*, 2008; CGEE, 2009) e outros químicos; passando a ser referenciada com o termo fonte de biomassa.

O último grande passo em direção ao termo biomassa foi o aproveitamento da palha, implementado após a conversão extensiva dos canaviais para o sistema de colheita crua e mecanizada. Esta intensificação trouxe problemas relacionados à compactação, erosão do solo (CAMILOTTI *et al.*, 2005), redução de longevidade e produtividade (SILVA *et al.*, 2000); os quais foram parcialmente minimizados com o controle de tráfego, que se propôs a reduzir os danos físicos causados pela mecanização (ROQUE *et al.*, 2010). Entretanto, os elevados custos operacionais da combinação desta nova tecnologia com as demais práticas consolidadas de conservação do solo, condicionou o uso de técnicas isoladas, sem respaldo científico (IAC, 2016) e validação legal; elevando substancialmente os riscos de degradação ambiental.

Atualmente, várias áreas de cana-de-açúcar paulistas enfrentam a problemática de perda de solo e produtividade, o que favoreceu a retomada da discussão sobre práticas conservacionistas já consolidadas e inovações (IAC, 2016). A adoção do sistema plantio direto, visto com cautela para cana-de-açúcar por não respeitar totalmente as premissas de rotação de culturas e baixa movimentação do solo (MATEUS & SANTOS, 2012), passou a ser uma opção viável.

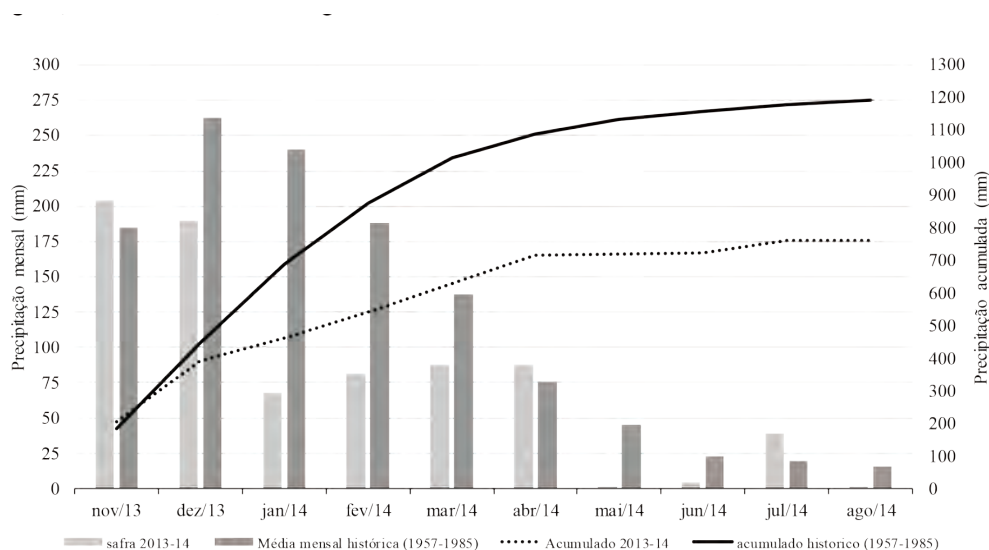
Existem relatos positivos do uso do plantio direto da cana-de-açúcar, em relação ao convencional, obtidos em experimentação de longo prazo (BOLONHEZI & GONÇALVES, 2015) e mesmo dentro de apenas um corte, com aumento de até 37 % no rendimento de colmos (DUARTE JR & COELHO, 2008); assim como ausências de diferenças (CARVALHO *et al.*, 2011), que por si já favorecem economicamente o sistema conservacionista. Entretanto, até o presente momento, os resultados dizem respeito ao rendimento de colmos, de açúcar, sem considerar a biomassa total; o que reforça a existência de um amplo campo a ser explorado para a valorização dos demais componentes vegetais, da energia gerada e do efeito frente as mudanças climáticas.

No contexto apresentado, o trabalho teve como objetivo avaliar a contribuição do sistema de preparo para a produção e acúmulo de carbono na biomassa da cana-de-açúcar, sob plantio de novembro em Guaira-SP.

### Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido entre novembro de 2013 e agosto de 2014, em área comercial da Fazenda Antas, localizada no município de Guairá-SP, latitude 20°30'30" S, longitude 48°11'18" W e altitude de 530 m. O clima da área é tropical úmido, segundo KÖPPEN-GEIGER, com precipitação do período e média histórica descritas na (Figura 1). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Acriférrico (SANTOS *et al.* 2006), de textura argilosa (643 g kg<sup>-1</sup> de argila e 154 g kg<sup>-1</sup> de areia) em relevo plano, com atributos químicos iniciais, na camada 0-20 cm, sendo: pH= 5,3; M.O= 33 g dm<sup>-3</sup>; Pres= 23 mg dm<sup>-3</sup>; K= 5,9 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca= 44,8 mg dm<sup>-3</sup>; Mg= 9,8 mmolc dm<sup>-3</sup>; S= 21 mg dm<sup>-3</sup> e V%= 66.

**Figura 1.** Precipitação mensal e acumulada durante a safra 2013-2014 e a média histórica para cana-de-açúcar sob plantio de novembro, Guairá-SP.



A instalação ocorreu em novembro de 2013 com intenção de cultivo de cana de ano (12 meses), em área de reforma, que permaneceu em repouso por 12 meses após a colheita anterior. Os tratamentos consistiram em três opções de preparo e plantio da variedade IAC 95-5000, sendo: convencional (grade niveladora + subsolagem a 50 cm + plantio com sulcadora-adubadora-plantadora + cobertura de sulco), preparo reduzido (subsolagem a 50 cm + plantio com sulcadora-adubadora-plantadora + cobertura de sulco) e plantio direto (plantio com sulcadora-adubadora-plantadora + cobertura de sulco). O delineamento foi de blocos casualizados em quatro repetições, com parcelas experimentais de 20 linhas de 30 m de comprimento (espaçamento 1,5 m) e área útil total de 756 m<sup>2</sup>. Para o plantio usou-se 20 gemas por metro linear, com adubação de 285 kg ha<sup>-1</sup> de MAP (04-49-00) e 260 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, no fundo do sulco. Não foi aplicada vinhaça nem irrigação. A colheita, prevista para doze meses de cultivo, foi antecipada para nove devido à condição de estresse hídrico intenso.

Como variáveis avaliou-se por biometria: número de perfilhos (nº m<sup>-1</sup>), altura da planta (m), diâmetro do colmo (mm) e produtividade de colmos (Mg ha<sup>-1</sup>). Também se determinou o acúmulo de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) total, na palha e nos componentes folhas verdes, folhas secas e colmo, pela equação QC = [biomassa seca (Mg ha<sup>-1</sup>) x conc. de C (g kg<sup>-1</sup>)], sendo a concentração do carbono determinada por combustão via seca, em analisador elementar TruSpec CN LECO®. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas por Tukey, utilizando-se o pacote estatístico SISVAR.

### Resultados e Discussão

Houve efeito significativo do tipo de preparo do solo para o plantio de novembro da variedade IAC 95-5000 de cana-de-açúcar, em cultivo de nove meses em Guairá-SP, sobre as variáveis altura de plantas e produtividade de colmos, sem alterações no diâmetro, número de perfilhos e principalmente no acúmulo total de carbono (Tabela 1). A altura de plantas foi levemente favorecida pelo tratamento reduzido (RED) em relação ao convencional (CONV), sem diferenças de ambos para o plantio direto (PD); enquanto a produtividade de colmos também não se alterou no RED em relação aos demais tratamentos, mas apresentou superioridade de 9 t ha<sup>-1</sup> do CONV sobre PD. Cabe mencionar que não se fez o desconto da taxa de falhas no cálculo da produtividade, sendo 5,5% a média para CV e PD de 2,6% para RED. Cabe destacar que as condições climáticas foram atípicas no ano de 2014 (Figura 1), com déficit de mais de 430mm no ciclo total, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro (28% da chuva esperada), que coincidiu com o período de maior exigência da cana-de-açúcar em função do rápido crescimento, que fica entre os 60 e 150 dias após o plantio (RAMESH, 2000). Restrições dentro deste período comprometem a taxa fotossintética em até 50% (HARTT & BURR, 1967) e conseqüentemente o crescimento e a produtividade.

O comprometimento do crescimento se prolongou com a continuidade do estresse, culminando com a antecipação da colheita para se evitar a morte do ponteiro, o que permitiu valores máximos de altura, diâmetro de colmo e produtividade de 1,35 m, 26,95 mm e 41,15 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 1), considerados baixos para o padrão da variedade. O perfilhamento por sua vez não se alterou com os tratamentos e com o estresse hídrico, ficando entre 13-15 perfilhos por metro linear, dentro do preconizados por CASAGRANDE (1996).

**Tabela 1.** Altura de planta, diâmetro de colmo, número perfilhos/metro, toneladas de colmo por ha<sup>-1</sup> (TCH), quantidade de carbono acumulado na palha (QCpalha) e quantidade de carbono total (QCtotal), em ensaio com diferentes preparos de solo para a cana-de-açúcar. Guaiúba-SP.

Preparo	Altura (m)	Diâmetro (mm)	NP/m (nº m <sup>-1</sup> )	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	QC <sub>palha</sub> <sup>1</sup> (Mg ha <sup>-1</sup> )	QC <sub>total</sub> <sup>2</sup> (Mg ha <sup>-1</sup> )
CONV	1,25b	25,95a	13,63a	41,14 <sup>a</sup>	3,75a	7,63a
RED	1,35a	26,16a	14,81a	35,74ab	4,16a	7,70a
PD	1,30ab	26,51a	15,04a	32,29b	4,36a	7,15a
CV	6,30*	5,29 <sup>n.s.</sup>	14,24 <sup>n.s.</sup>	23,13*	19,00 <sup>n.s.</sup>	16,59 <sup>n.s.</sup>

<sup>n.s.</sup> não significativo \* significativo p<0,05

<sup>1</sup>Palha= folha verde + folha seca

<sup>2</sup>Total= folha verde + folha seca + colmo

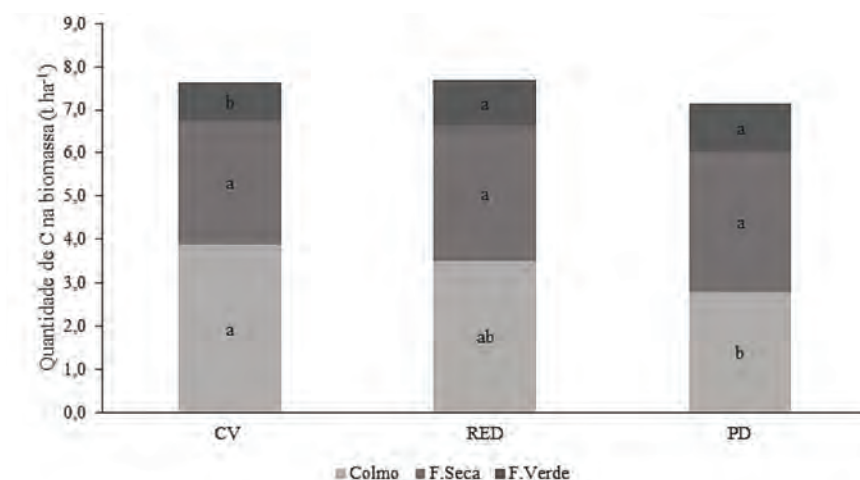
A produtividade similar do tratamento RED em relação aos demais tipos de preparo do solo (Tabela 1) foi relatada por CARVALHO *et al.* (2011), que também não identificaram diferenças entre vários tipos de preparo convencionais e o plantio direto sobre soja, em estudo de cana de 10 meses, cultivada no outono com a variedade SP81-3250 (média de 140 t ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, discorda de DALBEN *et al.* (1983) que verificaram 11 % de superioridade do PD em relação ao CONV para cana variedade SP70-1143, sem cultura de rotação.

BOLONHEZI (2007) e DUARTE JR & COELHO (2008) atribuem os benefícios do PD em relação ao CONV à presença da cultura de rotação, que fornece nutrientes por ciclagem, modificam a estrutura do solo pela presença de raízes de arquitetura distinta e por fim complementam o agrossistema da cana-de-açúcar. Como no presente estudo a área ficou em pousio, com a presença apenas de plantas espontâneas, não houve esta contribuição expressiva de uma cultura plantada para o sistema de produção, o que juntamente com o estresse hídrico pode ter minimizado os benefícios esperados.

A respeito do acúmulo de carbono verificou-se que as quantidades determinadas na palha (QCpalha) e total (QCtotal) não diferiram entre os tratamentos (Tabela 1), indicando que para as condições do estudo, o preparo não influenciou esses parâmetros. Porém, a análise individualizada dos componentes (Figura 2), ao mesmo tempo que confirmou que o preparo RED não difere dos demais, também indicou que o acúmulo de carbono nas folhas verdes foi inferior no tratamento CONV em relação aos PD e RED.

O maior acúmulo de carbono nas folhas verdes do PD e RED, associada com maior altura de plantas e mesmos valores de perfilhamento e diâmetro de colmo, em relação ao tratamento CONV, indica o melhor desenvolvimento das plantas nos dois primeiros tratamentos. A redução da área foliar e o maior acúmulo de metabólitos no colmo em detrimento das folhas são estratégias confirmadas de adaptação da cana-de-açúcar às condições de estresse hídrico (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; SMIT & SINGELS, 2006); o que suporta a afirmação de que, no presente estudo, os tratamentos sem grandes movimentações de solo favoreceram a retenção temporária de água neste componente. Porém, isto não se manteve por todo o ciclo, em função do longo período de déficit hídrico, o que levou ao atraso na maturação dos colmos, reforçado pela antecipação da colheita, com conseqüentemente impacto negativo na produtividade.

**Figura 2.** Quantidade de carbono acumulado em folha verde, folha seca e colmo em função de sistema de preparo-plantio para as condições de Guaiúba-SP.



A contribuição da palha para a biomassa total pode ser visualizada pela QCpalha (Tabela 1) que não diferiu entre os tratamentos. O valor médio da biomassa seca de palha foi de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup>, dentro do observado na literatura para cana-de-açúcar, que varia de 7 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> (ROBERTSON & THORBURN, 2007; VITTI *et al.*, 2008), porém, relativamente baixo para uma cana-planta. Entretanto, a qualidade da palha teve uma tendência de superioridade dos preparos RED e PD em relação ao CV, pois o componente folhas verdes foi 28% superior nestes dois tratamentos (Figura 2), o que implica num maior potencial de mineralização deste elemento, em função dos maiores teores de nitrogênio nas folhas verdes, cerca de 1,0 % em relação as folhas secas, média de 0,5% (HUSSUANI *et al.*, 2005).

Como a palha possui dupla finalidade na cadeia produtiva da cana-de-açúcar (biomassa para queima/etanol 2ª geração ou como matéria prima para ciclagem de nutrientes) a interpretação do efeito do tipo de preparo variou conforme seu potencial de aproveitamento. Assim, para uso como biomassa a ser recolhida não se verificou diferenças de produção entre os tipos de preparo, baseadas na análise da QCtotal (Tabela 1), por outro lado para a manutenção da palha em campo e contribuição para a matéria orgânica, estoques de carbono e microbiota do solo (GALDOS *et al.*, 2009; CANELLAS *et al.*, 2010) os tratamentos RED e PD foram os de maior destaque, em função do maior acúmulo de folhas verdes (Figura 2).

### Conclusões

Sob condição de estresse hídrico prolongado a produtividade de colmos em cana de plantio de novembro não se altera nos preparos reduzido e convencional;

O acúmulo de carbono na biomassa da palha gerada é superior no preparo reduzido e plantio direto, em relação ao convencional, devido à biomassa mais significativa de folhas verdes.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio e dedicação da equipe agrícola da Usina Açucareira Guaíra – UAG no desenvolvimento das atividades de campo e à Embrapa pelo fomento à pesquisa por meio do projeto QUALICANA (02.11.07.022.00.00).

### Referências Bibliográficas

- BOLONHEZI, D. Uso de adubos verdes na renovação de canavial. In: Silvelina Vanzolini SEGATO, S. V; FERNANDES, C; PINTO, A. S. (Orgs) **Expansão e renovação de canavial**. 1ed. Ribeirão Preto: CP 2, v. 1, p.159-174.2007.
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F.L.F.; CASAGRANDE, A.A.; SILVA, A.R.; MUTTON, M.A.; CENTURION, J.F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.189-198, 2005.
- CANELLAS, L.P.; BUSATO, J.G.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; RUMJANEK, V.M. & OLIVARES, F.L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugar cane. **European Journal of Soil Science**, v. 61, p.375-383, 2010.
- CARVALHO, L. A. de; SILVA J.; CARLOS A. N.; WALDER A. G.A. de; MEURER, I., SOUZA J.; WALTER S. de. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa v. 34, n. 1, p. 199-211, 2011.
- CASAGRANDE, A. A. Crescimento da cana-de-açúcar. *Revista Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.14, n.5, p.7-8, 1996.
- CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**. CGEE, Brasília, DF, 536p.
- DALBEN, E. A.; NELLI, E. J.; ALMEIDA, O. J.; DEMATHÊ, J. L. I. Plantio direto de cana-de-açúcar em solos de baixa fertilidade. **Revista Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba v.3, n.12, p.30-32, 1983.
- DUARTE JR, J.B.; COELHO, F.C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.576-583, 2008.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Homepage. FAOSTAT, 2013. Disponível em: < <http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 25/04/2016.
- GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K.; ANTWERPEN, R. van. Simulation of sugarcane residue decomposition and aboveground growth. **Plant Soil**, v.326, p.243-259, 2010.
- GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science Magazine**, Washington DC., v.315, p.808-810, 2007.
- HARTT, C.E. & BURR, G.O. Factors affecting photosynthesis in sugar cane. **International Society of Sugar Cane Technologists**, v.12, p.590-609,1965.
- HASSUANI, S.J.; LEAL, M.R.L.V.; MACEDO, I.C. Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash. In **Série Caminhos para Sustentabilidade**. Piracicaba: PNUD-CTC; 2005.
- IAC-INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Recomendações Gerais para a Conservação do Solo na Cultura da Cana-de-açúcar**, 2016. 75p. (Boletim Técnico 1).
- IEA-INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Mecanização na Colheita da Cana-de-açúcar Atinge 84,8% na Safra Agrícola 2013/14. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo. Disponível em: <<http://www.iesa.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=13601>>. Acesso em: 16/04/2016.
- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.
- MATEUS, G. P.; SANTOS, N.C.B. Sistema plantio direto e a conservação dos recursos naturais. *Pesquisa & Tecnologia*, v.9, n.2, 2012.
- RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.185, p.83-89, 2000.
- ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequence for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research** v. 45, p.13-23, 2007.
- ROQUE, A. A. de O.; SOUZA, Z. M. de; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. de. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, 2010.
- ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; GAVA, G.J.C.; MELLIS E.V. VARGAS V.P.; CANTARELLA, H.; PRADO, R.D.; DIAS, F.L.F.; LANDELL, M.G.A.; BRANCALÃO, S.R.; GARCIA J.C. Cana-de-açúcar: cultivo com sustentabilidade. **Informações Agrônomicas**, n.124, p.8-13, 2008.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306p.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 239-249, 2000.
- SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crop Research**, v.98, p.91-97, 2006.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; TRIVELIN, M. O.; TOALIARI, J. G. Mineralização da palhada e desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

## URAN COMO FONTE DE NITROGENIO NA SOQUEIRA DE CANA

Fábio Luis Ferreira Dias<sup>1</sup>, Raffaella Rossetto<sup>1</sup>, Magno Dias Avila<sup>1</sup>, Luis Ignácio Prochinow<sup>3</sup>,  
Eros Francisco<sup>3</sup>, Fabiano Coelho<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Programa cana-de-açúcar/IAC/APTA - Pólo Regional Centro Sul – Piracicaba-SP, CEP 13412-050

<sup>3</sup> INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, <sup>4</sup>USINA IRACEMA – GRUPO SÃO MARTINHO

dias@iac.sp.gov.br

### Resumo

O estudo foi realizado em área comercial com variedade RB96-6928 colhida mecanicamente sem queima, pertencente a Usina Iracema no município de Iracemópolis (SP) na safra 2014/2015 em um Latossolo Vermelho distrófico. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados seguidos por 4 repetições em esquema fatorial triplo (3x3x2), três fontes (Uran, Nitrato de Amônio e Ureia), três doses (60, 120 e 180 kg/ha) e dois modos (aplicação incorporada e na superfície) + 4 tratamentos adicionais. Foram avaliados os parâmetros de estabelecimento da cultura e stand, bem como os tecnológicos e de produtividade agroindustrial. As seguintes conclusões puderam ser obtidas: o Uran é uma fonte com potencial para ser usado na lavoura de cana-de-açúcar, podendo ser aplicado em superfície mantendo as mesmas recomendações técnicas de adubação para a lavoura, no entanto, outros estudos são necessários para verificação do melhor manejo (época, dose, variedade).

**Palavras-chaves:** nutrição, disponibilidade, fertilizante, manejo, modo de aplicação.

### Summary

The study was conducted in a commercial area of sugarcane variety RB96-6928 mechanically harvested without burning, belonging to Iracema Sugar mill in Iracemópolis (SP), season 2014/2015 in an Oxisol. The experimental design was a randomized block with 4 repetitions in a triple factorial (3x3x2), three sources (Uran, Ammonium Nitrate and urea), three doses (60, 120 and 180 kg / ha) and two applications (incorporated and surface application) + 4 additional treatments. We evaluated the germination and initial development parameters, stand, as well as technological and agro-industrial productivity. The following conclusions can be assigned: Uran is a potential source to be used in sugarcane; can be applied to the surface while maintaining the same fertilization of technical recommendations for the crop, however, new studies must be done to test the best management (time, dose, variety).

**Keywords:** nutrition, availability, fertilizer management, application mode.

### Introdução

A cultura da cana-de-açúcar é produto líder no setor agropecuário brasileiro e seu interesse vem aumentando expressivamente em razão dos preços em alta do açúcar no mercado internacional e de um crescente consumo interno do etanol, devido ao número cada vez maior de veículos flex. O Estado de São Paulo, destaca-se na região centro-sul brasileira dentre os demais da federação como o maior produtor nacional de cana-de-açúcar e subprodutos com participação de 51,3% dos quase 9 milhões de hectares plantados com a cultura na safra 2013/2014 (CONAB, 2015), assim a cultura vem atingindo números cada vez maiores em área plantada com um incremento de aproximados 126 mil hectares no estado de São Paulo para a safra 2015/2016. Não somente a expansão de áreas que vem trazendo aumento na produtividade, mas também novas tecnologias surgem a cada momento para o auxílio nestes ganhos.

Deste modo, a tendência do setor é continuar avançando, aumentando áreas cultivadas e também buscando o aumento da produtividade e, um dos parâmetros que está diretamente ligado ao aumento das produtividades, diz respeito à nutrição e adubação de cana-de-açúcar com baixa eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados, principalmente quando se trata da soqueira de cana colhida mecanicamente sem queima prévia, onde a principal fonte utilizada é a Uréia, em função do menor custo por unidade de nitrogênio (N) nela contida, porém, quando esta é aplicada superficialmente, implica em grandes perdas de amônia por volatilização (VITTI *et al.*, 2007).

O nitrogênio é o segundo nutriente mais exigido e esse tem papel importante na nutrição e na fisiologia da cana-de-açúcar, pois é constituinte dos aminoácidos, proteínas, enzimas e ácidos nucleicos (MALAVOLTA *et al.*, 1997). A assimilação de nitrogênio é estritamente relacionada com o metabolismo de carboidratos e provoca acentuada diminuição nos teores de açúcares do colmo, com menor expressão na bainha (SILVEIRA, 1985).

Conforme CANTARELLA *et al* (2007), são recomendados para soqueiras de cana no Estado de São Paulo, 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, dependendo da produtividade esperada (RAIJ *et al.*, 1996) pois a necessidade deste elemento é correlacionada com o potencial produtivo de fitomassa, sendo assim se a produção de fitomassa for alta a necessidade de N também será elevada.

Para tal suprimento e como fonte alternativa de N em meio a aquelas já consolidadas, a fonte Uran por se caracterizar como líquida e apresentar 32% de N (14% de N-ureia e 18% N-Nitrato de amônio) sendo similar ao nitrato de amônio em composição total de N; torna-se uma opção prática para o manejo da adubação de cobertura. Sua produção é a partir da mistura de seus componentes na forma líquida sem que os mesmos tenham passado pela granulação. Quando aplicado ao solo, ele estará sujeito às transformações habituais do N inclusive perdas por volatilização, na parcela relativa ao 14% de uréia (ACHORN, 2000), apresenta-se, no entanto, mais estável e possui maior aplicabilidade.

A busca por formas alternativas de suprimento de N e melhor eficiência do uso do nutriente devem ter destaque e merecem atenção especial, visto que o nutriente pode produzir impactos ambientais negativos. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar a eficiência de fontes de fertilizante nitrogenado em soqueira de cana em dois manejos de aplicação, no que diz respeito a sua eficiência/economicidade, permitindo a longevidade do canavial e sustentabilidade da cultura.

### Material e Métodos

O estudo foi realizado em área comercial da Usina Iracema no município de Iracemópolis (SP) sob as coordenadas S 22°31'252" e W47°29'656", unidade essa vinculada ao grupo São Martinho perante a safra 2014/2015. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada na pesquisa foi a RB96-6928 em terceira soca, sendo colhida sem queima, donde obteve-se como palhada residuária sob o solo coletada em 5 pontos distintos os valores de 15,62 e 7,45 ton.ha<sup>-1</sup>, respectivamente peso úmido e seco. As produtividades de colmos das safras anteriores foram: safra 11/12 - 140 ton, safra 12/13 - 95 ton; safra 13/14 - 71 ton.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados seguidos por 4 repetições em esquema fatorial triplo (3x3x2), três fontes (Uran, Nitrato de Amônio e Ureia), três doses (60, 120 e 180 kg/ha) e dois modos de aplicação (incorporado e na superfície) + 4 tratamentos adicionais, totalizando 22 tratamentos.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, sendo que os parâmetros químicos e físicos do solo no momento da instalação dos experimentos podem ser verificados na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise das variáveis químicas e físicas do solo antecedendo a instalação da área experimental.

Parâmetros	Profundidade		
	0-20	20-40	80-100
M.O. (g/dm <sup>3</sup> )	23	18	11
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,4	5,1	5,1
P resina (mg/md <sup>3</sup> )	6	4	4
K (mmolc/dm <sup>3</sup> )	1,8	1,2	0,5
Ca (mmolc/dm <sup>3</sup> )	34	33	20
Mg (mmolc/dm <sup>3</sup> )	15	15	8
Al (mmolc/dm <sup>3</sup> )	1	0	0
H + Al (mmolc/dm <sup>3</sup> )	25	34	28
S (mg/md <sup>3</sup> )	26	67	67
SB (mmolc/dm <sup>3</sup> )	51	49	29
CTC (mmolc/dm <sup>3</sup> )	76	83	57
V (%)	67	59	50
m (%)	2	0	0
Argila - <0,002 mm (g/kg)	492	449	516
Silte 0,053 - 0,002 mm (g/kg)	88	111	94
Areia total - 2,00 - 0,210mm (g/kg)	420	440	390
Areia Grossa - 2,00 - 0,210mm (g/kg)	150	160	140
Areia fina - 0,210 - 0,053 mm (g/kg)	270	280	250

<sup>1</sup> Análise realizada no Laboratório Agrotécnico Piracicaba Ltda.

<sup>1</sup>Análise realizada no Laboratório Agrotécnico Piracicaba Ltda.

As propriedades químicas e físicas das fontes nitrogenadas são: Uran (32%-N - Produto líquido (14% de N-ureia e 18% N-Nitrato de amônio); Nitrato de Amônio com 34% de nitrogênio ((NH<sub>4</sub>) + (NO<sub>3</sub>) -) (50% N-nitrato e 50% N-amoniaco) - Produto sólido, perolado, branco cristalino e; Sulfato de Amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) - Produto sólido, de reação entre o N-amoniaco e o ácido sulfúrico, doseando no mínimo 20,5% (N) e 60% (SO<sub>3</sub>).

A cana foi colhida mecanicamente sem queima no início de Maio/2014 e, entre os dias 22 à 28 de Maio quando a rebrota apresentou-se com altura de aproximadamente 20 cm de altura, a área foi dividida em parcelas, constituídas por seis linhas de cana com 1,5 metro de espaçamento e 14 m de comprimento, donde foram implantados os tratamentos adotados conforme fonte, dose e modo de aplicação dos fertilizantes.

Para a aplicação do Uran, foi utilizado equipamento com aplicador pressurizado ao lado da linha sobre a palhada da cana em superfície e enterrado, os demais tratamentos com fertilizantes granulados quando aplicados incorporados foram aplicados mecanicamente e manualmente sobre a palhada simulando a aplicação tratorizada.

A adubação com K foi balanceada para todos os tratamentos, suprindo a necessidade da cana-soca (140 kg de K<sub>2</sub>O), aplicado superficialmente sobre a palhada para todos os tratamentos logo após aplicação das fontes dos fertilizantes nitrogenados.

Durante todo o ciclo foi realizado manejo químico e físico de plantas espontâneas externamente e internamente do ensaio, bem como foi realizado o acompanhamento dos dados meteorológicos (dados não apresentados).

Nas avaliações, foram consideradas como área útil das parcelas, as duas linhas centrais, descontando as duas linhas em cada lateral da parcela (bordadura) e 1,0 m do início e fim de cada parcela/linha, realizando-se: contagem de perfilhos/colmos segundo método de STOLF (1986), avaliados em 28/07/2014, 21/10/2014 e colmos finais em 14/01/2015. Amostras dos tecidos foliares foram coletadas em 23/03/2015 culminando com a época de crescimento exponencial da cultura retirando-se a folha <sup>-1</sup> donde foram quantificados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S).

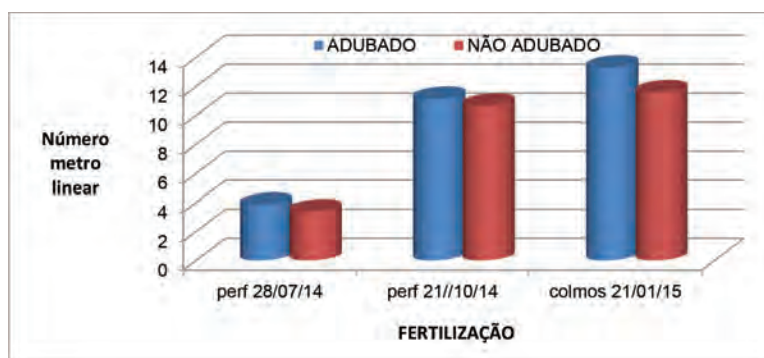
Para a quantificação do rendimento agrícola em toneladas de colmos por hectare – TCH, colheu-se a cana de cada parcela obtendo-se o peso de colmos com dinamômetro em 13/05/2015 e posteriormente retirou-se feixes de 10 canas para a análise tecnológica (BRX, Pol, AR, ATR) conforme CONSECANA, 1999 e, com os resultados obteve-se a TPH e TAH.

Os resultados foram submetidos à análise de variância; teste de Tukey com nível de significância de  $p < 0,05$  e análise de regressão, utilizando o “software” SAS.

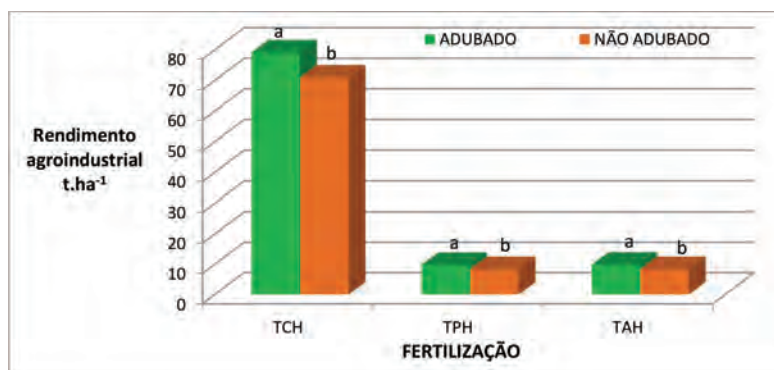
### Resultados e Discussão

O efeito do fornecimento de nitrogênio via adubação apesar de não apresentar diferenças estatisticamente significativas, favoreceu a brotação apresentado superioridade no perfilhamento e estabelecimento de colmos (Figura 1) com reflexos positivos no rendimento agroindustrial (tonelada de colmos por hectare -TCH, tonelada de Pol por hectare – TPH e na tonelada de açúcar recuperável por hectare - TAH), vide (Figura 2), reforçando a importância da adubação de soqueira, cujos teores de macronutrientes se mantiveram dentro da faixa adequada conforme RAIJ *et al* 1996 (dados não apresentados).

**Figura 1.** Efeito da adubação nitrogenada no perfilhamento e stand final de colmos.



**Figura 2.** Efeito da adubação nitrogenada no rendimento agroindustrial.



Na comparação da fonte, dose e modo de aplicação dos fertilizantes excluindo os tratamentos controle com dose zero e sulfato de amônio, pode se verificar ganhos estatisticamente positivos para os parâmetros PC, ATR, TCH, TPH e TAH (Tabela 2) para as fontes Uran e Nitrate de Amônio. A baixa resposta da uréia já era esperada, uma vez que, o N-amidico constituinte de sua fórmula está mais propenso a perdas por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) do que comparado às outras fontes, podendo estar relacionada à concentração do N-fertilizante em uma menor área, fazendo com que a urease presente na palha e/ou no solo proporcionasse uma atuação mais intensa na hidrólise da uréia. Conforme SINGH & NYE, 1984; KIEHLI, 1989 apud VITTI *et al*, 2007. A hidrólise consiste em uma reação química que consome  $\text{H}^+$  do meio, elevando, consequentemente, o pH, o que favorece a volatilização de  $\text{NH}_3$ , principalmente com doses consideradas elevadas do fertilizante. Portanto, a fonte de N-amidica aplicada em superfície e sob restos culturais, associada a temperaturas altas e baixa precipitação por longo período pode ter favorecido as perdas por volatilização reduzindo a eficiência da Ureia.

A ausência de respostas significativas quanto à dose e modo de aplicação dos fertilizantes, podem ser associadas as condições ambientais secas e com alta temperatura, bem como ao suprimento parcial de N imobilizado pela população microbiana pela decomposição de resíduos culturais da própria cultura dos ciclos anteriores, cujo sistema de colheita foi mecanizado sem queima. Possivelmente, respostas com efeitos mais significativos sejam expressos em ciclos subsequentes.

**Tabela 2.** Análise de variância fatorial entre fonte, dose e modo de aplicação para os parâmetros agroindustriais, excluindo os tratamentos controle.

	<b>BRIX</b> % caldo	<b>FIBRA</b> % cana	<b>PC</b>	<b>TCH</b>	<b>TPH</b>	<b>TAH</b>
<b>Fonte (F)</b>						
Uran	17,76	13,24	12,65 a	81,72 a	10,34 a	10,36 a
Nitrato	17,64	13,21	12,53ab	81,14 a	10,14 a	10,17 a
Uréia	17,30	14,06	11,79 b	74,38 b	8,81 b	8,91 b
<b>Dose (D)</b>						
60	17,56	13,42	12,30	78,35	9,68	9,74
120	17,46	13,41	12,31	80,50	9,92	9,97
180	17,67	13,68	12,35	78,39	9,68	9,73
<b>Modo (M)</b>						
Incorporado	17,46	13,60	12,24	79,24	9,71	9,76
Superficial	17,67	13,41	12,40	78,92	9,82	9,87
<b>Valor F</b>						
F	2,09	2,22	4,59*	4,58*	7,41**	7,12**
D	0,39	0,22	0,02	0,42	0,20	0,20
M	1,15	0,27	0,45	0,02	0,09	0,10
F x D	1,01	0,59	0,62	0,67	0,24	0,27
F x M	0,40	0,53	0,37	0,19	0,29	0,30
D x M	1,22	0,00	0,92	0,11	0,58	0,52
F x D x M	0,27	0,55	0,50	0,17	0,26	0,24
Bloco	0,82	1,06	0,80	3,16*	1,46	1,49
CV(%)	4,67	11,72	8,65	11,79	15,35	14,76
DP	0,82	1,58	10,6	9,32	1,49	1,44
Média Geral	17,57	13,50	12,32	79,08	9,76	9,81
DMS (F)	0,57	1,10	0,74	6,50	1,04	1,01
DMS (D)	0,57	1,10	0,74	6,50	1,04	1,01
DMS (M)	0,38	0,74	0,50	4,41	0,70	0,68

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey  $P < 0,05$ . \* e \*\* significativo ao nível de 5 e 1% respectivamente. CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio padrão e DMS – Diferença mínima significativa.

Realizando uma análise isolada para a dose de 120 kg.ha<sup>-1</sup> N entre as três fontes mais sulfato de amônio (Tabela 3), não se observa respostas estatisticamente significativas para os diversos parâmetros agroindustriais, porém é importante notar a superioridade para as fontes Uran, Nitrato de Amônio e Sulfato de amônio em relação a Ureia, que proporcionaram ganhos de aproximadamente 10 ton.ha<sup>-1</sup> em TCH e de aproximadamente de 1,0 t.ha<sup>-1</sup> de TPH e TAH.

**Tabela 3.** Análise de variância para os parâmetros agroindustriais na dose 120 kg.ha<sup>-1</sup> N.

	<b>BRIX</b> % caldo	<b>FIBRA</b> % cana	<b>PC</b>	<b>TCH</b>	<b>TPH</b>	<b>TAH</b>
<b>Fonte (F)</b>						
Uran	17,61	12,99	12,76	82,64	10,53	10,50
Nitrato	17,24	12,99	12,24	84,16	10,28	10,34
Uréia	17,54	14,24	11,93	74,68	8,96	9,06
AS	17,29	13,61	11,93	80,73	9,67	9,77
<b>Modo (M)</b>						
Incorporado	17,45	13,52	12,26	80,00	9,84	9,89
Superficial	17,39	13,39	12,17	81,11	9,88	9,98
<b>Valor F</b>						
F	0,50	0,76	0,96	1,25	1,49	1,37
M	0,05	0,04	0,06	0,09	0,00	0,01
F x M	0,39	0,14	0,46	0,28	0,38	0,34
Bloco	2,01	0,25	0,47	0,86	0,97	1,04
CV(%)	4,16	14,28	9,21	13,07	16,48	15,88
DP	0,72	1,92	1,12	10,53	1,62	1,57
Média Geral	17,42	13,46	12,22	80,55	9,86	9,92
DMS (F)	1,01	2,67	1,56	14,67	2,26	2,19
DMS (M)	0,53	1,41	0,82	7,74	1,19	1,15

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey  $P < 0,05$ . \* e \*\* significativo ao nível de 5 e 1% respectivamente, CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio padrão e DMS – Diferença mínima significativa.

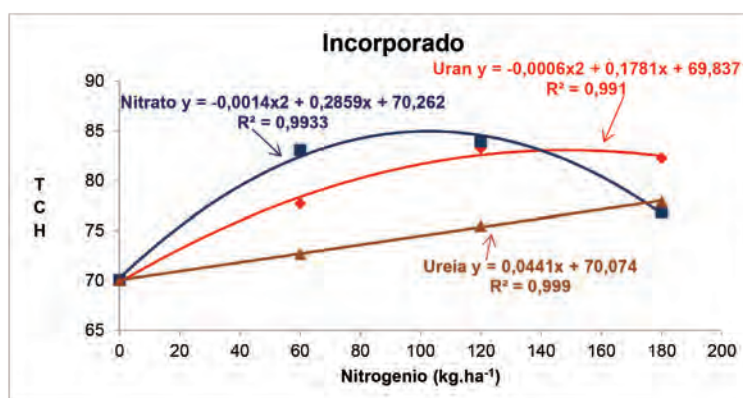


As (Figuras 3 e 4) mostram a curva de regressão das fontes e doses em função do modo de aplicação (manejo). Analisando as curvas para fonte nitrato de amônio nos dois modos de aplicação, observa-se comportamento semelhante até dose de 100 kg.ha<sup>-1</sup> obtendo-se uma produção máxima de TCH de ±85 t.ha<sup>-1</sup> com posterior queda de produção em dosagem maiores. Portanto a condição do fertilizante em conter parte de N-nítrico que é prontamente disponível e N-amoniacal para disponibilidade a prazo maior; perfazem esta condição de igualdade independente do manejo adotado.

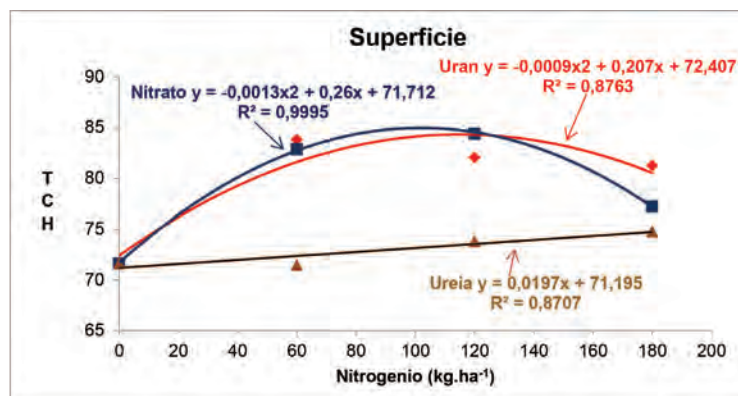
A Ureia apresentou desempenho inferior para todas as doses testadas em relação as demais fontes em ambos os manejos (incorporado ou superfície), fato este já esperado em função as grandes perdas provavelmente por volatilização. O manejo de incorpora-la reduziu essas perdas, o que trouxe um pequeno acréscimo em TCH, porém, isso deixa claro que apesar do seu menor custo por unidade de nitrogênio, esta vantagem foi comprometida por sua baixa eficiência agrônômica.

Por outro lado, a fonte Uran quando comparado a fonte de nitrato de amônio, apresentou curva de resposta ligeiramente semelhante em ambos os manejos (incorporado ou superficial), sendo necessário de 40 e 20 kg.ha<sup>-1</sup> de N adicionais como Uran, incorporado e superficial respectivamente, para obtenção do mesmo rendimento agrícola comparado com a dose de nitrato de amônio de 100 kg.ha<sup>-1</sup>. Este resultado ligeiramente inferior pode ser devido ao efeito climático com falta de precipitação nos meses subsequentes (maio à agosto), devendo se realizar novos estudos para épocas de adubação, variedades, doses e modos. No entanto, o alto custo do nitrato e sulfato de amônio e baixa eficiência da Ureia, o Uran aparece como uma fonte fertilizante com potencial no meio agrícola, principalmente pela facilidade de aplicação, proporcionando maior rendimento operacional com consequente redução de custos.

**Figura 3.** Análise de regressão para o parâmetro rendimento agrícola em toneladas de cana por hectare (TCH) em função da fonte e dose quando aplicado incorporado.



**Figura 4.** Análise de regressão para o parâmetro rendimento agrícola em toneladas de cana por hectare (TCH) em função da fonte e dose quando aplicado em superfície.



### Conclusão

Diante dos resultados apresentados as seguintes conclusões podem ser atribuídas:

- O Uran é uma fonte com potencial para ser usado na lavoura de cana-de-açúcar; obtendo resultados semelhantes para o modo de aplicação (incorporado ou superfície) quando comparado ao nitrato de amônio, devendo se optar pela aplicação em superfície pelo maior rendimento operacional e sem perdas significativas da produtividade;
- A dose a ser recomendada segue os mesmos padrões para as outras fontes e que podem ser verificadas no Boletim Técnico 100 – IAC em função da produtividade esperada para a cultura da cana-de-açúcar.

### Considerações

Outros estudos devem ser conduzidos para melhor compreensão dos resultados, principalmente em relação à variedade, local, modo, dose e época de aplicação.

### Agradecimentos

Ao IPNI e a Fundag pelo patrocínio do experimento e, a Usina Iracema – Grupo São Martinho pela disponibilidade do local e outras facilidades.

### Referências Bibliográficas

- ACHORN, F.P. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000. Cap.10, p. 272-293.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Eds). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI 2007. P. 355-412
- CARNAÚBA, B.A.A. Eficiência de utilização e efeito residual da úreia – 15N em cana –de-açúcar (*Saccharum sp*), em condição de campo – Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP. Piracicaba, 1989.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril /2015. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2015.CONSECANA. **Manual da Consecana** In: Capítulo I - Qualidade da cana-de-açúcar, São Paulo, 1999.
- DILLEWIJN, C. Botany of sugarcane. Waltham, **Mass** 1952. p. 371.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Trad. De E. Malavolta. São Paulo: EDUSP; Rio de Janeiro: **Livros Técnicos e Científicos**, 1975. 341 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafós. 319p.
- ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. In: Coleção Planalsucar, 2., Iaa / **Planalsucar**, Rio de Janeiro, 368 p. 1983.
- ORLANDO FILHO, J. & RODELLA, A. A. Doses e fracionamento de nitrogênio e potássio em cana-planta em solo arenoso sob primeiro cultivo. In: **Anais... Congresso Nacional da STAB**, 6, Maceió, p. 517-520, 1996.
- RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ed. revista e atualizada. Campinas: **Instituto Agrônomo**; Fundação IAC, 1996. 285p.
- ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**. v. 48, p.11-25, 1996.
- SILVEIRA, J.A.G. Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo. 1985. 152p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.
- STEVENSON, F.J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F.J.; BREMNER, J.M.; HAUCK, R.D. & KENNY, D.R., eds. Nitrogen in agricultural soils. **Madison, American Society of Agronomy**, 1982. p. 1-42. (Agronomy Series, 22).
- STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.4, n.6, p.22-36, jul./ago.1986.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.de.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada a localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:491-498, 2007

## EFICIÊNCIA DO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL E MICRONUTRIENTES QUELATIZADOS APLICADOS VIA FOLIAR EM CANA-DE-AÇÚCAR

Antonio F. Pino Jr\*.; Raffaella Rossetto\*; Fabio L. F. Dias\*, Silvio Tavares\*

\*APTA – Polo Regional Centro Sul, Piracicaba, SP. Programa Cana-de-açúcar IAC.

afpinojr@gmail.com

### Resumo

Para avaliar o efeito de aplicações foliares de fertilizante organomineral e micronutrientes em fontes quelatizadas e aplicados via foliar foi realizado um experimento em vasos em casa de vegetação. No plantio foi aplicado ao solo adubação NPK contendo em todos os tratamentos, exceto o tratamento controle.

Após 2 meses foram aplicados os seguintes tratamentos: NPK+ aplicação foliar de organomineral; NPK+ aplicação foliar de Mo; NPK+ aplicação foliar de B; NPK+ aplicação foliar de Zn; NPK+ aplicação foliar de Mo, B, Zn; NPK+ aplicação foliar de Mg; NPK+ aplicação foliar de organomineral + Mo, B, Zn.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da cana quando se aplicou fertilizante organomineral via foliar e também micronutrientes, Ca e Mg em forma quelatizadas aplicadas via foliar. Foram avaliados: matéria seca da parte aérea, colmos, matéria seca de raízes, leituras spad, área foliar, o número, altura e diâmetro dos perfilhos.

A resposta da adubação NPK no plantio e foliar com micronutrientes aumentaram entre 20 e 25% a produtividade em relação ao controle sem adubação. O fertilizante organomineral aplicado via foliar não apresentou efeito no aumento da produtividade da cana-de-açúcar em relação ao tratamento adubado (NPK).

**Palavras-chave:** quelatos, micronutrientes, Spad.

### Summary

To evaluate the effect of foliar chelates of micronutrients and organic-mineral fertilizer an experiment was conducted in pots in the greenhouse. At planting NPK fertilizer was applied to the in all treatments, except the control treatment. After 2 months were applied the following treatments: NPK foliar application organic mineral; NPK + Mo leaf application; NPK + foliar application of B; NPK + Zn foliar application; NPK + foliar application of Mo, B, Zn; NPK + Mg foliar application; NPK + foliar application of organomineral + Mo, B, Zn.

The objective of this study was to evaluate the productivity of sugarcane when applied fertilizer organic mineral foliar and also chelates of micronutrients, Ca and Mg applied to the leaves. It was evaluated: dry matter of the aerial part and roots; stalks, spad values, leaf area, number, height and diameter of the tillers.

The response of NPK fertilizer applied at planting and foliar micronutrient, Ca and Mg increased between 20 and 25% productivity compared to the control without fertilization. The organic mineral fertilizer applied in the leaves had no effect on increasing the sugarcane productivity.

**Keywords:** chelates, micronutrients, spad.

### Introdução

A cana-de-açúcar ocupa aproximadamente 10 milhões de hectares no Brasil, com mais de 4 milhões de hectares apenas no Estado de São Paulo. É uma planta da família Poaceae e do Gênero *Saccharum*, cuja produtividade potencial pode atingir mais de 300 t/há (LANDELL & BRESSIANI, 2008).

A adubação balanceada de macro e micronutrientes geralmente eleva o patamar de produtividade da cana, principalmente quando não existem fatores limitantes.

Os fertilizantes organominerais agregam um componente orgânico aos nutrientes minerais, e existem várias opções no mercado. Quando aplicados via foliar são citadas as seguintes vantagens: melhor balanceamento energético – ganho de energia na razão fotossíntese respiração; suplementação de aminoácidos de alto consumo, como a prolina e o ácido glutâmico que são pilares no metabolismo do nitrogênio; proteção e fomento da atividade enzimática – reduz a inativação e desnaturação das proteínas formadoras de enzimas; formação de substância biologicamente ativa – a glicina que é um quelante natural, carregando cátions livres ao interior das células; restabelecimento do stress pós aplicação de herbicida – reação antioxidante às moléculas geradas pelo princípio ativo do herbicida; resistência osmótica – a prolina substitui até 80% do Potássio no ajuste osmótico do vacúolo na célula (TAIZ & ZEIGER, 2002; TIFFIN, L. 1972; MELLOR D.P. 1964).

Os micronutrientes são essenciais para todas as plantas. Para a cana-de-açúcar B, Cu, Zn e Mn são os micronutrientes que podem apresentar as maiores limitações à produtividade. No estado de São Paulo, são particularmente importantes o zinco e o boro (MELLIS et al., 2008). O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da cana quando se aplicou fertilizante organomineral via foliar e também micronutrientes, Ca e Mg em forma quelatizadas aplicadas via foliar.

### Material e Métodos

Um experimento foi realizado no período de 12/09/2012 à 25/05/2013, em casa de vegetação na área pertencente à APTA Pólo Regional Centro Sul Paulista, município de Piracicaba, (SP), localizado a 22°43'31" de latitude Sul e 47°38'57" de longitude Oeste e altitude de 547m ([www.geografos.com.br](http://www.geografos.com.br)). Segundo a classificação climática de Köppen, Piracicaba possui clima Cwa, ou seja, subtropical úmido, com estiagem no inverno e temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e no mês mais quente, superior a 22 °C. Inicialmente, realizou-se o plantio de mudas da variedade de cana-de-açúcar RB86-7515 em mini-toletes contendo uma gema no dia 12/09/2013, onde foram utilizados 8 caixas com 20 mini toletes cada (Figura 1), posteriormente no dia 15/10/2013 os toletes foram transplantados da caixa de germinação para os vasos com solo arenoso, horizonte A de um Argisolo Vermelho. Os vasos continham 24 kg de solo e foi aplicado o fertilizante com formulação 8-28-16, na dose equivalente de 60-200-120 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, incorporado ao solo, antes do plantio dos toletes nos vasos. A análise do solo do experimento apresentou pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,8, MO 2 g dm<sup>-3</sup>, P (Resina) 3 mg dm<sup>-3</sup>, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC, são respectivamente 0,1; 6; 2; 11; 0,8 e 19 mmolc dm<sup>-3</sup>, V% 42, m% 0, SO<sub>4</sub> 12 mg dm<sup>-3</sup> e de micronutrientes Cu;Fe;Zn;Mn e B respectivamente 0,2; 8; 0,5; 0,8; 0,16 mg dm<sup>-3</sup>. Os tratamentos estudados estão descritos na (Tabela 1). A adubação com NPK no solo foi aplicada no dia do plantio. Cerca de dois meses depois do plantio foram feitos os tratamentos com aplicação de organomineral via foliar (15% C, 5%N, 1,96% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, densidade 1,35g ml<sup>-1</sup>, cuja recomendação para uso na cana-de-açúcar é de 1L ha<sup>-1</sup>) e produzido pela empresa NPA, e os micronutrientes, em soluções quelatizadas de B (6,5%), Ca (8%), Zn (10%), Mg (2,5%), Mo (5%). Pulverizou-se 20ml do fertilizante organomineral em toda parte aérea, de acordo com os tratamentos. O Mo foi aplicado apenas na folha +1e +2.

**Tabela 1.** Tratamentos estudados no experimento, Piracicaba, SP

	Tratamentos	
T1	controle	Sem adubação
T2	NPK	0,34gN/vaso,0,70gK <sub>2</sub> O/vaso,1,23gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /vaso
T3	NPK+ aplicação foliar de organomineral	4,05g/vaso de C, 1,35g/vaso N e 0,53g/vaso P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
T4	NPK+ aplicação foliar de Mo	0,125g/vaso Mo
T5	NPK+ aplicação foliar de B	0,429g/vaso B
T6	NPK+ aplicação foliar de Zn	2,48g/vaso Zn
T7	NPK+ aplicação foliar de Mo, B, Zn	0,125+0,429+2,48g/vaso de Mo,B,Zn
T8	NPK+ aplicação foliar de Mg	0,545g/vaso Mg
T9	NPK+ aplicação foliar de organomineral + Mo, B, Zn	4,05g/vaso de C, 1,35g/vaso N e 0,53g/vaso+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +0,125+0,429+2,48g/vaso Mo,B,Zn
T10	NPK+ aplicação foliar de Ca	2,144g/vaso Ca

Durante o período da colheita que se realizou em 15/05/2013 foram avaliadas as leituras de SPAD, a área foliar, o número, altura e diâmetro dos perfilhos e a massa de colmos, folhas e raiz.

O delineamento experimental foi realizado em esquema inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os resultados foram comparados em análises de variância utilizado o programa SISVAR, e as médias comparadas por teste de Tukey, 5% de probabilidade.

### Resultados

A (Tabela 2) apresenta os resultados médios obtidos em cada tratamento para as variáveis massa de colmos, folhas, parte aérea (folhas + colmos), raiz e a relação das massas da parte aérea e raiz.

De acordo com os dados da (Tabela 2) verificou-se que a menor produção de massa de colmos foi obtida no tratamento controle não adubado, seguido do tratamento adubado apenas com organomineral e Foliar Mg. As maiores produtividades foram obtidas nos tratamentos com adubação NPK, seguida do NPK + Foliar B, Zn, B+Mo+Zn, Ca, e OM+B+Mo+Zn. A resposta da adubação NPK e foliar com micronutrientes, aumentaram, respectivamente entre 20 e 25% a produtividade em relação ao controle sem adubação. O fertilizante organomineral aplicado via foliar não apresentou efeito no aumento da produtividade, quando comparado ao tratamento adubação (NPK) que não recebeu adubação foliar.

Em relação a produção de folhas, o tratamento controle apresentou a menor produção de massa e o tratamento Foliar Zn, a maior, sendo superior estatisticamente aos tratamentos organomineral, Foliar B Zn Mo, Foliar Mg e controle não adubado. Em relação aos demais tratamentos as médias de produção de folhas foram similares, sem diferenças estatísticas.

Com relação a produção de biomassa da parte aérea o tratamento controle produziu a menor massa, seguido de Foliar Mg e organomineral (OM). Todos os demais tratamentos produziram quantidades de biomassa similares ao tratamento adubado.

Não se verificou ganhos de produção de biomassa nos tratamentos com foliares em relação ao tratamento com adubação de NPK no solo.

A aplicação foliar dos produtos estudados não promoveu alterações na produção de massa de raízes. Por esta razão, a relação biomassa da parte aérea e biomassa de raízes também não apresentou diferenças significativas. Possivelmente, o fato do sistema radicular estar confinado no volume dos vasos, este índice pode não ter indicado diferenças significativas.

**Tabela 2.** Massa de Colmos, Folhas, Parte Aérea (Colmos + Folhas), Raiz e Razão Parte Aérea E Raiz, Nos Tratamentos Estudados no Experimento (Médias de 4 Repetições), Piracicaba, SP.

Tratamento	Colmos	Folhas	Parte	Raiz	Parte
	g/vaso	g/vaso	Aérea	g/vaso	Aérea/Raiz
Controle	62,40 c	47,75 d	110,15 c	266,75 ns	0,47 ns
NPK	232,42 a	113,37 ab	345,80 a	510,37 ns	0,74 ns
NPK + OM	152,40 b	84,95 c	237,35 b	365,25 ns	0,66 ns
NPK+ Foliar Mo	246,35 a	116,37 ab	362,72 a	560,00 ns	0,66 ns
NPK + Foliar B	246,67 a	113,37 ab	360,05 a	556,12 ns	0,65 ns
NPK + Foliar Zn	242,95 a	121,37 a	364,32 a	487,37 ns	0,78 ns
NPK + Foliar B,Mo,Zn	234,45 a	101,50 b	335,95 a	353,62 ns	1,02 ns
NPK + Foliar Mg	176,07 b	85,62 c	261,70 b	387,75 ns	0,8 ns
NPK + OM + B,Mo,Zn	232,20 a	108,25 ab	340,45 a	405,75 ns	0,85 ns
NPK + Foliar Ca	244,85 a	112,37 ab	357,22 a	506,87 ns	0,79 ns
F	28,35**	51,31**	38,75**	n,s	n,s
CV%	10,94	6,19	8,59	28,55	32,61
dms 5%	55,11	15,13	64,26	305,55	0,6

A (Tabela 3) apresenta os resultados médios obtidos em cada tratamento para a leitura de spad, área foliar, altura, perfilho e diâmetro do colmo. As leituras de SPAD que indicam indiretamente a quantidade de clorofila e uma possível maior fotossíntese, mostrou que as folhas estavam mais verdes nos tratamentos controle e NPK+foliar Ca. No tratamento controle, possivelmente as folhas estavam mais verdes porque também eram menores, como se pode verificar na variável área foliar. Já no tratamento NPK+Foliar Ca realmente as folhas estavam mais verdes e também tinham maior área foliar indicando que o Foliar Ca teve efeito em produzir maior massa de folhas. A maior massa de folhas nesse tratamento também foi acompanhada de maior produtividade (Tabela 2). Os demais tratamentos promoveram folhas mais amarelas, dado o maior desenvolvimento das plantas que poderiam ter causado um esgotamento mais rápido das reservas de nutrientes do solo, porém a área foliar foi sempre maior nos tratamentos com a presença de micronutrientes ou Ca e Mg em relação aos tratamentos apenas com NPK no solo e NPK + OM via foliar.

A altura das plantas foi superior em todos os tratamentos com foliar de micronutrientes e foliar Ca e Mg porém foi estatisticamente inferior nos tratamentos controle sem adubação e apenas adubado com NPK+OM. O número de perfilhos não apresentou diferenças entre os tratamentos possivelmente por ser experimento realizado em vasos. O diâmetro dos colmos foi similar em todos os tratamentos apenas diferindo do controle sem adubação.

**Tabela 3.** Leitura de SPAD, área foliar, altura, número de perfilhos e diâmetro dos colmos para os diversos tratamentos estudados.

Tratamento	Spad	Área foliar	Altura	Perfilho	Diâmetro
		cm <sup>2</sup>	cm	n*/vaso	mm
Controle	22,54 a	138,85 e	62,25 c	2,00 a	15,50 c
NPK	15,81 bc	387,67 abc	116,75 a	2,50 a	20,28 abc
NPK+OM	15,54 bc	258,17 d	84,50 bc	2,25 a	21,40 ab
NPK+ Foliar Mo	14,69 bc	339,67 abcd	121,87 a	2,50 a	25,69 a
NPK+ Foliar B	15,89 bc	389,53 ab	121,62 a	2,25 a	21,36 ab
NPK + Foliar Zn	14,55 c	312,32 abcd	125,50 a	2,25 a	21,88 ab
NPK + Foliar B, Mo, Zn	16,52 bc	308,74 abcd	119,12 a	2,25 a	21,97 ab
NPK + Foliar Mg	12,23 c	281,66 bcd	107,12 ab	2,00 a	19,79 ab
NPK + Foliar B, Mo, Zn+OM	16,33 bc	275,30 cd	121,37 a	2,25 a	19,07 ab
NPK +Foliar Ca	19,23 ab	407,22 a	130,25 a	2,25 a	20,48 abc
F	6,55**	8,73**	14,87**	n.s.	3,70*
CV%	11,74	15,03	8,86	21,29	11,29
dms 5%	4,66	113,35	23,92	1,16	5,69

A (Tabela 4) apresenta dos teores de macro e micronutrientes nas folhas da cana nos diversos tratamentos. O tratamento controle apresentou maior concentração de nutrientes, devido ao baixo crescimento em praticamente todos os nutrientes, exceto o Mn. O teor de N foi significativamente menor no tratamento NPK em relação a todos os demais tratamentos. O teor de P foi superior no tratamento NPK+foliar Zn, sendo que os demais tratamentos não diferiram entre si. O teor de K não diferiu nos diversos tratamentos e o teor de Ca foi superior no tratamento NPK, porém não diferindo significativamente apenas do NPK+OM+B+Mo+Zn. Os nutrientes Mg e S tiveram pequenas variações em geral com valores maiores nos tratamentos controle. B, Cu, Fe e Zn não apresentaram diferenças estatísticas entre os diversos tratamentos. O Mn apresentou grande variação entre os diversos tratamentos. As menores médias foram encontradas nos tratamentos contendo OM e o controle.

Tabela 4. Teores de macro e micronutrientes nas folhas dos diversos tratamentos estudados.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Controle	4,39 a	1,25 ab	5,55 a	3,38 ab	1,90 a	0,95 b	7,79 a	1,87 a	123,13 a	40,75 d	13,25 a
NPK	2,68 b	1,29 ab	4,40 a	4,02 a	1,87 a	1,70 a	7,01 a	2,00 a	248,75 a	90,87 a	11,87 a
NPK+OM	3,17 ab	1,08 b	3,95 a	3,07 ab	1,32 ab	1,12 ab	6,19 a	1,37 a	173,00 a	60,12 abcd	11,75 a
NPK + Foliar Mo	3,39 ab	1,20 b	3,89 a	3,55 ab	1,22 ab	1,11 ab	5,85 a	1,12 a	239,13 a	79,00 ab	12,37 a
NPK+ Foliar B	3,32 ab	1,44 ab	4,91 a	3,05 ab	1,32 ab	0,99 ab	6,14 a	1,62 a	168,13 a	70,87 abcd	12,87 a
NPK + Foliar Zn	3,86 ab	1,65 a	5,03 a	3,21 ab	1,25 ab	1,12 ab	6,04 a	1,37 a	205,50 a	72,37 abc	17,62 a
NPK + Foliar B,Mo,Zn	3,98 ab	1,15 b	5,23 a	2,65 ab	1,00 b	0,66 b	5,80 a	1,12 a	139,75 a	57,37 bcd	13,25 a
NPK + Foliar Mg	4,02 a	1,18 b	5,80 a	2,77 ab	1,10 b	0,89 b	5,95 a	1,37 a	252,00 a	49,25 bcd	12,37 a
NPK + Foliar B,Mo,Zn+OM	4,24 a	1,37 ab	5,67 a	2,27 b	1,00 b	0,77 b	5,22 a	1,62 a	131,25 a	45,62 cd	13,50 a
NPK + Foliar Ca	4,22 a	1,24 ab	4,65 a	3,66 ab	1,12 b	0,75 b	5,56 a	1,12 a	170,50 a	63,50 abcd	16,00 a
F	3,64*	3,36*	2,44*	2,47*	4,39**	3,42*	n,s	n,s	n,s	5,21**	n,s
Cv%	14,27	13,3	21,98	19,83	21,19	30,60	18,15	32,41	39,16	20,34	20,80
dms 5%	1,29	0,41	2,62	1,52	0,67	0,75	2,72	1,15	176,35	31,16	6,82

### Conclusões

A resposta da adubação NPK no plantio e foliar com micronutrientes aumentaram entre 20 e 25% a produtividade em relação ao controle sem adubação.

O fertilizante organomineral aplicado via foliar não apresentou efeito no aumento da produtividade da cana-de-açúcar em relação ao controle com adubação NPK.

### Referências Bibliográfica

- LANDELL, M.G.A; BRESSIANE,J.A. Melhoria Genética, Caracterização E Manejo Varietal In: Miranda, L.L.D. et al. eds. **Cana de açúcar. IAC**. cap 5, p.101 a 155, 2008.
- MELLIS,E.V;QUAGGIO,J.A;CANTARELLA,H. Micronutrientes In: Miranda,L.L.D. et al. Eds. **Cana de açúcar. IAC. cap15**, p.331a 335, 2008.
- MELLOR, D. P. Historical Background and Fundamental Concepts, Dwyer, F. P. and Mellor, D.P. eds. **Chelating Agents and Metal Chelates, Academic Press**, New York, p, 18, 1964.
- TAIZ, L.& ZEIGER, E. **Plant physiology. California: The Benjamin: Cummings,3ª.ed.2002**. 690 p.
- TIFFIN, L. Translocation of Micronutrients in Plants. In Dinauer, R. ed. Micronutrients in Agriculture, Madison. **Soil Science Society**, p. 207, 1972.
- www.geografos.com.br. Consultado em 02/05/2016,

## MODELAGEM DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO E PREVISIBILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA ENÉRGICA E DE ALIMENTOS EM ROTAÇÃO NA REFORMA DO CANAVIAL, NA PLATAFORMA CROPSYST

Fábio Cesar da Silva<sup>1,2\*</sup>, Alexandre Castro<sup>3</sup>, Pedro Luiz de Freitas<sup>4</sup>, Pedro Abel Vieira Junior<sup>5</sup>, Everton Luis Finoto<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP.

<sup>2</sup> Professor da Fatec Piracicaba, em Campinas – SP.

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP.

<sup>4</sup> Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro – RJ.

<sup>5</sup> Pesquisador da Secretaria de Inteligência e Macroestratégia da Embrapa, em Brasília DF.

<sup>6</sup> Pesquisador da Polo Regional Centro Norte da Apta, Pindorama – SP.

*fabio.silva@embrapa.br*

### Resumo

No presente trabalho é avaliado o desenvolvimento da cana-de-açúcar, variedade RB86-7515, cultivada após a colheita de soja ou amendoim, em sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, cultivados em áreas de renovação de canaviais, em Pindorama, Guairá, Promissão e Castilho – SP. Os experimentos foram instalados em locais com características pedológicas e climáticas distintas – ambientes de produção nas regiões de Pindorama (Usina Colombo), Guairá (Usina Guairá), Lins (Usina Mahdu/Renuka) e Castilho (Usina Viralcool), que condiciona diferentes capacidades produtivas locais. O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizado com 5 tratamentos básicos (pousio, PD-soja, PC – soja, PD – amendoim e CV – amendoim) com 6 repetições. Os ensaios no formato de unidade de observação (UO) formam conduzidos em áreas de reforma de canavial em distintos ambientes, no estado de São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul no período de 2009/11. Foram testadas e selecionadas oito variedades de soja nas unidades de Guairá, Colorado e Mandu (Guairá/SP), Clealcol (Clementina/SP), Nardini (Aporé/GO), e outra em Araçatuba / SP e em Sonora/MS. A avaliação de produtividade de soja e amendoim e o efeito sobre a cana-planta ocorreu em colheita mecanizada de agosto e setembro de 2009 (Safrá 2009/10) e 2010 (Safrá 2010/11) em área de aproximadamente 10 ruas de 150m para cada variedade por parcela. Também foram avaliados o crescimento e a produtividade da cana de ano e meio nas parcelas por tratamento. A rotação da cultura associada ao plantio direto proporcionou um aumento de 10 a 15% na cana-planta, em comparação ao pousio (testemunha). A modelagem do crescimento e da produtividade foi realizada por meio do software CropSyst desenvolvido pela Washington State University. O CropSyst foi utilizado para estimar a produtividade de cana-de-açúcar, soja e amendoim em áreas de reforma do canavial em experimentos conduzidos em Guairá, Castilho, Promissão e Pindorama – SP. As curvas de crescimento descritas pelo software nas calibrações de biomassa apresentaram comportamento similar às curvas de crescimento experimental. Os parâmetros obtidos na calibração para a variedade de cana-de-açúcar em estudo, assim como para a soja e amendoim são compatíveis com os disponíveis na literatura, mostrando a eficácia do modelo de simulação CropSyst.

**Palavras-chave:** reforma do canavial, rotação com leguminosas, modelagem de cultura.

### Summary

In the present research work was evaluated the development of sugarcane, RB86-7515 variety, grown after the harvest of soybeans or peanuts, in preparation of conventional soil and tillage systems, grown in areas of renovation of sugarcane plantations in Pindorama, Guairá, Promissão and Castilho - SP. The experiments were installed in places with different soil and climatic characteristics - production environments in the regions of Pindorama (Usina Colombo), Guairá (Plant Guairá), Lins (Plant Mahdu / Renuka) and Castilho (Plant Viralcool), which affects different production capacities sites. The experimental design was randomized blocks with 5 basic treatments (fallow, PD-soybean PC - soybeans, PD - peanuts and CV - peanuts) with 6 repetitions. The tests in the observation unit format (OU) installed in sugarcane reform areas in different environments in the state of São Paulo, Goiás and Mato Grosso do Sul in the 2009/11 period. Tested and was selected eight soybean varieties in Guairá units, Colorado and Mandu (Guairá / SP), Clealcol (Clementina / SP), Nardini (Aporé / GO), and another in Araçatuba / SP and Sonora / MS. Soybean yield assessment and peanuts and the effect on the cane was carried out in mechanized harvesting of August and September 2009 (Safrá 2009/10) and 2010 (Safrá 2010/11) in an area of approximately 10 150m streets for each variety per plot. Subsequently evaluated the growth and productivity of the cane and a half year of the plots per treatment (5). There was modeling the growth and productivity through computer packages CropSyst simulation developed by Washington State University is used to estimate the productivity of sugarcane, soy and peanuts in sugarcane crop reform areas in experiments conducted in Guairá, Castilho, Promissão and Pindorama - SP. The growth curves described by the calibration software in biomass exhibited a similar behavior to experimental growth curves. were obtained for the calibration parameters for the variety of sugarcane under study, as well as soybeans and peanuts are compatible with available in the literature, showing the efficiency of CropSyst simulation model.

**Keywords:** reform of the sugar cane plantation, rotation with legumes, culture modelling.

### Introdução

Atualmente, várias atividades de dimensão sócio-econômica estão em execução no estado de São Paulo e região centro-oeste do Brasil visando a caracterização e melhoria dos sistemas de produção de oleaginosas na reforma do canavial como, por exemplo, a colheita mecanizada - sem a necessidade de queima (VIEIRA Jr *et al.*, 2012). A expansão do setor sucroalcooleiro, com crescimento na última década de 379% da área plantada na região Centro-Oeste (CARVALHO, 2015), passou a exigir o desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao manejo da cana-de-açúcar no Cerrado. A necessidade de reforma do canavial reduz cerca de 20% ao ano a área dedicada à produção de cana-de-açúcar que, no estado de São Paulo e na região Centro-oeste do Brasil, ocupou um total de 8.543 milhões de hectares na safra 2015/16 (CARVALHO, 2015). Para a safra agrícola 2015/16, o Instituto de Economia Agrícola – IEA/SP indica que a área destinada a produção de cana-de-açúcar deve ficar em torno de 12,2 milhões de hectares (UNICA, 2016). Muitas áreas de reforma permanecem ociosas durante períodos críticos, como a primavera e o verão, quando os solos são mais suscetíveis à degradação. A ocupação dessas áreas com o

cultivo de outras espécies representa uma oportunidade para a geração de renda para as usinas de açúcar, para os produtores associados e para os pequenos agricultores. Nas áreas de expansão é preciso promover ajustes que envolvem caracterização e validação dos sistemas de cultivo de oleaginosas, em especial o desenvolvimento de sistemas de recomendação de adubação e manejo do solo.

É preciso saber em quais condições (energética, ambiental, bem como, economicamente) uma área de reforma é viável para implantação de rotação com oleaginosas. Também é preciso saber quais as opções de culturas para a implantação da rotação e as respectivas recomendações técnico-agronômicas, como o manejo, plantio direto, rotação da cultura e a fertilização do solo em sistema de rotação, qual o balanço energético do sistema de rotação, e como o sistema deve ser gerido (terceirização ou auto-produção), entre outras.

O objetivo deste trabalho é apresentar o zoneamento de áreas adequadas para a produção sustentável de biocombustíveis a partir resultados experimentais de soja e de amendoim no período de reforma nas áreas de produção de cana-de-açúcar nas UO's (unidades de observação) instaladas nas áreas de cana-de-açúcar nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Para dar suporte ao processo de tomada de decisão no planejamento agrícola utilizou-se o pacote de simulação CropSyst desenvolvido pela Washington State University foi utilizado para estimar a produtividade de cana-de-açúcar, de soja e de amendoim na reforma na unidade de observação. A curva de crescimento descrita pelo software na calibração apresentou comportamento similar a curva de crescimento experimental, porém houve um descolamento das curvas na fase de crescimento vegetativo intenso. Os parâmetros obtidos na calibração para a variedade de cana-de-açúcar em estudo, assim como para a soja e amendoim são compatíveis com os disponíveis na literatura, mostrando a eficácia do modelo de simulação CropSyst.

### Material e Métodos

A coleta de informações experimentais é uma etapa fundamental para a modelagem do sistema via CropSyst. É a partir das informações climáticas (Agritempo), da análise do solo feitas na Embrapa Solos, do sistema de manejo (convencional ou plantio direto), da cultura utilizada na reforma (soja, amendoim ou pousio), e da evolução da biomassa vegetal durante o ciclo produtivo da cultura obtidos em ensaios localizados em Pindorama - SP (Usina Colombo), em Promissão - SP (Usina Renuka/Unid. Mandhu), Castilho-SP (Usina Viralcool) e Guairá - SP (Usina Guairá) que foram gerados os parâmetros de interesse para a área em análise (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características edáficas locais dos experimentos de rotação de culturas na reforma do canavial.

Usina / local		Solo (classificação)
Renuka /Mandhu	Aw(1)	Latossolo Vermelho distrofico de textura média
Promissão-SP		
Usina Colombo	Aw	Argissolos vermelho eutrofico, textura arenosa média/abrupto
Pindorama – SP		
Usina Açúcar Guairá	Aw	Latossolo Vermelho Amarelo
Guairá-SP		
Usina Viralcool	Aw	Latossolo vermelho distrofico
Castilho -SP		

<sup>(1)</sup> tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação média anual é 1258 mm, a temperatura média dos três meses de verão é 23,8°C, e a média dos meses de inverno é de 19,5.

Os experimentos foram instalados em locais com características pedológicas e climáticas distintas – ambientes de produção nas regiões de Pindorama (Usina Colombo), Guairá (Usina Guairá), Lins (Usina Mahdu/Renuka) e Castilho (Usina Viralcool), que condiciona diferentes capacidades produtivas locais. O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizado com 5 tratamentos básicos (pousio, PD-soja, PC – soja, PD – amendoim e CV – amendoim) com 6 repetições. Os ensaios no formato de unidade de observação (UO) instalado em áreas de reforma de canavial em distintos ambientes, no estado de São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul no período de 2009/11. Testou e selecionaram-se oito variedades de soja (BRS 232, BRS 282, BRS 283, BRS 284, BRS 294 e BRS 295 RR RR, BRS 750RR e FAVORITA RR) e de amendoim a RUNNER do IAC nas unidades de Guairá, Colorado e Mandu (Guaira/SP), Cleaalcool (Clementina/SP), Nardini (Aporé/GO) e outra em Araçatuba / SP e em Sonora/MS. A avaliação de produtividade de soja e amendoim e o efeito sobre a cana-planta ocorreu em colheita mecanizada de agosto e setembro de 2009 (Safrá 2009/10) e 2010 (Safrá 2010/11) em área de aproximadamente 10 ruas de 150m para cada variedade por parcela. Na seqüência avaliou-se o crescimento e a produtividade da cana de ano e meio nas parcelas por tratamento. Já a calibração das curvas e geração dos parâmetros é realizada na janela funcional *Crop Calibration* – interface utilizada para o processamento das informações –, a partir dos dados inseridos. É importante ressaltar que nessa etapa do processo de calibração as curvas são individualmente geradas; não sendo possível à compilação de curvas simultâneas para cultivares distinta (além da caracterização morfo-estrutural e o levantamento pedológico dos solos). Para cada conjunto de dados experimentais foi utilizada uma sub-rotina de calibração específica. A inserção dos dados de cada sub-rotina foi realizada respeitando a ordem sequencial exigida pelo protocolo (localização, dados climáticos, ciclo fenológico, evolução da biomassa, índice de área foliar e produtividade) da cana-planta. Uma vez definidos os parâmetros requeridos pelo programa, seja no editor de parâmetro da cultura ou em alguma sub-rotina de calibração, a execução das rotinas de calibração foi avaliada a sua acurácia.



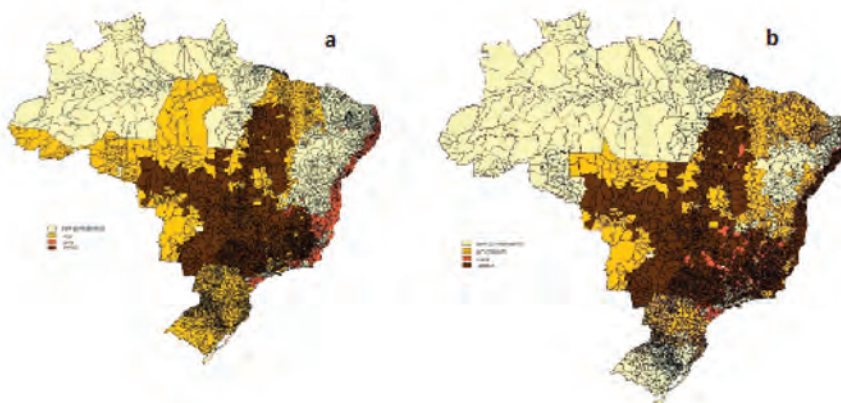
### Resultados e Discussão

Para viabilizar da rotação de culturas oleaginosas com cana-de-açúcar nas áreas de reforma, é necessário que a variedade de soja se adapte às condições de solo e clima, refletindo em um bom crescimento e na facilidade de colheita compatível com o ciclo do programa de plantio de cana. Para isso, a recomendação sobre áreas de risco climático para o cultivo de soja em diferentes períodos do ano, devem ser observadas. As áreas aptas para a adoção do sistema de produção de cana-de-açúcar em rotação com o cultivo da soja são mostradas na (Figura 1). A produção de oleoginosas, especialmente a soja, é uma oportunidade para maximizar o uso do solo, pois apresenta várias vantagens para o cultivo de cana-de-açúcar, como os controles de ervas daninhas e aumento da eficiência dos fertilizantes, particularmente, nitrogênio para a fixação biológica. As variedades que apresentaram a melhor adaptação e produtividade foram o BRS 232 e BRS 282.

A (Tabela 1) mostra que não houve diferença no rendimento entre o plantio direto e convencional nas culturas de soja e amendoim. A produtividade dos tratamentos de cana/soja/amendoim (plantio direto e convencional) foi da ordem de 110 toneladas por hectare, com uma variação de 10 toneladas entre os tratamentos no município de Pindorama - SP (Brasil) (Tabela 1). Os resultados mostram que no município de Lins-SP o rendimento da cana/amendoim (plantio direto e plantio convencional) foi ligeiramente superior a cana/soja. Para a construção da curva de calibração de biomassa e índice de área foliar do amendoim e soja (Figuras 5 e 6) utilizou-se o coeficiente de particionamento foliar como sendo igual a 0,78 (NAAB *et. al*, 2004) e a área foliar específica igual a 24 m<sup>2</sup>/kg (PINTO, 2006). Para a calibração da curva de calibração de biomassa da soja (Figura 6), utilizou-se o coeficiente de particionamento foliar igual a 1,26 (MORENCO *et. al*, 1996) e a área foliar específica de 38 m<sup>2</sup>/kg (ALAMBERT *et. al*, 2010).

Nas (Figuras 1, 2 e 3), são mostrados os resultados da calibração da biomassa e do índice de área foliar (IAF) para a cultura de cana-de-açúcar, a partir da plataforma de simulação CropSyst, referentes as safras de 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 respectivamente. A temperatura base para desenvolvimento da cultura foi estabelecida em 18°C, sendo a mesma mencionada em trabalhos desenvolvidos por Barbieri *et al* (2010). A temperatura limite foi fixada em 34°C, como recomendada em trabalhos desenvolvidos por Tatsch *et al* (2009). Para a construção das curvas utilizou-se os Parâmetros das (Tabelas 3 e 4). Os resultados encontrados se aproximam dos obtidos por Pinto *et al*, (2006) que encontrou 13,48 e 15,73 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup> para a área específica (Tabela 2). As figuras 4 e 5 mostram a calibração da biomassa e do índice de área foliar (IAF) para a cultura do Amendoim (*Arachis hypogaea*) e da soja (*Glycine max*) a partir da plataforma CropSyst.

**Figura 1.** Zoneamento das áreas aptas ao cultivo de soja (a) e amendoim (b) na reforma do canavial.



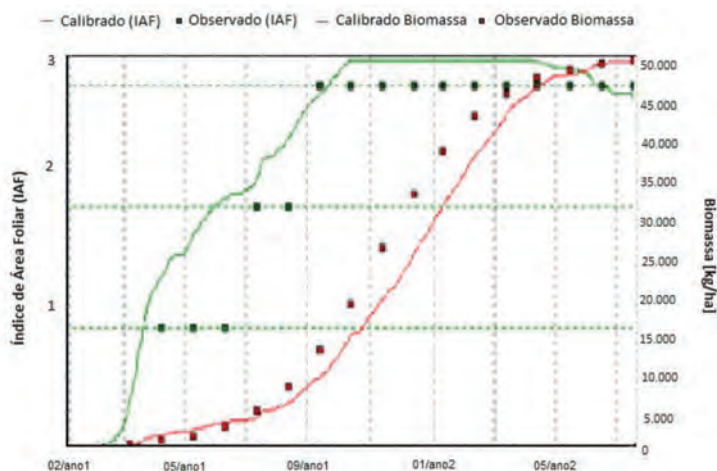
**Tabela 2.** Avaliação da produtividade (t.ha<sup>-1</sup>) de cultivares de soja e amendoim cultivadas em plantio convencional em áreas de reforma (safra 2011/2012).

Sistema de cultivo	Renuka/ Promissão / SP	Usina Guaira/ Guaira SP	Usina Colombo/Apta Pindorama, SP	Usina Viralco ol /SP	Media
<b>Cultivares de Soja (média de 5 cultivares) – kg/ha -</b>					
Plantio Direto	3100 (225)	3828 (295)	3500 (575)	2796 (753)	3306
Convencional	—	3533 (413)	3389 (235)	2173 (630)	3032
<b>Cultivar de amendoim</b>					
Plantio Direto	4141 (328)	—	2779 (298)	—	3460
Convencional	4241 (210)	—	2392 (129)	—	3316

Houve produtividade acima de três dígitos (> 100 TCH) na cana-planta em área de plantio direto associado à rotação de oleoginosas na reforma, o que proporcionou um ganho de 10 a 15% de aumento na produtividade nas quatro regiões testadas, em comparação ao pousio

e ao preparo de solo convencional. A produtividade de cana-planta oriundas de parcelas dos tratamentos de rotação de soja e amendoim em plantio direto foram na ordem de 110 toneladas por hectárea, com uma variação superior de 10 a 15 toneladas em relação aos tratamentos com pousio e preparo convencional, no município de Pindorama – SP. Já em os resultados da cana cultivada nos tratamentos com plantio direto de amendoim e soja foram superiores ao convencional e pousio, com el temor de 95 toneladas por hectárea, en el municipio de Lins – SP. A mesma tendencia ocorreu nos ensaios conduzidos para tratamento com PD soja em Guaira e Castilho, em compáráção ao preparo convencional associado ao pousio da área.

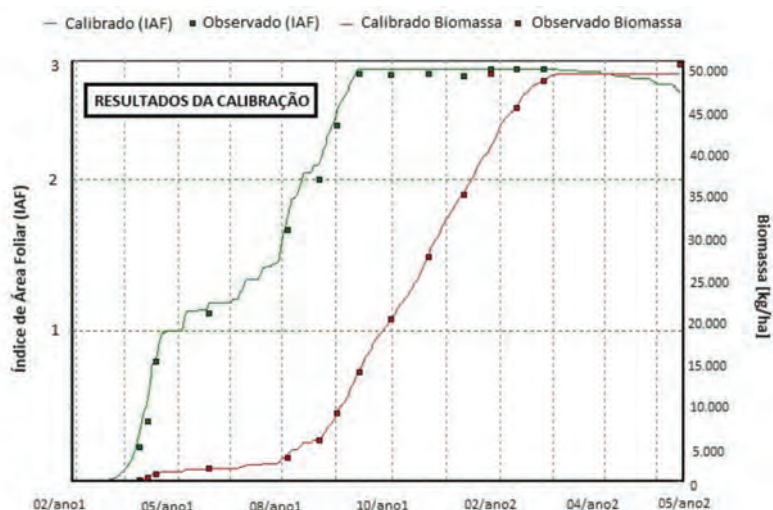
**Figura 2.** Curvas de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cana-de-açúcar, Safra de 2008/2009, as informações climáticas foram coletadas do banco de dados das estações meteorológicas do Agritempo, nas áreas experimentais.



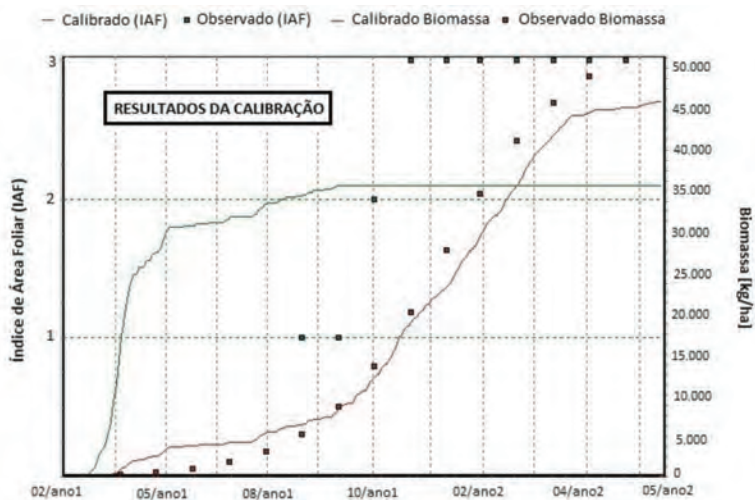
**Tabela 3.** Parâmetros gerados pelo ajuste do programa CropSyst.

Período	Área Específica (m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> )	Coefficiente de Particionamento (adm)
2008/2009	12,06	3,06
2009/2010	15,11	3,06
2010/2011	10,18	3,18

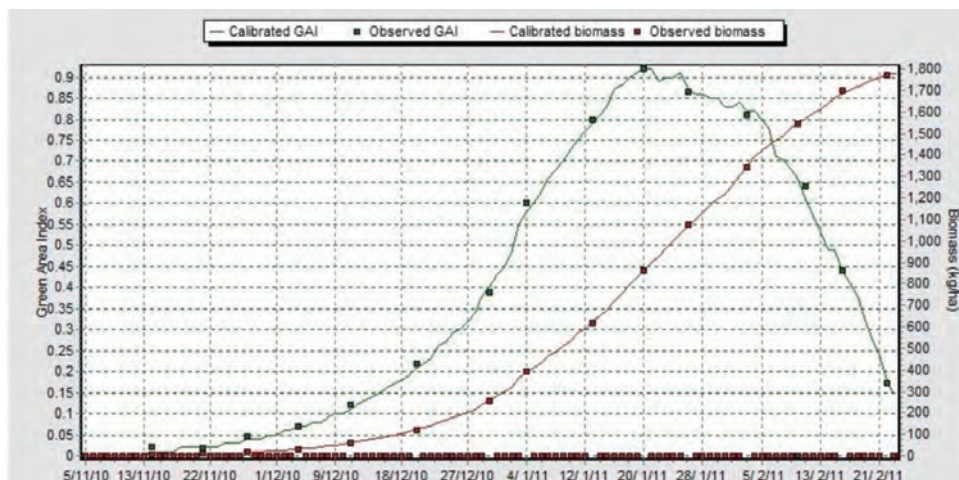
**Figura 3.** Curvas de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cana-de-açúcar, Safra de 2009/2010, as informações climáticas foram coletadas do banco de dados das estações meteorológicas do Agritempo, nas áreas experimentais.



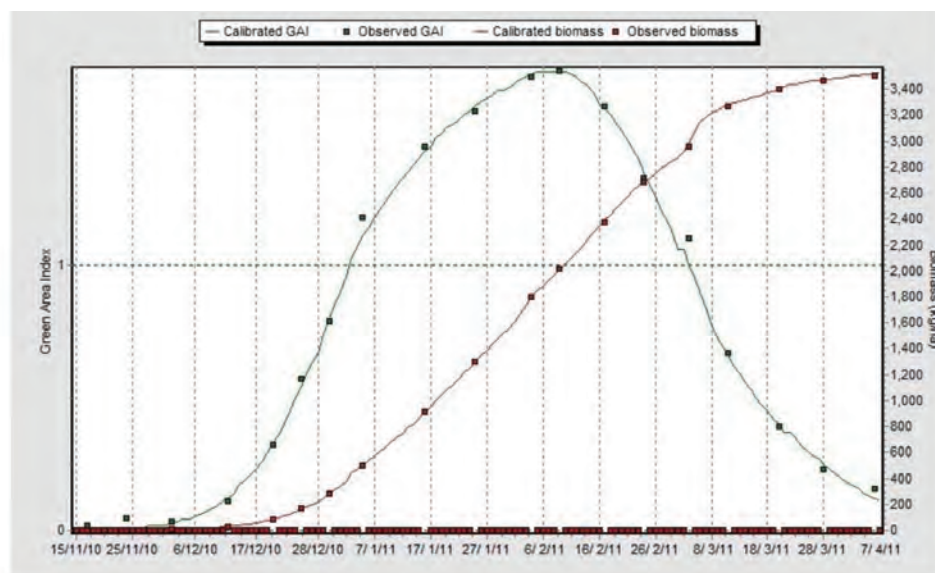
**Figura 4.** Curvas de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cana-de-açúcar, Safra de 2010/2011, as informações climáticas foram coletadas do banco de dados das estações meteorológicas do Agritempo, nas áreas experimentais.



**Figura 5.** Curva de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cultura do amendoim (*Arachis hypogaea*), experimentalmente cultivada na área de domínio da usina Colombo em Pindorama – SP.



**Figura 6.** Curva de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cultura da soja (*Glycine max*), experimentalmente cultivada na área de domínio da usina Colombo em Pindorama – SP.



### Conclusões

A análise de cenários pode auxiliar na realização de testes laboratoriais e de campo mais direcionados, reduzindo gastos e assegurando a avaliação dos impactos ambientais decorrentes de práticas agrícolas em estudo. Ainda, a formulação de um modelo matemático permite identificar estratégias de ação mais promissoras por meio de técnicas de otimização, associadas ou não à simulação dos sistemas para máxima produtividade. Tal otimização associada à análise criteriosa de seus resultados, podem contribuir para o estudo e apoio à tomada de decisão nos mais diversos problemas do setor agropecuário. Neste trabalho, foram realizadas simulações com os resultados do modelo CropSyst, utilizando variáveis que descrevem o comportamento fisiológico da planta em resposta às condições ambientais. A acumulação de matéria seca (MS) foi calculada a partir da taxa de fotossíntese e manutenção da perda de respiração, senescência das folhas. O plantio direto associado à rotação de oleaginosas na reforma proporcionou de 10 a 15% de aumento na produtividade da cana-planta. O modelo CropSyst mostrou-se adequado para estimar a produtividade de cana, e da soja e amendoim na reforma do canavial.

### Referências Bibliográficas

- ALAMBERT, M. R. Estimativa estocástica de Parâmetros produtivos da soja: uso do modelo PPDSO em um estudo de caso em Piracicaba/SP. Dissertação apresentada à escola de economia de São Paulo – 2010, 108p.
- FINOTO, E.L.; BOLONHEZI, D.; SOARES, M.B.B.; MARTINS, A.L.M. **Produção de soja RR e ocorrência de plantas daninhas em áreas de reforma de cana crua com diferentes manejos na destruição da soqueira.** *Pesquisa & Tecnologia*, v.9, n.2, 2012.
- MARENCO, R. A.; Lopes, Nei F. Assimilate partitioning and phytotoxicity in soybean plants treated with herbicides, **Planta daninha**, 1996. Disponível em, < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83581996000100006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83581996000100006)>.
- NAAB, J.B.; SINGH, PIARA; BOOTE, J.W.; JONES, J.W.; MARFO, K.O. Using the CROPGRO-Peanut Model to Quantify Yield Gaps of Peanut in the Guinean Savanna Zone of Ghana, *Agron. J.* 2004.
- PINTO, C. M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do ?????
- SILVA, F.C. da, DIAZ-AMBRONA, C.G.H., BUCKERIDGE, M.S., SOUZA, A., BARBIERI, V., DOURADO NETO, D. Sugarcane and climate change: effects of CO<sub>2</sub> on potential growth and development . *Acta Hort.* (ISHS) 802:331-336, 2008. .En website: [http://www.actahort.org/books/802/802\\_43.htm](http://www.actahort.org/books/802/802_43.htm)
- TATSCH, J. D.; BINDI, M.; MORIONDO, M. A **Preliminary Evaluation of the Cropsyst Model for Sugarcane in the Southeast of Brazil.** In Impact of Climate Change on Agricultural and Natural Ecosystems edited by Marco Bindi, G. Brandani, A. Dessì (2009).

## MODELAGEM MATEMÁTICA ASSOCIADA AO BANCO DE DADOS NA ESTIMATIVA DA SAFRA CANAVIEIRA

Maximiliano Salles Scarpari<sup>1\*</sup>; Maria Luiza de Souza Silva<sup>2</sup>; Júlio César Garcia<sup>3</sup>.

<sup>1\*</sup>IAC/APTA - Centro de Cana-de-açúcar - C.P. 206 - Ribeirão Preto, SP - Brasil

<sup>2</sup>Dra. em Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ/USP

<sup>3</sup>IAC/APTA - Centro de Cana-de-açúcar - C.P. 206 - Ribeirão Preto, SP - Brasil

*msscarpa@iac.sp.gov.br*

### Resumo

A estimativa da produtividade da cana-de-açúcar nas áreas a qual normalmente é feita de forma visual pelos técnicos, ganha atualmente fortes aliados com o uso das modernas técnicas como a modelagem matemática associada ao uso das imagens de satélite. Da junção destas técnicas, cria-se uma poderosa ferramenta capaz de auxiliar nas tomadas de decisões objetivando sempre uma estimativa correta da produtividade baseada nas condições climáticas de cada ano. O modelo PREVCANA vem sendo aperfeiçoado desde os anos 2000 com o objetivo principal de estimar a produtividade, e o estágio atual de desenvolvimento após dezesseis anos de calibração e uso nas unidades vem avançando justamente com o banco de dados das unidades e a possibilidade atual do uso das imagens de satélite. O modelo simula o crescimento potencial da cana-de-açúcar baseado em parâmetros fotossintéticos da planta e edafo-climáticos de cada local de produção sendo radiação solar, índice de área foliar, coeficiente de extinção, taxa fotossintética, temperatura, respiração, idade da planta, disponibilidade hídrica e partição de fotoassimilados. Com o histórico de cada área produtiva extraído do banco de dados, simula-se o potencial de crescimento apoiado nas condições climáticas de cada ano possibilitando a construção de cenários de produtividade normal, favorável ou desfavorável na safra. Dessa forma, temos uma estimativa ao longo da safra para cada área produtiva.

**Palavras-chave:** Big data, cana-de-açúcar, modelagem matemática, planejamento agrícola.

### Summary

The estimated productivity of sugarcane in the areas which is usually done visually by technicians currently earns strong allies with the use of modern techniques such as mathematical modeling associated with the use of satellite images. The combination of these techniques creates a powerful tool that can assist in decision making always aiming at a correct estimate of productivity based on the climatic conditions of each year. The PREVCANA model has been improved since the 2000s with the main objective to estimate productivity and the current stage of development after sixteen years of calibration and use the units advancing to the link with the database of the units together with the possibility now the use of satellite images. The model simulates the growth potential of sugarcane based on photosynthetic parameters of the plant and soil and climate of each production site. With the history of each extracted productive area of the database, simulating the growth potential supported in the climatic conditions of each year allowing the construction of the normal productivity scenarios, favorable or unfavorable in the harvest. Thus, we have an estimate during the crop for each production area.

**Keywords:** Big data, sugar cane, mathematical modeling, agricultural planning.

### Introdução

Uma das preocupações básicas da Ciência, ao longo dos tempos, diz respeito à observação, reprodução e aprimoramento de fenômenos de naturezas das mais distintas. A partir do momento em que se considere que tais fenômenos são devidamente compreendidos e, eventualmente, controláveis, haverá condições de se obter um pequeno nível de incerteza nas previsões de ocorrência de eventos correlatos.

O início da modelagem em meados da década de 1970 na cana-de-açúcar ocorreu simultaneamente em três países. Bull & Tovey (1974) iniciaram na Austrália gerando posteriormente o modelo APSIM – Sugarcane (KEATING *et al.*, 1999). THOMPSON (1976) desenvolveu na África do Sul um modelo relacional simples precursor do atual modelo CANEGRO (INMAN-BAMBER & KIKER, 1997). No Brasil, Ometto (1974) estimou a Evapotranspiração potencial e relacionou com o rendimento da cultura. A evolução desses modelos para o CANEGRO e APSIM – Sugarcane é de grande valia para o planejamento da cultura, pois as previsões de produtividade normalmente são realizadas por observações e experiência dos técnicos através de seu “modelo mental”. O “modelo mental” é entendido como toda a experiência e observação adquirida ao longo do tempo pelo técnico. Vê-se que a formação de um técnico que realize previsões de produtividade requer tempo, ao contrário de um modelo matemático que dependendo do banco de dados com informações confiáveis de produtividade e clima poderá ser desenvolvido rapidamente.

A análise de crescimento tem sido adotada também na previsão de produtividade, entretanto com a mudança no manejo de plantio e corte de manual para mecanizados nos canaviais alguns problemas são notados no campo como menor porcentagem de brotação por problemas ocorridos no plantio bem como o aumento de falhas no canavial e isso dificulta sobremaneira a avaliação de crescimento feita pelo técnico. Extremos climáticos por sua vez também dificultam a avaliação do técnico sobre o padrão de crescimento ao longo dos meses de safra e essa oscilação climática vem ocorrendo ano a ano.

### Materiais e Métodos

O modelo PREVCANA que foi utilizado neste trabalho tem como base o modelo BRcane publicado por Barbieri (1993) onde as premissas iniciais para a criação de um modelo brasileiro de estimativa de produtividade de cana-de-açúcar foram discutidas. Desse modo, SCARPARI & BEAUCLAIR (2004, 2009) publicaram uma evolução desse modelo com a atualização de alguns parâmetros focados na estimativa de produtividade a fim de suportar valores de produtividade para os modelos de gestão. Desse modo, o modelo PREVCANA simula o crescimento potencial da cana-de-açúcar considerando a radiação solar, o índice de área foliar, o coeficiente de extinção, a taxa

fotossintética, a temperatura do ar, a respiração, a idade da planta, a disponibilidade hídrica e a partição de fotoassimilados (SCARPARI & BEAUCLAIR, 2009). O estágio atual de desenvolvimento após anos de calibração e uso nas unidades foi avançar para o uso do banco de dados das unidades juntamente com as imagens de satélite ou drones utilizando o índice de vegetação.

Desse modo, usando o modelo PREVCANA e o banco de dados de uma usina localizada na região de Ribeirão Preto/SP - safra 2015 simula-se o potencial de crescimento apoiado nas condições climáticas do ano agrícola possibilitando a construção de cenários de produtividade normal (Figura 1), favorável ou desfavorável na safra.

### Resultados e discussão

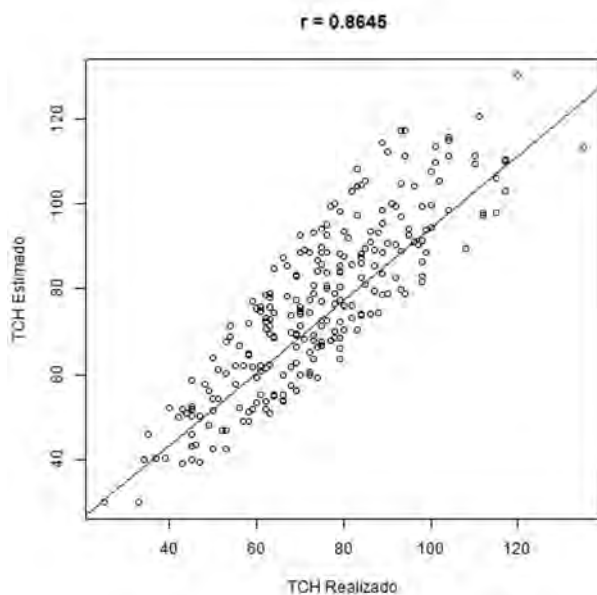
A (Figura 1) apresenta a estimativa ao longo da safra 2015 para cada área produtiva dessa unidade na região de Ribeirão Preto/SP. A espacialização dessa estimativa usando o modelo pode ser feita com a junção das imagens de satélite usando o índice de vegetação como exemplo.

**Figura 1.** Estimativa da produtividade (TCH – toneladas de cana por hectare) gerada pelo modelo PREVCANA utilizando o banco de dados. O índice de vegetação pode ser usado para variar a produtividade dentro do bloco de colheita.



Da (Figura 1), visualizamos áreas com tons de verde mais escuro indicando produtividades estimadas na faixa de 105 a 140 toneladas para áreas de cana planta e segundo corte e áreas com tons de amarelo e produtividades na faixa de 70 a 93 toneladas para canas de terceiro e quarto corte, e áreas com tons de laranja indicando produtividades abaixo de 70 toneladas para cana de quinto e demais cortes onde são áreas que requerem especial atenção seja por problemas no stand ou mesmo relacionados ao manejo que dependendo da distância desta área produtiva até a unidade de moagem, economicamente não se sustenta e medidas de reforma ou replantio dessas áreas devem ser tomadas. Por isso, usando conjuntamente as técnicas de modelagem matemática, banco de dados e imagem, obtém-se excelentes resultados na estimativa da safra com erros abaixo de 3% nas validações entre as produtividades estimadas e realizadas (Figura 2).

Figura 2. Validação entre produtividades estimadas versus realizadas.



Os próximos passos na evolução da estimativa da produtividade estão focados nos modelos de estimativa da maturação associados à imagem de satélite. Uma releitura do modelo de estimativa da maturação publicado por SCARPARI (2007) em associação à imagem de satélite já estão em testes e representam uma nova forma de se associar a modelagem da maturação com as imagens de satélite e as variações existentes dentro dos ambientes de produção.

#### Conclusões

A junção da modelagem matemática com o banco de dados gera avanços consideráveis na estimativa da produtividade canieira com resultados confiáveis na validação das produtividades estimadas e realizadas.

#### Referências bibliográficas

- BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa**. Piracicaba, 1993. 142p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BULL, T.A.; TOVEY, D.A. Aspects of modeling sugarcane growth by computer simulation. In: **INTERNATIONAL SOCIETY SUGARCANE TECHNOLOGISTS.**, 15., Durban, 1974. **Proceedings**. Durban: ISSCT, 1974 p. 1021-1032.
- INMAN-BAMBER, N.G.; KIKER, G. CANEGRO 3.10: **DSSAT version 3.1 distribution software**. IBNSAT, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA, 1997.
- KEATING, B.A., ROBERTSON, M.J., MUCHOW, R.C., HUTH, N.I. Modelling sugarcane production systems. 1. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v. 61, n.3, p. 253-271, 1999.
- OMETTO, J.C. **Equação para a estimativa de evapotranspiração potencial, sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do rendimento agro-industrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba – SP**. Piracicaba, 1974. 129p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SCARPARI, M.S. **PREDPOL: Um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**. 2007. 120p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F de. **Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters**. **Scientia Agricola**, v.61, p.486-491, 2004.
- SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. de. **Physiological model to estimate the maturity of sugarcane**. **Scientia Agricola**, v.66, p.622-628, 2009.
- THOMPSON, G.D. Water use by Sugarcane. **South African Sugar Journal**, November: p.593-600, December: p.627-635, 1976.

## AUSÊNCIA DE EFEITO RESIDUAL DO NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ENSAIO DE LONGA DURAÇÃO

Gonzaga, L.C. <sup>1\*</sup>; Montezano, Z.F.<sup>1</sup>; Cantarella, H.<sup>1</sup>; Vitti, A.C.<sup>2</sup>; Rossetto, R.<sup>2</sup>; Soares, J.R.<sup>1</sup>; Pinto, L.R.N.<sup>1</sup>; Degaspari, I.A.M.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>IAC - Centro de Cana-de-açúcar - Campinas-SP

<sup>2</sup>APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - Piracicaba-SP

hcantrll@iac.sp.gov.br

### Resumo

A crise econômica que se instalou sobre o setor sucroenergético nos últimos anos faz com que produtores de cana-de-açúcar busquem maneiras de reduzir custos, uma delas é a redução na adubação mineral. Após quatro ciclos de cultivo de cana-de-açúcar com adubações regulares com P, K e micronutrientes, além de níveis de N aplicados ao solo, objetivou-se avaliar o efeito residual dessa adubação na nutrição e produtividade da cana-de-açúcar nos dois ciclos subsequentes sem aplicação de fertilizantes. O estudo foi iniciado em abril de 2010 em Latossolo Vermelho Álico em Piracicaba, SP. A variedade CTC 14 foi plantada em parcelas com cinco sulcos espaçados em 1,5 m e com 10 m de comprimento. A adubação de plantio consistiu nas seguintes doses de N de 0, 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup>. Os níveis de adubação com N nas três soqueiras subsequentes foram de 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>. As adubações foram realizadas até o 3º ciclo de cana-soca, colhida em outubro de 2014 e suprimidas a partir da quarta soqueira. Houve aumento linear da produtividade de colmos acumulada dos anos em que foi realizada a adubação, a qual variou de 390 t ha<sup>-1</sup> sem a aplicação de N, a 470 t ha<sup>-1</sup> com 540 kg ha<sup>-1</sup> de N na somatória dos quatro ciclos. No entanto, com a supressão da adubação não houve diferença estatística para a produtividade e teor de N foliar, indicando a ausência de efeito residual da adubação nitrogenada mesmo em área que recebeu doses bastante contrastantes de N (de 0 a 540 kg ha<sup>-1</sup>). Conclui-se que a aplicação de N não deve ser suprimida mesmo após um histórico de aplicações de altas doses do nutriente.

**Palavras-chave:** Adubação nitrogenada; CTC 14; Produção acumulada; efeito residual de adubação

### Summary

Low prices in the sugarcane industry in recent years cause the industry to look for ways to reduce costs, one of which is the reduction in mineral fertilizer application. After four cycles of sugarcane cultivation with regular fertilization with P, K and micronutrients, and different rates of N applied to the soil, the residual effect of fertilization on nutrition and yield of sugarcane was evaluated in two subsequent cycles without fertilizer application. The study was initiated in April 2010 in a Red Latosol in Piracicaba, SP. CTC 14 variety was planted in plots with five rows spaced at 1.5 m and 10 m long. Fertilization at planting consisted of the following N rates: 0, 30, 60 and 90 kg ha<sup>-1</sup>. The rates of N in the three subsequent ratoon cycles were 0, 50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>. Fertilization was carried out until the 3rd cane ratoon cycle, harvested in October 2014, and suppressed in the fourth ratoon. There was a linear increase in accumulated sugarcane yield in the years in which fertilization was performed, which ranged from 390 t ha<sup>-1</sup> without N fertilization, to 470 t ha<sup>-1</sup> with 540 kg ha<sup>-1</sup> of N in the sum of four cycles. However, with the elimination of fertilizer application there was no statistical difference in sugarcane yield and leaf N content, indicating the absence of residual effect of nitrogen fertilization even in an area that received very contrasting levels of N (0-540 kg ha<sup>-1</sup>). It was concluded that N application should not be suppressed even after a history of high doses of nutrient application.

**Keywords:** CTC 14; Cumulative production; Nitrogen fertilization; residual effect of N fertilization

### Introdução

A estimativa da safra 2015/16 de cana-de-açúcar indica uma área cultivada de aproximadamente 9 Mha. O Estado de São Paulo continua a compor a maior parte com aproximadamente 5 Mha de área plantada o que representa mais de 50% de participação na produção brasileira de cana-de-açúcar (CONAB, 2015).

A crise econômica que tem se instalado sobre o setor sucroenergético nos últimos anos devido, dentre outros fatores, à redução do preço internacional do barril de petróleo, contribui negativamente com a competitividade econômica do etanol em relação à gasolina. A necessidade de redução de custos leva os produtores, muitas vezes, a reduzir a adubação e estender a longevidade do canavial, o que parece ser uma decisão antagônica.

O nitrogênio junto com o potássio são os nutrientes mais extraídos pela cultura da cana-de-açúcar (CANTARELLA *et al.*, 2007). A cana-de-açúcar é uma planta eficiente em aproveitar o N do solo devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante. Recentemente, tem-se demonstrado que os fertilizantes contribuem com 40% a 70% do N total na planta para os ciclos de cana-planta e cana-soca, respectivamente, durante os estágios iniciais de desenvolvimento da cultura (FORTES *et al.*, 2011; FRANCO *et al.*, 2011; TRIVELIN *et al.*, 2002; VITTI *et al.*, 2011).

O destino do nitrogênio não aproveitado pela cultura ou perdido por volatilização de NH<sub>3</sub>, lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ou desnitrificação é a incorporação pelos microrganismos do solo à matéria orgânica do solo (CANTARELLA *et al.*, 2007; FORTES *et al.*, 2013b; TRIVELIN *et al.*, 2013). As perdas podem ser minimizadas com o manejo da adubação nitrogenada seja pela adequação da dose ou fonte de N, como exemplo, o nitrato de amônio para a aplicação sobre a palhada em substituição à ureia. Parte do nitrogênio absorvido pela planta é reciclado na área por meio da palhada após a colheita. Assim, doses de N acima das quantidades exportadas podem ser acumuladas no solo e, eventualmente, ser usada pelas culturas subsequentes.

As adubações nitrogenadas de plantio e soqueiras de cana-de-açúcar são responsáveis pelo crescimento de raízes e a formação de um estoque nutricional na parte subterrânea e na palhada da cultura sobre o solo. A palhada proveniente da colheita da cana-de-açúcar sem despalha a fogo gera grandes quantidades de resíduos vegetais em torno de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (TRIVELIN *et al.*, 2013). Este material, que permanece no solo após as colheitas, corresponde à adição de 40 a 80 kg de N ha<sup>-1</sup> de matéria seca (VITTI *et al.*, 2008; VITTI *et*



al., 2011). Porém, a influência da palhada deixada sobre a superfície do solo no manejo da adubação do ciclo subsequente indica a aplicação de maiores doses de N ao invés da redução devido à elevada relação C:N do resíduo (VITTI *et al.*, 2007a) nos primeiros ciclos da cana, podendo diminuir nos ciclos subsequentes em função da disponibilidade do nitrogênio acumulado na matéria orgânica do solo (TRIVELIN *et al.*, 2013).

Experimentos de adubação de longo-prazo com cana-de-açúcar são raros, e mais ainda quando mantidos com colheita de cana-crua sem despalha a fogo. Após quatro ciclos de cultivo de cana-de-açúcar com adubações regulares de P, K e micronutrientes, além de níveis de nitrogênio aplicados ao solo, objetivou-se avaliar o efeito residual dessa adubação na nutrição e produtividade da cana-de-açúcar nos dois ciclos subsequentes sem aplicação de fertilizantes.

## Material e Métodos

### Dados do experimento de longo-prazo

O experimento foi instalado em área não irrigada da APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) - Polo Centro Sul - Piracicaba, SP (22°41'10,02" S, 47°38'54,70" O), no dia 14/04/2010 com o objetivo inicial de avaliar níveis de adubação com nitrogênio ao longo dos ciclos de cultivo da variedade de cana-de-açúcar CTC 14. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Alíco Textura muito argilosa A moderado (SIBCS, 2006).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. A parcela foi composta de cinco linhas de cana com 10 m de comprimento, espaçadas em 1,5 m, compreendendo uma área total de 75 m<sup>2</sup>.

Os tratamentos, níveis de adubação com nitrogênio, foram aplicados no início de cada ciclo de produção. Esses níveis foram definidos como sendo controle (sem adubação com nitrogênio), baixa, média e alta dose de N via fertilizante mineral. De acordo com a tabela de recomendação de fertilizantes para a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (Raij e Cantarella, 1997) as doses foram de 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia e aplicadas no sulco de plantio no momento da instalação do experimento. As doses para os ciclos das soqueiras foram de 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de nitrato de amônio aplicadas um mês após a colheita de cada ciclo. Adicionalmente, no plantio, a adubação comum a todos os tratamentos foi de 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, 60 kg ha<sup>-1</sup> de S, 2 kg ha<sup>-1</sup> de B, 3 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn e 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de Mo; nas soqueiras foram aplicados 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no início de cada ciclo.

Foram coletadas 30 folhas em cada parcela no mês de fevereiro de cada ano de 2011 a 2014. A folha amostrada foi a +1 (primeira folha de cima para baixo com lígula visível), considerando apenas o terço médio da lâmina foliar sem a nervura central. O material vegetal foi secado a 65 °C em estufa com circulação forçada de ar por um período de 48 horas, moído em moinho do tipo Wiley, passado em peneira com malha de 0,853 mm (20 mesh ABNT) e analisado para determinação da concentração de macronutrientes seguindo a metodologia descrita em Bataglia *et al.* (1983).

A produtividade foi calculada pesando a produção de colmos total da parcela com célula de carga acoplada a um trator equipado com garra hidráulica.

Este experimento foi conduzido por quatro ciclos seguidos de cultivo, cana-plantada e mais três ciclos de soqueira com a aplicação dos tratamentos com as doses de nitrogênio acima mencionadas. Após a colheita do 3º ciclo de cana-soca em 18/10/2014 a área experimental foi mantida sem a aplicação de fertilizantes.

### Efeito residual da adubação

Dois ciclos de cultivo de cana-soca, 2014/15 e 2015/16, foram avaliados quanto ao efeito residual das adubações realizadas anteriormente. A produção de colmos foi medida em 2014/15 e a concentração de N foliar em 2014/15 e 2015/16.

Foram analisadas amostras da folha +1 coletadas nas três linhas centrais de cada parcela, em fevereiro de 2015 e 2016, considerando o terço médio da lâmina sem a nervura central, utilizando o procedimento descrito por Bataglia *et al.* (1983).

A avaliação biométrica foi realizada em 17/09/2015 com o objetivo de estimar a produtividade de colmos. Os colmos de 20 plantas foram coletados aleatoriamente nas três linhas centrais dentro de cada parcela, descontando um metro de cada extremidade para cálculo do peso médio dos colmos. A produtividade foi então calculada com base na equação abaixo.

$$\text{Produtividade de colmos (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(P \times C)}{E} \times 10$$

onde:

P = peso médio de cada planta (kg);

C = número de perfilhos por metro;

E = espaçamento entre sulcos (m).

O número de perfilhos por metro de linha de cana do 3º ciclo de cana-soca, calculado pela contagem do número total de perfilhos nas três linhas centrais de cada parcela em agosto de 2014, foi utilizado na equação acima.

Os resultados foram submetidos à análise de variância considerando o nível de significância de 10%. O efeito dos níveis de adubação com nitrogênio sobre as concentrações de N e demais macronutrientes na folha +1, e também a produtividade de colmos em todos os ciclos de cultivo foi avaliado pelo teste F. As análises estatísticas foram feitas com o programa SISVAR® versão 5.6.

Os dados de precipitação pluvial da área do experimento são mostrados na (Figura 1).

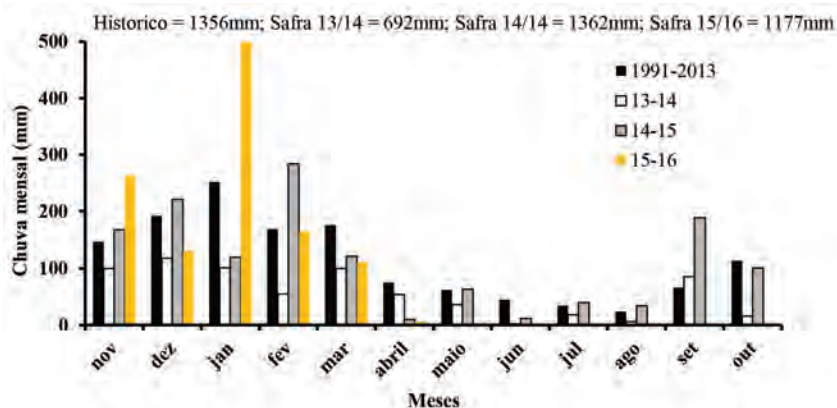
## Resultados e Discussão

### Nitrogênio na folha e produtividade de colmos no experimento de longo-prazo

O incremento na dose de N aplicada resultou em resposta linear significativa na produtividade de colmos acumulada dos quatro cortes

com adubação (Figura 2). Para cada kg de N aplicado houve incremento de 158 kg de cana-de-açúcar conforme a equação de ajuste linear. ROSSETTO *et al.* (2010) encontraram resposta a adubação nitrogenada em 14 de 15 experimentos instalados para avaliar o efeito da fertilização nitrogenada, outros trabalhos publicados posteriormente também condizem para a resposta da cultura ao nutriente (OLIVEIRA *et al.*, 2016; CASTRO *et al.*, 2016; FRANCO *et al.*, 2015; KOLLN *et al.*, 2015; BOLOGNA-CAMPBELL *et al.*, 2013; Fortes *et al.*, 2013a; FRANCO *et al.*, 2010). Em condições de cana colhida sem despalha a fogo no presente estudo houve um aumento médio de 23 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou 85,3 t ha<sup>-1</sup> na somatória de 4 cortes em função da aplicação de N (Figura 2). A variedade CTC 14 é recomendada para ambientes com potencial de produção de médio a alto, tornando-a responsiva a adubação (Censo, 2012), como ocorreu nesse experimento.

**Figura 1.** Chuva mensal durante o período do experimento e a média histórica (de 1993 até 2013). Dados parciais da safra 2015/16 (Nov/15 até Abr/16).



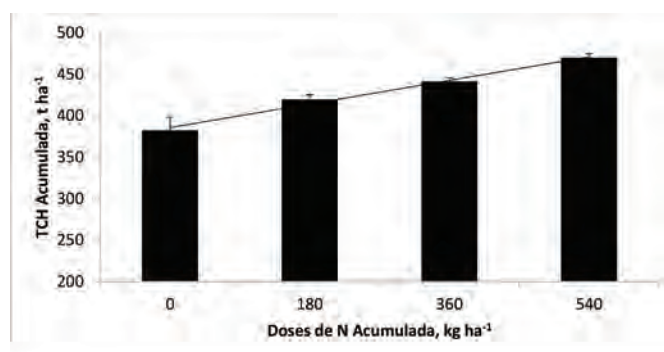
No último ano em que a cana-de-açúcar foi adubada (2013/14) as chuvas ficaram muito abaixo da média dos últimos 10 anos na região (Figura 1) e as condições de estresse hídrico provavelmente causaram aumento da variabilidade experimental. A equação da resposta da produtividade de colmos em função de doses de N aplicado não foi significativa ( $pr > F = 0,13$ ) pelo critério estatístico usado no presente estudo; porém, como na média dos quatro cortes (Figura 2), havia tendência de aumento da produtividade de colmos em função da aplicação de N (Figura 3).

Com a supressão da adubação na quarta soca (2014/15) não se observou efeito residual do N aplicado nos anos anteriores (Figura 3), mesmo tendo havido elevação no volume de chuva em relação ao último ciclo, sendo no período o acumulado de chuvas superiores até mesmo à média histórica dos últimos 10 anos (Figura 1). VITTI *et al.* (2007a) evidenciam em seu trabalho que a supressão da adubação pode causar ainda a redução da longevidade do canavial, pois após ter sido reestabelecida a fertilização havendo um ciclo sem aplicação, as respostas a doses de N aplicadas não foram expressivas.

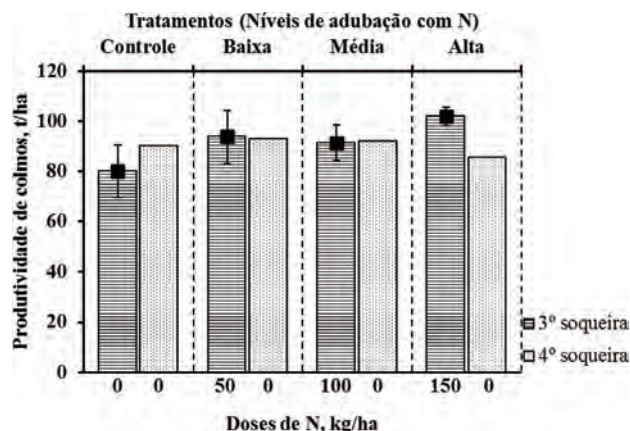
XAVIER *et al.* (2008) estudando o efeito residual de diferentes fontes de nitrogênio em cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho argiloso observaram que a adubação nitrogenada promoveu diferença significativa na produção de colmos com a aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em relação ao controle. No entanto, no ciclo seguinte, após ausência de adubação, não houve diferença estatística. Em outro estudo, SCHULTZ *et al.* (2010), não observaram efeito residual proveniente da adubação com N, como ureia e vinhaça durante sete ciclos, quando esta foi suprimida. Vitti *et al.* (2007a) encontrou efeito residual de aplicações anteriores de N; porém, no estudo a adubação não foi completamente suprimida tendo havido aplicação de uma dose padrão de 100 kg ha<sup>-1</sup> na 3ª soqueira em plantas que haviam recebido doses de 0 a 175 kg ha<sup>-1</sup> no ciclo anterior (2ª soca).

**Figura 2.** Produtividade acumulada de quatro cortes (2011-2014) em função da adubação nitrogenada. A equação da reta ajustada aos pontos médios de produtividade de colmos em função das doses de N é: Produtividade (t ha<sup>-1</sup>) = 0,1582\*Dose N + 385,51 ( $pr > F = 0,0086$ ).

**Figura 3.** Produtividade de colmos de cana-de-açúcar da variedade CTC 14 no 3º ciclo de soqueira (2013/14) com aplicação de doses de N, 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, e para o 4º ciclo de soqueira (2014/15) onde toda a adubação mineral foi suprimida em função dos tratamentos. As barras verticais correspondem ao desvio padrão da média. A equação da reta ajustada aos pontos médios de produtividade



de colmos em função das doses de N para a 3ª soqueira é: Produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) =  $0,13 * Dose\ N + 82,4$  ( $pr > F = 0,1328$ ).



O aproveitamento do N fertilizante é normalmente baixo já no ciclo em que a adubação foi realizada conforme apresentado por vários autores. VITTI *et al.* (2011); FRANCO *et al.* (2015). Em áreas com cana colhida sem despalha a fogo parte do N é reciclado por meio da palha, além do N que pode se acumular na matéria orgânica do solo. TRIVELIN *et al.* (2013) mostraram que após seis anos somente cerca de 30% do nitrogênio incorporado nos resíduos de ciclos anteriores da cana-de-açúcar foram reaproveitados pela cultura. Outro fator que relevante é a alta relação C/N da palha, fazendo com que o N presente no solo seja imobilizado pelos microrganismos para a decomposição do material orgânico, consequentemente diminuindo o teor de N no solo disponível para as plantas (VITTI *et al.*, 2007b), sugerindo que a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar deverá sofrer alterações em função da alta relação C/N da palha.

**Tabela 1.** Concentração de nitrogênio na folha +1 e produtividade de colmos para cada ciclo de cultivo da variedade de cana-de-açúcar CTC 14 em função dos tratamentos com doses de nitrogênio.

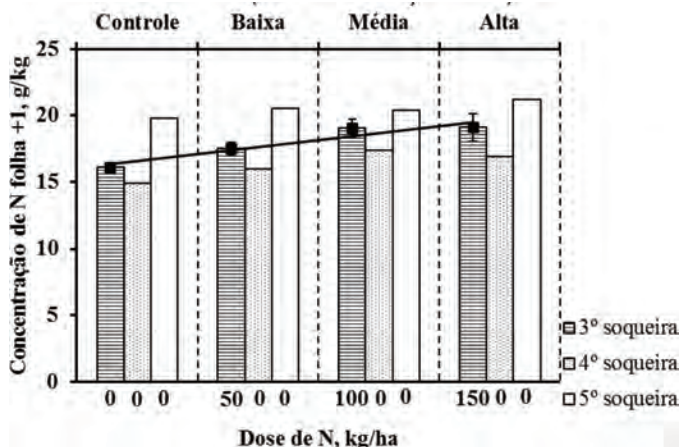
Doses de N	Ciclos de cultivo (2013 – 2016)					
	3º soqueira		4º soqueira		5º soqueira	
	----- N foliar ( $g\ kg^{-1}$ ) <sup>#</sup> -----					
0	16,1 ± 0,4	14,9 ± 0,7	19,8 ± 1,7			
50	17,5 ± 0,5	15,9 ± 0,8	20,5 ± 1,2			
100	19,0 ± 0,7	17,3 ± 1,4	20,4 ± 1,1			
150	19,1 ± 1,0	16,9 ± 0,5	21,2 ± 1,6			
$\bar{X}$ <sup>§</sup>	17,9 ± 0,4	16,3 ± 0,5	20,5 ± 0,6			
Pr > F <sup>†</sup>	0,0543		0,3092		0,7917	
CV (%) <sup>‡</sup>	8,2		11,4		9,9	
	----- Produtividade de colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) <sup>#</sup> -----					
0	80,1 ± 10,4	90,0 ± 10,8	-	-	-	-
50	93,8 ± 10,6	92,9 ± 9,8	-	-	-	-
100	91,5 ± 7,0	92,1 ± 3,8	-	-	-	-
150	102,0 ± 3,7	85,7 ± 12,8	-	-	-	-
$\bar{X}$ <sup>§</sup>	91,8 ± 4,3	90,2 ± 4,5	-	-	-	-
Pr > F <sup>†</sup>	0,1328		0,9433		-	
CV (%) <sup>‡</sup>	12,6		19,8		-	

(#) Médias para cada tratamento (n=4) e erro padrão da média ( $\bar{X} \pm \sigma_{\bar{X}}$ ); (§) Média dos tratamentos (n=16) e erro padrão da média ( $\bar{X} \pm \sigma_{\bar{X}}$ ); (†) Probabilidade de significância pelo teste F da ANOVA; (‡) Coeficiente de variação.

De fato, ROSSETTO *et al.* (2010), em rede de ensaios em 15 locais com socas de cana-de-açúcar colhidas sem despalha a fogo no Estado de São Paulo observaram que as produtividades máximas de colmos foram atingidas com  $148\ kg\ ha^{-1}$  de N, maiores do que as geralmente observadas em áreas de cana queimada (PENATTI, 2013).

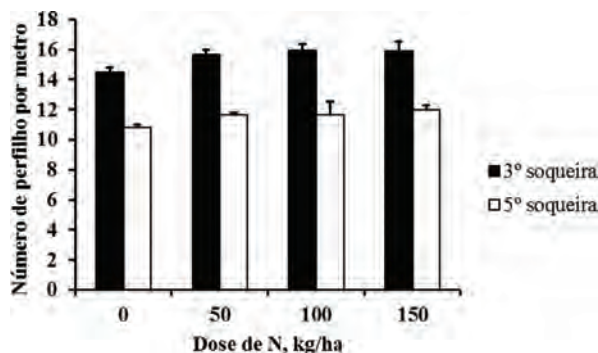
Observou-se efeito linear de doses de N sobre o teor foliar desse nutriente somente na safra adubada, corroborando os resultados encontrados por VITTI *et al.* (2010). Já para a 4ª e 5ª soqueira, as quais não receberam fertilizante, as doses de nitrogênio aplicadas anteriormente não influenciaram o teor de N foliar, confirmando a falta de efeito residual observada para a produção de colmos (Figura 4, Tabela 1).

**Figura 4.** Concentração de nitrogênio na folha +1 de cana-de-açúcar da variedade CTC 14 no 3º ciclo de soqueira onde as doses de nitrogênio foram aplicadas no solo, assim também como a adubação com 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mais 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, e para o 4º e 5º ciclos onde toda a adubação mineral foi suprimida em função dos tratamentos. As barras verticais correspondem ao desvio padrão da média. A equação da reta ajustada aos pontos médios de concentração em função das doses de N para a 3º soqueira é: Concentração (g kg<sup>-1</sup>) = 0,02\*Dose N + 16,3 (pr > F = 0,0033).



Os resultados da análise foliar mostraram que na 5º soca houve aumento no teor de N em comparação com a 4º soca, sendo que ambos os cortes não receberam aplicação de fertilizantes (Figura 4). Os valores obtidos na amostragem da 4º soqueira (2014/15) estavam abaixo da faixa de teor adequado (18-25 g kg<sup>-1</sup>) indicado por RAIJ E CANTARELLA. (1997). Para os ciclos de 2013/14 (3º soqueira) e 2015/16 (5º soqueira) os valores se mostraram adequados. Os teores foliares de N mais elevados na 5º soca podem ser atribuídos ao fato de que no período anterior à coleta de folha deste ciclo o volume de chuva foi superior aos dos 12 anos anteriores para o mês de janeiro. A umidade é um dos principais fatores que afetam a absorção e translocação do nitrogênio na planta.

**Figura 5.** Número de perfilho por metro linear de cana-de-açúcar da variedade CTC 14 medido em agosto/2014 e maio/2016 correspondente ao 3º e 5º ciclos de soqueira, respectivamente, em função de doses de nitrogênio aplicadas até o 3º ciclo de soqueira. As barras verticais correspondem ao erro padrão da média.



O número de perfilhos não foi afetado pelas doses de N dentro de um mesmo ciclo em ambas as safras analisadas, tanto em 2013/14, com a adubação, quanto na ausência desta, em 2015/16. Porém, o número de perfilhos na 5º soca foi menor do que o observado na 3ª. soca, na média de todos os tratamentos. FARONI (2008) observou que parte do N absorvido pelas plantas de cana-de-açúcar fica no rizoma e raízes podendo ser este estoque utilizado para a brotação da safra seguinte. Entretanto, esse efeito não foi observado no presente estudo. Geralmente, o número de perfilhos tende a se estabilizar no final do ciclo anual de modo que o perfilhamento na fase de brotação das soqueiras ne sempre reflete a população final.

A área do presente estudo já havia recebido, ao longo de quatro ciclos de cana-de-açúcar, doses acumuladas de N bastante contrastantes: de 0 a 540 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). O efeito linear da adubação nitrogenada sobre a produtividade de colmos e teor foliar de N, que ocorreu na média dos quatro ciclos anteriores, não se manifestou quando a adubação foi suprimida (Tabela 1). Neste último ano, o regime hídrico foi mais favorável do que no anterior e a produtividade média de colmos foi semelhante à da última safra adubada (92 t ha<sup>-1</sup> em 2013/14 e 90 t ha<sup>-1</sup> em 2014/2015)

### Conclusões

O estudo mostrou que não houve efeito residual considerando as análises de produtividade, teor foliar e números de perfilhos na ausência de adubação. A fertilidade construída ao longo do ciclo mesmo com altas aplicações de nitrogênio não foi suficiente para promover diferença significativa entre os tratamentos com a supressão da fertilização. Portanto, mesmo em anos de crise, não é aconselhável suprimir a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar.

**Referências Bibliográficas:**

- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Methods of plant chemical analysis. Campinas: Instituto Agronômico**, p.48. 1983.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I.; FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; COSTA, M.C.G.; TRIVELLIN, P.C.O. Impact of Nitrogen and Sulphur Fertilisers on Yield and Quality of Sugarcane Plant **Crop. Sugar Tech**, v.15, n.4, p.424–428, 2013.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; **Nitrogênio e enxofre na cultura de cana-de-açúcar**. In: YAMADA, T. AB-DALLA, S.R.S.e.; VITTI, G.C. Simpósio sobre nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira 2006. Piracicaba. IPNI, Brasil. p.355-412. 2007.
- CASTRO, S.G.Q.de.; DECARO JR, S.T.; FRANCO, H.C.J.; MAGALHÃES, P.S.G.; GARSIDE, A.; MUTTON, M.A. Best practices of nitrogen fertilization management for sugarcane under green cane trash blanket in Brazil. **Sugar Tech**, 2016.
- Censo varietal e de produtividade 2012**. CTC - Centro de tecnologia canavieira. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/Censo2012.pdf>. Acessado em 30 Junho de 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Monitoramento da Produção Brasileira de Cana-de-açúcar. **Relatório técnico. Safra 2015-2016– Brasília: Conab**, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/Quadrimestral/Recebeu/numeraçao/a-partir-de-abr./2014>. Acessado em 21 de Março de 2016.
- FARONI, C. E. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. Tese de doutorado. Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 191p. 2008.
- FORTES, C., TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C., FERREIRA, D.A., FRANCO, H.C.J., OTTO, R. Recovery of nitrogen (15N) by sugarcane from previous **crop residues and urea fertilisation under a minimum tillage system. Sugar Tech 13**, p.42-46. 2011.
- FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p.88–96, 2013a.
- FORTES, C., VITTI, A.C., OTTO, R., FERREIRA, D.A., FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O. Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. **Scientia Agricola 70**, p.313-320. 2013b.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E. **Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. Scientia Agricola**, v. 67, n. October, p.579–590, 2010.
- FRANCO, A.A., OTTO, R., FARONI, C.E., VITTI, A.C., OLIVEIRA, E.C.A., TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crop. Res.** 121, p.29-41. 2011.
- FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; ALMEIDA, E.C.; FORTES, C.; FERREIRA, D.A.; KOLLN, O.T.; GARSIDE, A.L.; TRIVELIN, P.C.O. **Residual recovery and yield performance of nitrogen fertilizer applied at sugarcane planting. Scientia Agricola**, v. 72, n. December, p.528–534, 2015.
- KOLLN, O.T.; GAVA, G.J.de.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; URIBE, R.A.M.; PANUTTI, L.E.da.R.; TRIVELLIN, P.C.O. Fertigated sugarcane yield and carbon isotope discrimination ( $\Delta 13C$ ) related to nitrogen nutrition. **Sugar Tech**, 2015.
- OLIVEIRA, A.P.P.de.; THORBURN, P.J.; BIGGS, J.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; ZANOTTI, N.E. The response of sugarcane to trash retention and nitrogen in the Brazilian coastal tablelands: a simulation study. **Experimental Agriculture**, v. 52, n. 1, p.69–86, 2016.
- PENATTI, C. P. Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 347p. 2013.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Instituto agrônômico, Campinas**. 2.ed. p.237-244. 1997.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; LANDEL, M.G.A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A.C.; PERECIN, D. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 27, p.1–8, 2010.
- SCHULTZ, N.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p.811–820, 2010.
- SIBCS - Sistema brasileiro de classificação de solos. **EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro, RJ)**. 2.ed. – Rio de Janeiro : **EMBRAPA-SPI**. 306 p. 2006.
- TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C., OLIVEIRA, M.W., GAVA, G.J.C., SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo 26**, 637-646. 2002.
- TRIVELIN, P. C. O. FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FERREIRA, D.A.; VITTI, A.C.; FORTES, C.; FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 345–352, 2013.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p.249–256, 2007a.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada á localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31. p.491-498. 2007b.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOVAJAR, J.G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p.2757–2762, 2008.
- VITTI, A.C., FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O., FERREIRA, D.A., OTTO, R., FORTES, C., FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 46**, p.287-293. 2011.
- XAVIER, M.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A.C.; Eficiência agrônômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana de açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.1681–1690, 2008.

## PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E EXTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM EXPERIMENTO DE LONGO PRAZO ASSOCIADO A DOSES DE N

Degaspari, I.A.M. \*; Montezano, Z.F.<sup>1</sup>; Soares, J.R.<sup>1</sup>; Cantarella, H.<sup>1</sup>; Vitti, A.C. ; Rossetto, R.<sup>2</sup>; Pinto, L.R.N.<sup>1</sup>; Gonzaga, L.C.<sup>1</sup>; Joris, H.W.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Solos e Recursos Ambientais - Instituto Agronômico – IAC, Campinas, SP,

<sup>2</sup>Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios-Apta – Piracicaba, SP

*iracemasolos@gmail.com*

### Resumo

A produtividade e longevidade dos canaviais depende, dentro outros fatores, do correto manejo da adubação. Há poucas informações na literatura sobre adubações sucessivas com doses diferenciais de nitrogênio em experimentos de longa duração. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de doses de N na nutrição, produtividade e extração de macronutrientes, em ciclos de produção subsequentes à renovação do plantio de cana-de-açúcar em um experimento de longo prazo, mantendo sempre os mesmos tratamentos. O experimento foi conduzido em campo com a variedade IACSP95 - 5094, em cana planta (safra 2013-14), e duas safras de cana soca (2014-15 e 2015-16), com cana colhida sem despalha a fogo em Piracicaba-SP. O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com quatro repetições, com tratamentos com quatro doses de N, 0-30-60-90 kg/ha em cana planta, e 0-60-120-180 kg/ha, em cana soca. Anteriormente, por quatro ciclos de soqueiras, as parcelas receberam as mesmas doses de N das soqueiras do presente estudo, dando a oportunidade de avaliar o efeito residual da adubação nitrogenada de longo prazo. A alta variabilidade experimental não permitiu observar resposta a N nos ciclos da cana planta e da primeira soca; no entanto, a análise conjunta da somatória das duas colheitas indicou resposta linear à adubação com N, com aumento de produtividade de 136 kg/ha de colmos por quilograma de N aplicado em dois anos, ou 37 t/ha de colmos com a adição de 270 kg/ha de N. Nas parcelas testemunhas, que não receberam N, a produção de colmos atingiu 204 t/ha em dois anos. Pelo menos 113 kg/ha de N seriam necessários para repor o N exportado

**Palavras-chave:** Nitrogênio, manejo da fertilidade, longa duração, cultura energética

### Summary

The productivity and longevity of sugarcane depends, among other factors, on good fertilization management. There is little information in the literature on successive fertilization with nitrogen rates in long-term experiments. The aim of this study was to evaluate the effect of N rates on nutrition, productivity and extraction of macronutrients in consecutive production cycles following the renewal of sugarcane planting in a long-term experiment, while maintaining the same treatments. The experiment was conducted under field conditions with the variety IACSP95 - 5094 in plant cane (2013-14 cycle), and two crops of sugarcane ratoon (2014-15 and 2015-16 cycles), with sugarcane harvested without fire in Piracicaba-SP. The experiment was conducted in a randomized block design with four replications. The treatments comprised four doses of N, 0-30-60-90 kg/ha in plant cane, and 0-60-120-180 kg/ha ratoon cane. Previously, for four ratoon cycles, the plots received the same doses of N as in this study, allowing the assessment of long term residual effect of nitrogen fertilization. The high experimental variability did not make possible to observe yield response to N fertilization in both plant cane and first ratoon cycles; however, the joint analysis of the sum of the two harvests indicated linear response to N fertilization, an increase of productivity of 136 kg/ha of stems per kilogram of N applied in two years, or 37 t/ha of stems with the addition of 270 kg/ha of N. The stem yield in control plots that received no N reached 204 t/ha in two years. At least 113 kg/ha of N would be needed to restore the exported N.

**Kwywords:** Nitrogen, fertility management, long term, energy crop

### Introdução

A cultura da cana-de-açúcar é de grande importância para a produção de açúcar e de etanol no Brasil. A estimativa de produção total de cana é de 655 milhões de toneladas, com área cultivada destinada à atividade sucroalcooleira de aproximadamente 9 milhões de hectares para a safra 2015/16 (Conab, 2015). O Estado de São Paulo é o maior produtor, com cerca de 51% do total.

Com advento de legislações ambientais que restringem a queima prévia da cana-de-açúcar para a colheita há um aumento de resíduos vegetais sobre superfície do solo interferindo no manejo da fertilidade. A cana-de-açúcar é uma cultura que tem grande demanda por nitrogênio (N). Com a palhada presente na superfície do solo, o aproveitamento de N pela planta que gera questionamentos em virtude da possibilidade de imobilização de parte do N (Trivelin *et al.*, 2013).

O residual de nitrogênio aproveitado nas soqueiras sucessivas depende do correto manejo da adubação nitrogenada na cana planta e soqueira (Franco *et al.*, 2010). O efeito residual de N e enxofre (S) presentes no sistema radicular de cana soca são importantes para a produtividade nos ciclos subsequentes da cultura (Vitti *et al.*, 2007). Além disso, o manejo adequado da adubação nitrogenada pode resultar em maior longevidade do canavial e aumentar o número de cortes entre as reformas.

O aproveitamento do N pelas plantas é relativamente baixo – em torno de 25 a 40% do N fertilizante aplicado (Cantarella *et al.*, 2007; Dourado Neto *et al.*, 2010; Trivelin *et al.*, 2002), variável em função das condições ambientais e manejo. Contudo, ao longo do ciclo da cultura, as adubações nitrogenadas cumulativas são importantes para o fornecimento de nitrogênio para os próximos cultivos (Cantarella *et al.*, 2007).

São poucos os experimentos de adubação de longo prazo em cana-de-açúcar, principalmente considerando a renovação do canavial dentro do período de avaliação, com colheita sem queima. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de doses de N na nutrição, produtividade e extração de macronutrientes, em ciclos de produção subsequentes à renovação do plantio de cana-de-açúcar em um experimento de longo prazo, mantendo sempre os mesmos tratamentos.

## Material e Métodos

### Histórico da área experimental

O experimento foi instalado na estação experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), situada em Piracicaba, SP, 22°43'S e 47°38'W, altitude de 546 m, temperatura média anual de 22 °C e precipitação média anual de 1400 mm (Figura 1), em um Latossolo Vermelho distrófico, textura muito argilosa A moderado (SiBCS, 2006). A área é cultivada há mais de 20 anos com cana-de-açúcar.

Antes do presente estudo, um experimento foi conduzido no mesmo local entre 2009 a 2012, durante quatro ciclos de cana-soca consecutivos, com quatro tratamentos constituídos por quatro doses de N: 0, 60, 120 e 180 kg/ha, como nitrato de amônio, aplicadas sobre a palhada em faixa 0,2 m ao lado das plantas no início de cada ciclo (Joris, 2015). A área foi colhida mecanicamente sem despalha a fogo.

### Renovação da área experimental

Em abril de 2013 a área foi renovada com o plantio da variedade IACSP95-5094, após aração e gradagem para eliminar a soqueira anterior e incorporação de 3 t/ha de calcário, e um novo experimento foi reinstalado nas mesmas parcelas.

O delineamento experimental foi o mesmo utilizado no período anterior. As parcelas foram constituídas por 8 linhas com 30 metros de comprimento e espaçadas em 1,5 m. Para o ciclo de cana-planta (2013-2014) os tratamentos foram doses de N de 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup>, na forma de ureia, aplicadas no sulco de plantio, além de tratamento controle sem nitrogênio. Foram aplicados também no sulco 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, 60 kg ha<sup>-1</sup> de S, 2 kg ha<sup>-1</sup> de B, 3 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn e 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de Mo, comuns a todas as parcelas.

Para o ciclo de cana-soca (2014-2015) as doses foram de 60, 120 e 180 kg/ha de N na forma de nitrato de amônio. Foram aplicados também 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Na cana-soca, os fertilizantes foram aplicados sobre a palha, em faixas 0,2 m ao lado das plantas, aproximadamente 30 dias após a colheita mecanizada do ciclo anterior. Atualmente o experimento se encontra no 2º ciclo de cana-soca (2015/16).

### Análise foliar

Amostras da folha +1 foram retiradas de 30 plantas por parcela em fevereiro de 2014, 2015 e 2016, para os ciclos de cana-planta, 1º e 2º soqueiras, respectivamente. Foi considerado somente o terço médio da folha, sem a nervura central. O material vegetal foi seco em estufa (a 65 °C), com circulação forçada de ar, por um período de 48 horas. Em sequência, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e passadas em peneira de malha de 0,853 mm (20 mesh ABNT) para determinação dos teores de N, P, K, Ca Mg, S (Bataglia *et al.*, 1983).

### Produtividade de colmos

A produtividade de colmos, expressa em toneladas por hectare (TCH), foi estimada para dois ciclos de produção, cana-planta e 1º soqueira. Os procedimentos de amostragem e o cálculo da produção da cana-planta foram baseados em Landell *et al.* (2005). Foram tomadas medidas do diâmetro do colmo (em milímetros) com auxílio de um paquímetro, e de altura (em centímetros) a partir do ápice à base do colmo de dez plantas em duas repetições, nas duas linhas centrais de cada parcela. O número de perfilhos por metro foi estimado a partir da contagem do número total de perfilhos nas três linhas centrais por parcela. De posse desses resultados a equação abaixo (eq. 1) foi utilizada para calcular a produtividade da cana-de-açúcar.

$$TCH(t\ ha^{-1}) = \frac{d^2 \times C \times h \times (0,007854)}{E}$$

onde:

TCH = tonelada de colmo por hectare (t ha<sup>-1</sup>)

d = diâmetro médio dos colmos (mm);

C = número de perfilhos por metro;

h = altura média dos colmos (cm);

E = espaçamento entre linhas de plantio (m).

Para o ciclo da 1º soqueira, a produção de colmos foi estimada com base no peso do feixe de colmos coletados (em 2 metros) das duas linhas centrais de cada parcela, além da contagem do número de perfilhos nas três linhas centrais, como procedido na cana-planta. A produtividade de colmos foi estimada com o uso da equação abaixo (eq. 2).

$$TCH(t\ ha^{-1}) = \frac{(P \times C)}{E} \times 10$$

onde:

TCH = tonelada de colmo por hectare (t ha<sup>-1</sup>)

P = peso médio do colmo (kg);

C = número de colmos por metro;

E = espaçamento entre sulcos (m).

O ensaio ainda não foi colhido para o ciclo 2015/16 (terceira soca)

### Extração de Macronutrientes

Para o ciclo da 1ª soqueira, subamostras dos colmos, ponteiros e folhas secas foram coletados nos dois metros em cada parcela, foram triturados, homogeneizados e pesados no campo. Subamostras foram retiradas e acondicionada em sacos de papel para determinação da umidade após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C. O material vegetal seco foi moído em moinho tipo Wiley, passando em peneira com malha de 0,853 mm (20 mesh ABNT) e analisado para a determinação das concentrações dos macronutrientes (Bataglia et al., 1983). As quantidades acumuladas de cada macronutriente nos diferentes compartimentos da parte aérea foram calculadas pela multiplicação das concentrações pela massa de material seco e os resultados expressos em kg/ha.

### Análise Estatística

A análise de variância dos resultados foi realizada segundo o procedimento proc GLM (General Linear Models) do software SAS (SAS Institute). As médias dos resultados de concentração dos macronutrientes na folha diagnóstico, TCH e as quantidades extraídas na parte aérea das plantas foram ajustadas ao modelo linear e/ou quadrático por análise de regressão. Para todos os testes estatísticos o nível de probabilidade de 10%.

### Resultados e Discussão

#### Concentração dos Macronutrientes na Folha +1

As concentrações dos macronutrientes na folha +1 da cana-de-açúcar, variedade IACSP 95-5094, para os ciclos de cana-planta (2013/14), 1ª soqueira (2014/15) e 2ª soqueira (2015/16) responderam significativamente às doses de N aplicadas apenas no último ciclo de cultivo (Tabela 1). Nesse, as concentrações de praticamente todos os macronutrientes nas folhas aumentaram com as doses de N.

Além da ausência de resposta à aplicação de N, as concentrações de N e de P foliar no ciclo da cana planta ficaram abaixo dos valores considerados adequados por Raij et al. (1996) – 18-25 g/kg para N e 1,5-3,0 g/kg para P. Os demais nutrientes ficaram dentro das faixas de teores adequados. As baixas concentrações de N e de P nesse ciclo podem ter sido consequência das condições climáticas no ano agrícola 2013/2014. Esse ano se caracterizou por um verão bastante seco, com precipitações pluviárias bem abaixo da média da região entre dezembro de 2013 a abril de 2014 (Figura 1)

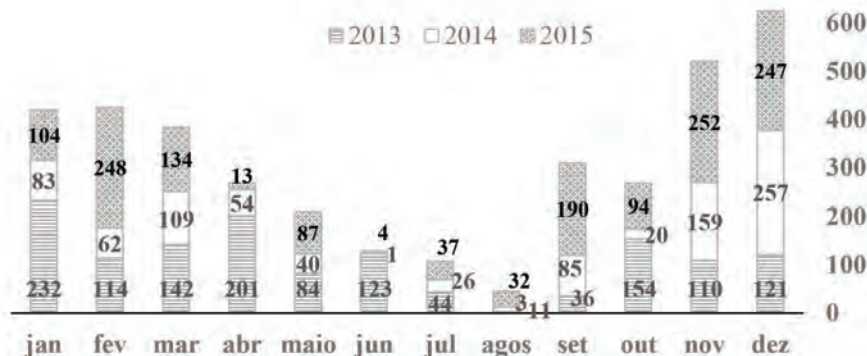
As concentrações foliares nas amostras da primeira soca (coletadas no início de 2015) foram, em geral, mais elevadas do que no ano anterior, refletindo a melhor distribuição de chuva a partir de novembro de 2014 (Figura 1) e se enquadraram na faixa de resultados adequados (Raij et al., 1996) para todos os macronutrientes analisados. Nessa soca também não houve resposta significativa dos teores foliares em função da adubação nitrogenada (Tabela 1).

A falta de resposta à adubação nitrogenada em termos de teores foliares nos primeiros dois ciclos (cana planta e soca) provavelmente se deve à liberação de nutrientes do solo durante a reforma do canavial (Cantarella et al., 2007), aliada à produtividade relativamente baixa no ciclo da cana planta devido a limitações climáticas, como mencionado acima, que pode ter ocasionado uma baixa remoção de nutrientes no segundo ano de cultivo.

As folhas amostradas nas duas soqueiras apresentaram concentrações de nutrientes dentro da faixa de teores adequados listados por Raij et al. (1996), exceto para o teor de P na segunda soqueira, o qual ficou abaixo daqueles limites.

No terceiro ano de condução do experimento as remoções de nutrientes pelas duas colheitas anteriores, aliada às reaplicações dos tratamentos com doses bastante distintas de N, provavelmente provocaram um gradiente de disponibilidade de N no solo o qual se refletiu nos teores foliares da segunda soca. No ciclo 2015/16, os teores de N foliar aumentaram de 17,8 g/kg no tratamento testemunha (sem N) para 20,9 g/kg nas parcelas que receberam 180 g/kg/ha de N (Tabela 1).

**Figura 1.** Chuva mensal (mm) durante o período do experimento, ciclo da cana planta 2013/14 e dois ciclos de cana soca, 2014/15 e 2015/16.





**Tabela 1.** Concentração dos macronutrientes na folha +1 de cana-de-açúcar variedade IACSP 95-5094 em função das doses de nitrogênio nos três ciclos de cultivo.

Ciclo	Dose de N	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					
Cana-planta 2013/14	0	12,9	1,3	15,7	4,3	1,4	1,8
	30	13,8	1,3	15,6	4,0	1,4	1,9
	60	13,6	1,4	15,9	3,9	1,2	1,6
	90	14,3	1,3	15,7	4,2	1,5	1,8
	Média	13,7	1,3	15,7	4,1	1,4	1,8
	Pr > F <sup>†</sup>	0,140	0,844	0,988	0,725	0,280	0,325
	CV (%) <sup>‡</sup>	5,8	9,1	7,1	13,5	13,8	12,0
	-- kg ha <sup>-1</sup> --	g kg <sup>-1</sup>					
1ª soqueira 2014/15	0	19,9	2,3	15,0	5,6	2,2	2,1
	60	20,2	2,1	13,3	4,5	2,1	2,0
	120	19,6	2,1	13,5	4,4	2,1	1,8
	180	20,3	2,0	13,0	4,0	1,8	1,8
	Média	20,0	2,1	13,7	4,6	2,0	1,9
	Pr > F <sup>†</sup>	0,429	0,765	0,849	0,195	0,360	0,764
	CV (%) <sup>‡</sup>	3,1	18,2	24,7	21,7	16,4	18,6
	-- kg ha <sup>-1</sup> --	g kg <sup>-1</sup>					
2ª soqueira 2015/16	0	17,8	0,8	17,7	2,8	1,5	1,8
	60	19,3	0,9	19,7	2,9	1,8	2,0
	120	19,2	0,9	20,3	3,5	1,9	2,1
	180	20,9	0,9	19,1	3,4	1,7	2,1
	Média	19,3	0,9	19,2	3,1	1,7	2,0
	Pr > F <sup>†</sup>	0,056	0,080	0,0003	0,084	0,100	0,041
	CV (%) <sup>‡</sup>	6,8	3,3	2,6	12,0	9,5	7,6

(†) Probabilidade de significância para o efeito de doses de N pelo teste F da ANOVA; (‡) Coeficiente de variação.

**Produtividade de Colmos**

A produtividade de colmos (TCH), não variou estatisticamente (p<0,10) em função das doses de N aplicadas nos dois primeiros ciclos (Tabela 2). É provável que o erro experimental incorrido nas medidas feitas por biometria, na qual uma pequena fração da população de plantas é utilizada para estimar a produtividade, tenha contribuído para a falta de significância estatística uma vez que os dados sugerem haver tendência de aumento de produção de colmos tanto na cana planta quanto na primeira soca. Além disso, os rendimentos de colmos da cana planta, com ciclo de 18 meses, foram relativamente baixos para o solo em questão (média de 114 t/ha), provavelmente em razão das limitações climáticas já discutidas para o ano de 2013/14 (Figura 1).

As produtividades de colmo no ciclo da primeira soca em plantas colhidas com 12 meses foram semelhantes às da cana planta (média de 108 t/ha) (Tabela 2). Em 2014/2015, o regime pluvial foi mais abundante do que no ano anterior, especialmente a partir de novembro de 2014, embora ainda com chuvas ligeiramente abaixo da média regional em janeiro e abril (Figura 1), período de intenso crescimento das plantas de cana-de-açúcar.

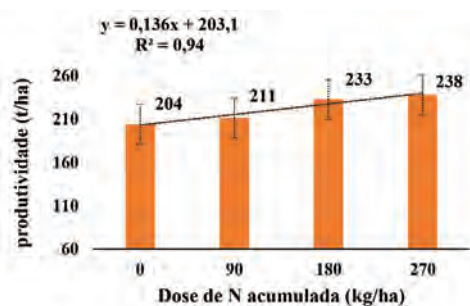
**Tabela 2.** Produtividade de colmos para cada ciclo de cultivo da variedade de cana-de-açúcar IACSP 95-5094 em função das doses de nitrogênio aplicadas.

Dose de N		Produção de colmos	
Cana planta	Cana soca	Cana planta 2013/14	Cana soca 2014/15
kg/ha		t/ha <sup>#</sup>	
0	0	104	102
30	60	108	103
60	120	120	113
90	180	123	115
Média <sup>§</sup>		114	108
Pr > F <sup>†</sup>		0,409	0,444
CV (%) <sup>‡</sup>		17,2	12,0

(#) Médias para cada dose de nitrogênio (n=8); (§) Média das doses de nitrogênio (n=32); (†) Probabilidade de significância para o efeito de doses de N pelo teste F da ANOVA; (‡) Coeficiente de variação.

Quando a somatória das produtividades de colmo dos dois primeiros ciclos foi computada, observou-se resposta linear à adubação nitrogenada (Figura 2). Nesse caso, os erros experimentais ficam diluídos. A parcela testemunha, que não recebeu N fertilizante nos dois primeiros anos (nem nos quatro últimos ciclos do experimento anterior) produziu 204 t/ha de colmos na somatória da cana planta e da cana soca. Em média, houve um aumento de 136 kg de colmos por kg de N aplicado nos dois anos, o que resultou em um acréscimo de 37 t/ha de colmos em dois anos quando 270 kg/ha de N foram aplicados (Figura 2).

Figura 2. Produtividade de colmos em t/ha em função da dose de N acumulada (kg/ha) cana-planta + cana-soca.



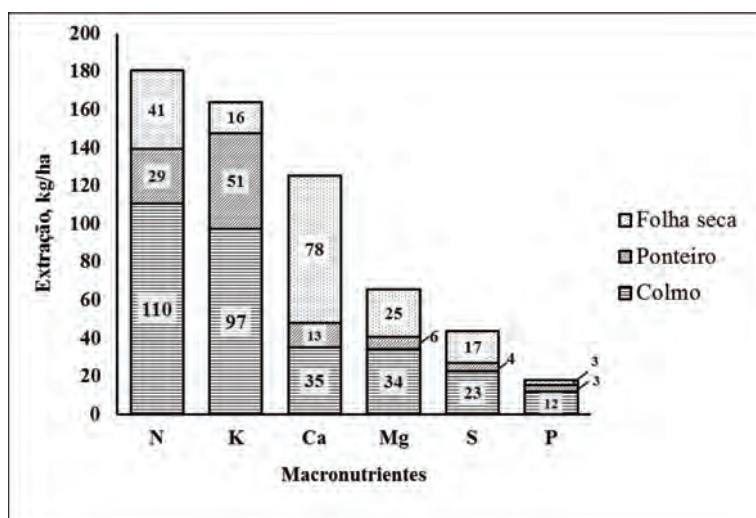
**Extração de macronutrientes pelo colmo, ponteiro e folha seca da cana soca**

As quantidades extraídas dos macronutrientes pelos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar apresentam valores distintos dependendo do nutriente. Os resultados apresentados na Figura 3 são médias das quatro doses de N para o ciclo da primeira soca. As proporções de nutrientes nos colmos, ponteiros e folhas secas foram bastante variáveis (Figura 3). As quantidades extraídas pelos colmos equivalem às exportações dos nutrientes com a colheita, ou seja, saídas de nutrientes do sistema.

As quantidades exportadas pela colheita dos colmos na primeira soqueira foram, em ordem decrescente, N > K > Ca > Mg > S > P. Para a maioria dos macronutrientes, mais de 50% da quantidade extraída é exportada pelos colmos, à exceção do Ca para o qual a maior parte fica retida na palhada (folha seca + ponteiro). As quantidades retidas na palhada de cana-de-açúcar seguiram a seguinte ordem decrescente: Ca > N > K > Mg > S > P.

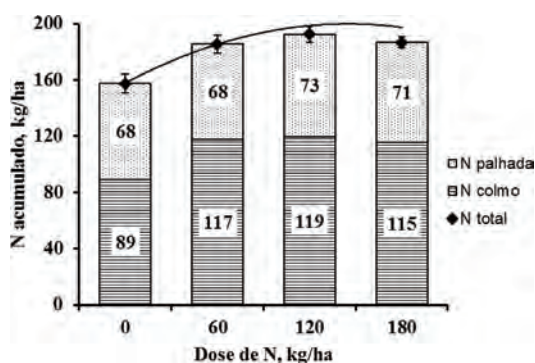
As maiores quantidades de macronutrientes na planta estavam nos colmos e, em seguida, nas folhas secas, devido à maior produção de matéria seca desse compartimento na primeira soqueira no presente estudo. Somente para o K havia maiores quantidades desse nutriente nos ponteiros, depois dos colmos (Figura 3).

Figura 3. Quantidades extraídas de macronutrientes pelos compartimentos da parte aérea da cana-de-açúcar variedade IACSP 95-5094 para o ciclo de 1º soqueira (2014/15); valores em destaque nas barras verticais são as médias (n = 16) de quatro blocos e das seguintes doses dentro de cada bloco: 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicadas no solo sobre a palhada do ciclo anterior na forma de nitrato de amônio.



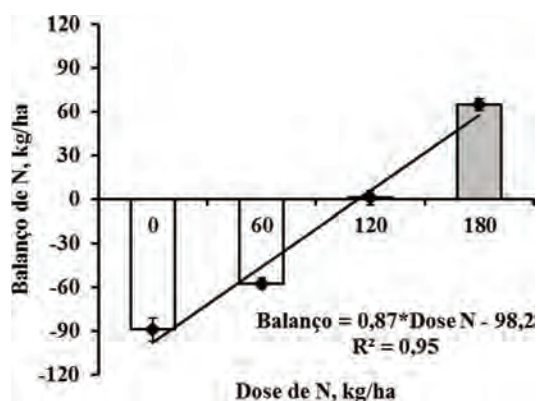
As quantidades de N exportadas ou recicladas por meio da palhada na colheita da primeira soqueira são apresentadas na Figura 4. As quantidades de N acumuladas na parte aérea das plantas de cana-de-açúcar aumentaram com o aumento da dose de N fertilizante e variaram de 158 kg/ha no tratamento testemunha a um máximo de 200 kg/ha com a aplicação de 145 kg/ha de N – dados calculados com base na equação de regressão ajustada aos dados (Figura 4). No entanto, a proporção de N contida nos colmos (exportada com a colheita) variou pouco com o incremento das doses de N: de 57% na parcela sem N fertilizante a 62-63% nas parcelas adubadas com esse nutriente (Figura 4).

Figura 4. Quantidades acumuladas de nitrogênio na palhada (N palhada, folha seca + ponteiro), no colmo (N colmo) e no total da parte aérea (N total) da cana-de-açúcar variedade IACSP 95-5094 para o ciclo de 1º soqueira (2014/15) em função das doses de N aplicadas no solo como nitrato de amônio; aos valores de N total em função das doses foi ajustado o modelo quadrático  $Y = -0,002 * X^2 + 0,58 * X + 157,8$  ( $R^2 = 0,65$ ), significativo a 10% de probabilidade; as barras verticais correspondem ao desvio padrão da média.



Apesar da baixa resposta a N na primeira soqueira, o balanço de N, ou seja, a relação entre as quantidades de N aplicadas como fertilizante subtraídas das quantidades de N exportadas na colheita, indica valores negativos para os tratamentos testemunha e 60 kg/ha de N. Nesses casos, houve uma remoção líquida de 98 e 46 kg/ha de N do sistema, respectivamente. A dose de N fertilizante de equilíbrio, ou seja, aquela que repõe o N exportado, foi de 113 kg/ha; para a parcela que recebeu 180 kg/ha de N, houve uma sobra de 58 kg/ha de N (dados calculados pela equação de regressão apresentada na Figura 5).

**Figura 5.** Balanço entre a dose de N aplicada no solo e a quantidade do nutriente exportada pelo colmo na colheita da 1ª soqueira (2014/15) de cana-de-açúcar da variedade IACSP 95-5094; o ajuste dos valores de balanço ao modelo linear em função das doses descrito no gráfico foi significativo a 10% de probabilidade; as barras verticais correspondem ao desvio padrão da média.



### Discussão

Trabalhos recentes conduzidos no Brasil após a mudança de manejo da cana-de-açúcar de colheita com queima para colheita de cana crua indicam que as respostas à adubação nitrogenada tendem a ser maiores quando a palha é preservada. Por exemplo ROSSETTO *et al.* (2010), com base em uma rede de ensaios de adubação em cana crua no estado de São Paulo observaram respostas à adubação nitrogenada em 14 dos 15 locais estudados; em média, a dose que promoveu os maiores rendimentos de colmo foi 148 kg/ha de N, mas, a dose mais econômica foi 120 kg/ha N para produtividades médias que variaram de 81 t/ha de colmos (sem N) até 91 t/ha nas parcelas adubadas. No presente estudo, com produtividade média de 111 t/ha (planta e primeira soca), a resposta a N foi linear, considerando a somatória das duas safras. FORTES *et al.* (2013a) também observaram respostas lineares à adubação nitrogenada em cana planta e cana soca, embora em muitos trabalhos as respostas não sejam muito consistentes, dependendo das condições locais (FRANCO *et al.*, 2011; FRANCO *et al.*, 2010; MEGDA *et al.*, 2012; VIEIRA *et al.*, 2010). As respostas a N em cana planta são menos frequentes do em soqueira (CANTARELLA *et al.*, 2007; FRANCO *et al.*, 2011; PRADO AND PANCELLI, 2008). FRANCO *et al.* (2011) sugerem que a maior eficiência de uso do N fertilizante em soqueiras, medida pela maior proporção do N aplicado presente na planta no final do ciclo (época da colheita) em relação à cana planta seja uma das explicações para isso.

No presente experimento, aplicações sucessivas de N vêm sendo feitas em doses diferentes há seis ciclos de cultivo, embora a área tenha sido reformada após a quarta soqueira que antecedeu esse estudo. É possível que parte do N acumulado na palha, resíduo de soqueira e solo nos anos anteriores, tenha sido mineralizado após a reforma do canavial, o que explica a ausência de resposta significativa à adubação nitrogenada no ciclo da cana planta (Tabela 2). De qualquer maneira, a liberação do N contido na palha que permanece sobre o solo é lenta e oferece pouca contribuição para a nutrição da soqueira seguinte (FERREIRA *et al.*, 2015; FORTES *et al.*, 2013b), embora, em médio a longo prazo, esse estoque de N orgânico acumulado na palha e no solo possa permitir a redução das doses de N recomendadas para a cana-de-açúcar em sistemas com preservação da palha (TRIVELIN *et al.*, 2013).

As produtividades relativamente altas (204 t/ha na somatória de duas colheitas) como as observadas nas parcelas que não vêm recebendo N por longo período (Figura 2), nas quais o balanço de entradas e saídas é bastante negativo (Figura 5) têm sido atribuídas em parte à contribuição da fixação biológica de N (FBN) em cana (BODDEY *et al.*, 2003; URQUIAGA *et al.*, 1992). Com base em avaliações por meio da técnica de abundância natural de <sup>15</sup>N (URQUIAGA *et al.*, 2012) estimam que a FBN contribua com pelo menos 40 kg/ha de N por ano

para a nutrição de cana-de-açúcar no Brasil embora variações grandes possam ser esperadas dependendo do tipo de solo, disponibilidade de água e variedade. De qualquer modo, a adubação nitrogenada não pode ser suprimida na cultura da cana-de-açúcar no Brasil. No presente estudo, 113 kg/ha de N seriam necessários para repor o N exportado, sem levar em conta possíveis perdas do nutriente por lixiviação ou por vias gasosas. Esse valor é bastante próximo da dose de N mais econômica – 120 kg/ha de N - obtida por ROSSETTO *et al.* (2010) em rede de ensaio com adubação de cana-de-açúcar no Estado de Paulo

#### Referências Bibliográficas:

- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Methods of plant chemical analysis**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. p. 48.
- BODDEY, R.M., URQUIAGA, S., ALVES, B.J.R., REIS, V.M., 2003. Endophytic Nitrogen Fixation in Sugarcane: Present Knowledge and Future Applications. **Plant and Soil** **252**, 139-149.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. e; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p.355-412
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Monitoramento da Produção Brasileira de Cana-de-açúcar. **Relatório técnico**. Safra 2015-2016 – v. 1 – Brasília: Conab, 2013, disponível em: <http://www.conab.gov.br> Quadrimestral Recebeu numeração a partir de abr./2014. Acesso em 21/03/2016.
- DOURADO NETO, D., POWLSON, D.S., BAKAR, R.A., BACCHI, O.O.S., BASANTA, M.V., CONG, P.T., KEERTHISINGHE, G., IS-MAIL, M., RAHMAN, S.M., REICHARDT, K., SAFWAT, M.S.A., SANGAKKARA, R., TIMM, L.C., WANG, J.Y., 2010. **Multiseadon recoveries or organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems**. **Soil Science Society of America Journal** **74**, 139-152.
- FERREIRA, D.A., FRANCO, H.C.J., OTTO, R., VITTI, A.C., FORTES, C., FARONI, C.E., GARSIDE, A.L., TRIVELIN, P.C.O., 2015. **Contribution of N from green harvest residues for sugarcane nutrition in Brazil**. **GCB Bioenergy** **10.1111/gcbb.12292**, n/a-n/a.
- FORTES, C., TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C., OTTO, R., FRANCO, H.C.J., FARONI, C.E., 2013a. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **48**, 88-96.
- FORTES, C., VITTI, A.C., OTTO, R., FERREIRA, D.A., FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O., 2013b. Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. **Scientia Agricola** **70**, 313-320.
- FRANCO, A.A., OTTO, R., FARONI, C.E., VITTI, A.C., OLIVEIRA, E.C.A., TRIVELIN, P.C.O., 2011. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crop. Res.** **121**, 29-41.
- FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O., FARONI, C.E., VITTI, A.C., OTTO, R., 2010. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola** **67**, 579-590.
- FRANCO, H.C.J.; OTTO, TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, V 67, n.5, p. 579-590,2010.
- JORIS, H.A.W. **Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agrônomicos e ambientais**.2015. 135p. Dissertação (Doutorado Agricultura Tropical e Subtropical de Gestão de Recursos Agroambientais) Instituto Agronômico. Campinas, 2014.
- LANDELL, M. G. A.; PINTO, L. R.; CRESTE, S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; SILVA, M. A. Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção. **Encarte do Informações Agrônomicas**, v. 110, p. 18–24, 2005.
- MEGDA, M.X.V., TRIVELIN, P.C.O., FRANCO, H.C.J., OTTO, R., VITTI, A.C., 2012. Eficiência agrônômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **47**, 1681-1690.
- OTTO, R.; MULVANEY, R.L.; KHANS, S.A.; TRIVELIN, P.C.O. Quantifying soil nitrogen mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane. **Biology and Fertility of Soils**, v 49, n. 7, p 893-904.
- PRADO, R.D.M., PANCELLI, M.A., 2008. **Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima**. *Bragantia* **67**, 951-959.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285p.
- ROSSETTO, R., DIAS, F.L.F., LANDELL, M.G.A., CANTARELLA, H., TAVARES, S., VITTI, A.C., PERECIN, D., 2010. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists** **27**, 1-8.
- SIBCS - Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA. **Centro nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro, RJ)**. 2.ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 306 p. 2006.
- TRIVELIN, P.C.O., FRANCO, H.C.J., OTTO, R., FERREIRA, D.A., VITTI, A.C., FORTES, C., FARONI, C.E., OLIVEIRA, E.C.A., CANTARELLA, H., 2013. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola** **70**, 345-352.
- TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C., OLIVEIRA, M.W., GAVA, G.J.C., SARRIÉS, G.A., 2002. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo** **26**, 637-646.
- URQUIAGA, S., CRUZ, K.H.S., BODDEY, R.M., 1992. Contribution of Nitrogen Fixation to Sugar Cane: Nitrogen-15 and Nitrogen-Balance Estimates. **Soil Sci. Soc. Am. J.** **56**, 105-114.
- URQUIAGA, S., XAVIER, R.P., MORAIS, R.F., BATISTA, R.B., SCHULTZ, N., LEITE, J.M., SA, J.M., BARBOSA, K.P., RESENDE, A.S., ALVES, B.J.R., BODDEY, R.M., 2012. Evidence from field nitrogen balance and 15N natural abundance data for the contribution of biological N<sup>2</sup> fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil** **356**, 5-21.
- VIEIRA, M.X., TRIVELIN, P.C.O., FRANCO, H.C.J., OTTO, R., FARONI, C.E., 2010. Ammonium chloride as nitrogen source in sugarcane harvested without burning. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo** **34**, 1165-1174.
- VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Balanço de massa e de nutrientes da palhada e da rebrota de cana-de-açúcar dessecada com glifosato. **STAB-Açúcar, Álcool e subprodutos**, v. 25, n 3, p. 30-33, 2007.

# AGRICULTURA DE PRECISÃO

## DETERMINAÇÃO DE GRADE DE SOLO POR MEIO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO BASEADA NA VARIEDADE ESPACIAL DA ARGILA

Sanches, G. M.; Magalhães, P. S. G., Kölln, O. T.; Castro, S. G. Q.; Franco, H. C. J.

Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE – CNPEM) – Campinas - SP

*guilherme.sanches@bioetanol.org.br*

### Resumo

Um dos fatores limitantes para se fazer uma adequada caracterização da variabilidade espacial do solo é a necessidade de uma amostragem densa da área, o que inviabiliza o mapeamento devido à grande demanda de tempo e custos. Este estudo teve como objetivo principal avaliar a variabilidade espacial do solo por meio do conteúdo de argila, testando diferentes densidades amostrais e interpoladores geoestatísticos. Utilizou-se duas metodologias de amostragem do solo, sendo uma em grade regular (método padrão) e outra orientada pela informação da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo (método otimizado). O estudo foi realizado em área de 100 ha localizada em Nova Europa-SP. Os resultados mostraram que o melhor caminho para mapear o conteúdo de argila do solo é por meio de uma amostragem de solo orientada e “economicamente praticável” (1 amostra a cada 3 ha), em que a variabilidade espacial foi mapeada com adequada precisão ( $R^2 = 0,83$ ) por meio de uma krigagem com deriva externa. Em todas as densidades amostrais avaliadas a metodologia de orientação amostral apresentou os melhores resultados de validação. Com esta abordagem é possível criar grades amostrais orientadas de alta precisão para o manejo localizado de nutrientes e corretivos, reduzindo custos e aumentando a sustentabilidade da produção de biomassa.

**Palavras-chave:** sensoriamento proximal de solo; condutividade elétrica aparente; amostragem de solo; krigagem com deriva externa.

### Summary

One of the limiting factors to characterize the soil spatial variability is the need for a dense sampling, which prevents the mapping due to the high demand of time and costs. This study aimed to evaluate the soil spatial variability through the clay content, testing different sample densities and geostatistical methods. We used two soil sampling methodologies, one in regular grid (standard method) and other driven by the apparent electrical conductivity information (ECA) (optimized method). The results showed that the best way to map the clay content is through a targeted and “economically feasible” soil sampling with 1 sample every 3 ha, wherein the spatial variability was mapped with adequate precision ( $R^2 = 0.83$ ) by kriging with external drift. In all sample densities evaluated, the sample orientation methodology showed the best validation results. With this approach, it is possible create targeted sampling grids with high precision for specific nutrients management, reducing costs and increasing the sustainability of biomass production.

**Keywords:** proximal soil sensing; electrical conductivity apparent; soil sampling; kriging with external drift.

### Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com uma área cultivada de aproximadamente 9 milhões de hectares e 658,7 milhões de toneladas de cana colhida, no entanto as produtividades das áreas canavieiras do Brasil ainda são muito baixas, com uma média de 73 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB 2015), sendo necessário melhorar o manejo da cultura para atingir as médias obtidas nas melhores unidades produtivas ( $\approx 107$  Mg ha<sup>-1</sup> sem irrigação). Um assunto que poderá auxiliar o país na retomada de sua produtividade e garantir maior sustentabilidade do processo é o pacote tecnológico da Agricultura de Precisão (AP). Entre os diversos desafios das técnicas de AP para uma produção sustentável, a amostragem de solo continua a ser um dos fatores limitantes para um mapeamento adequado e preciso das características dos solos e do estado nutricional das culturas (PEETS *et al.*, 2012). Esta amostragem deve ser realizada de maneira eficiente (econômica e fisicamente viável) para caracterização precisa da variabilidade espacial do solo. Isso se faz necessário para o uso correto e adequado de fertilizantes (aplicação à taxa variada), garantindo rendimentos mais elevados e, conseqüentemente, uma produção mais rentável e ambientalmente sustentável.

Para superar este desafio, diversas pesquisas para o aprimoramento da amostragem do solo vêm sendo realizadas (COELHO *et al.*, 2007; RESENDE *et al.*, 2006; MACHADO *et al.*, 2004), sobretudo devido ao questionamento de qual é a grade de amostragem mais apropriada para quantificar a variabilidade dos atributos deste. Embora vários métodos tenham sido recomendados, o procedimento mais utilizado atualmente para a amostragem sistematizada do solo continua sendo o estabelecimento de grades espaçadas regularmente no campo. Embora apresente benefícios, o alto custo, o baixo rendimento e o tempo despendido na geração dos dados de amostragens em grades regulares densas são questões que ainda precisam ser superadas neste processo, evidenciando a necessidade de desenvolvimento de novas metodologias de amostragem que sejam mais eficientes. Para isso, o uso de informações prévias da variabilidade espacial do solo, para uma orientação amostral, representa uma solução inteligente para superar este gargalo tecnológico.

Dentro do contexto da necessidade de tecnologias acessíveis para aquisição de informações de qualidade, visando o adequado manejo da variabilidade espacial das lavouras, a condutividade elétrica aparente (CEA) do solo tem-se destacado como um método eficaz de avaliar com rapidez, alta resolução e baixo custo, a condição geral da fertilidade dos solos (SUDDUTH *et al.*, 2005). Este estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial do solo por meio do conteúdo de argila em diferentes densidades amostrais e interpoladores geoestatísticos, visando propor uma metodologia de amostragem para caracterização da variabilidade espacial dos solos. Foram utilizadas duas metodologias de amostragem, sendo uma em grade regular (método padrão) e outra orientada pela informação da condutividade elétrica aparente (CEA) do solo (método otimizado).

### Material e Métodos

O estudo foi realizado em lavoura comercial de cana-de-açúcar (100 hectares – Figura 1) localizada na Usina Santa Fé (Nova Europa, São Paulo, Brasil - 21°49'12,33"S e 48°35'43,89"W). O clima da região é caracterizado como tropical com estação seca e as médias anuais de pluviosidade e temperatura são 1.314 mm e 21,7 °C respectivamente. A área foi dividida inicialmente em uma grade regular de 50 m (303 pontos – Figura 1 à esquerda) e os pontos foram localizados no campo utilizando um sistema de posicionamento global diferencial

(DGPS) (AG114™, Trimble, Navigation Ltd, Sunnyvale, CA, EUA). A altitude dos pontos amostrais foi determinada para caracterização da elevação do local (Figura 1 à direita). A condutividade elétrica aparente do solo foi mensurada na camada de 0,00 a 0,38 m por meio do sensor de Indução Eletromagnética EM38-MK2® (Geonics, Mississauga, Ontário, Canada) em julho de 2014. As amostras foram retiradas nas profundidades de 0,00 a 0,25 m, sendo que cada ponto amostral foi composto de 3 (três) subamostras. Todos os dados foram analisados com medidas de tendência central e dispersão, e box-plot construídos para a identificação de valores discrepantes (outliers). Os mapas da variabilidade espacial do conteúdo de argila na grade original (Figura 2 à esquerda) e da CEa (Figura 2 à direita) foram interpolados por meio de Krigagem Ordinária utilizando-se o software ArcGIS® (ESRI, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA). Foram selecionadas 5 densidades amostrais diferentes para avaliação, sendo 1 (uma) amostra a cada 2 (50 pontos), 2,5 (40 pontos), 3 (34 pontos), 4 (25 pontos) e 5 (20 pontos) hectares. As densidades foram construídas a partir dos pontos da grade amostral original, retirando-se pontos amostrais para composição das grades com menor densidade. Para cada densidade amostral foram definidos dois métodos de amostragem, sendo um baseado em grade com amostras espaçadas regularmente (Figura 3 à esquerda) e outro com amostras orientadas pela informação da CEa (Figura 3 à direita). Os pontos amostrais da grade orientada foram selecionados com base na distribuição espacial CEa e por meio do conhecimento do analista de solos.

Para interpolação dos dados nas diferentes densidades avaliadas utilizou-se três modelos geoestatísticos, sendo, do mais simples ao mais complexo, o Inverso da Distância ao Quadrado (IDQ), a Krigagem Ordinária (KO) e a Krigagem com Deriva Externa (KDE). Os modelos IDQ e KO são interpoladores univariados, enquanto a KDE já são modelos multivariados. A krigagem com deriva externa procura fazer a estimativa de uma variável primária  $Z(x)$  com base em uma variável secundária  $Y(x)$  correlacionada, sendo a variável primária insuficientemente amostrada enquanto que a variável secundária, que irá auxiliar na estimativa da primeira, é mais densamente amostrada. Para a realização das interpolações ajustou-se os semivariogramas experimentais e teóricos para a KO e KDE, sendo que na KDE utilizou-se a CEa como informação secundária na interpolação. A KDE foi realizada por meio do software GeoMS (Cerena, Lisboa, Portugal) e seguindo a metodologia descrita em Wackernagel (1995). IDQ e KO foram realizadas por meio do software ArcGIS 10.2®. Ao final fez-se a validação dos resultados, comparando os valores originais com os estimados por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Para isto selecionou-se 150 pontos aleatórios da grade amostral original, excluindo-se os pontos utilizados nas interpolações.

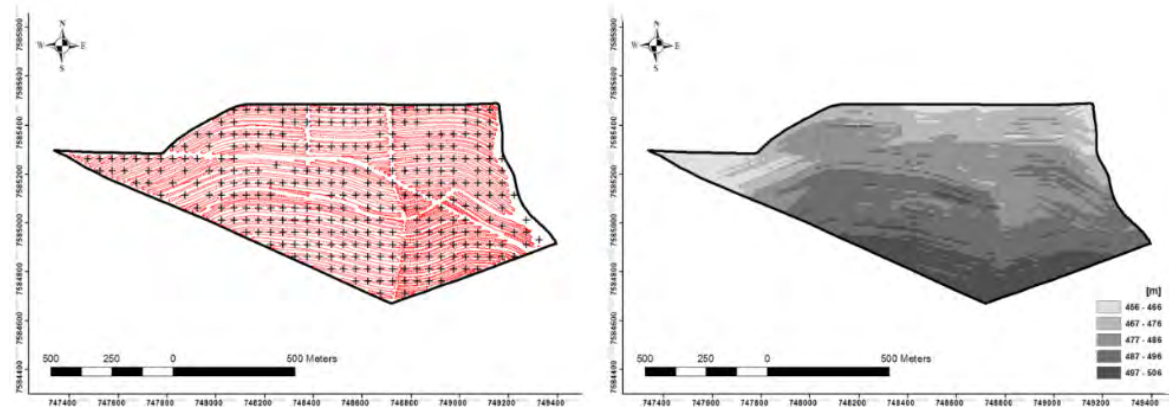


Figura 1. Lavoura comercial de cana-de-açúcar localizada na Usina Santa Fé. Localização dos pontos amostrais (303 pontos) com o caminho do sensor de CEa EM38-MK2® (à esquerda) e caracterização da elevação do terreno (à direita).

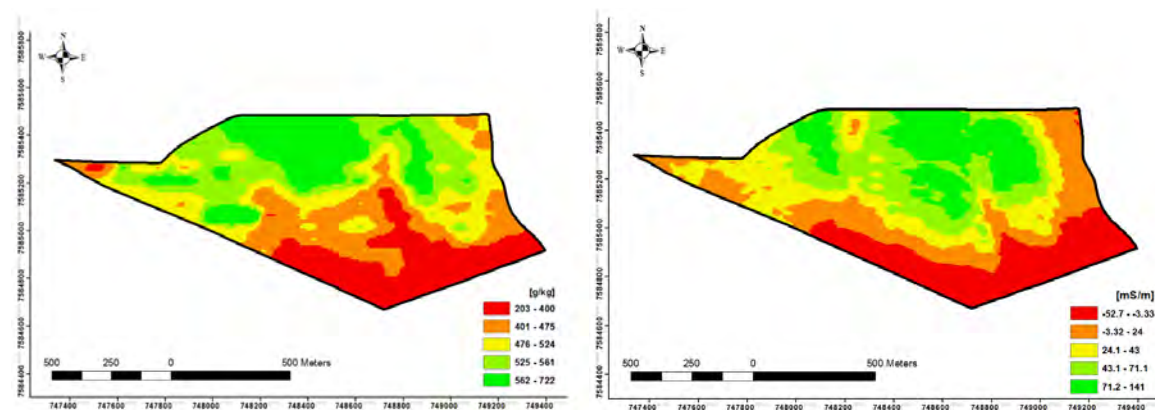


Figura 2. Mapa da variabilidade espacial do conteúdo de argila do solo na camada de 0,00 a 0,25m (à esquerda) e condutividade elétrica aparente do solo na camada de 0,00 a 0,38m (à direita) interpolados por meio de Krigagem Ordinária (KO).

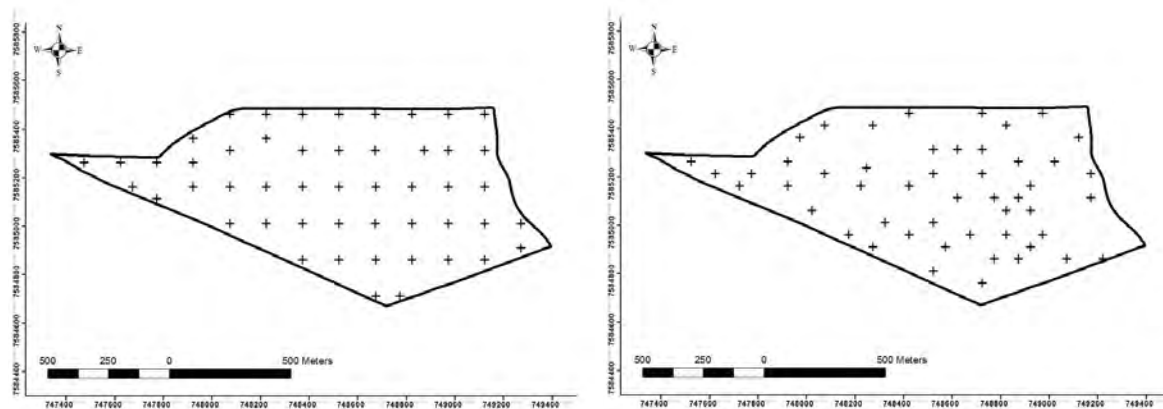


Figura 3. Exemplo de alocação dos pontos amostrais para a densidade de 1 amostra a cada 2 hectares com grade espaçada regularmente (à esquerda) e grade orientada pela CEa (à direita).

**Resultados**

Do total de pontos amostrados na grade amostral original eliminou-se 15 pontos (≈ 5% do total) do conteúdo de argila, que foram identificados como discrepantes (outliers) por meio da análise estatística. Para a CEa eliminou-se um total de 130 leituras (< 1% do total) e o atributo ficou com uma densidade média de 255 leituras por ha (Tabela 1). A CEa apresentou forte correlação positiva com a argila (r = 0,71) e negativa com a altitude (r = -0,52). Para a interpolação dos dados na grade amostral original fez-se o ajuste dos modelos teóricos aos variogramas experimentais, sendo que a argila ajustou-se ao modelo exponencial e a CEa ao modelo gaussiano, com alcances de 300 e 220 m respectivamente. O conteúdo de argila apresentou alta variabilidade espacial, com amplitude de 197 para 733 g kg<sup>-1</sup> de argila. Com coeficiente de variação de 22%, a argila apresentou um desvio padrão em torno da média de 105 g kg<sup>-1</sup>. Em geral, a área pode ser classificada como de textura argilosa (≈ 479 g kg<sup>-1</sup>). O conteúdo de argila acompanhou inversamente a elevação do terreno, apresentando valores mais altos nas regiões menos elevadas do terreno (Figura 2 - à esquerda). O sensor de indução eletromagnética apresentou valores de CEa com um elevado coeficiente de variação (CV = 141%), variando de -54,57 até 146,56 mS m<sup>-1</sup>.

Tabela 1. Estatística descritiva para os atributos Argila (g kg<sup>-1</sup>), Altitude do Terreno (m) e Condutividade Elétrica Aparente do solo (mS m<sup>-1</sup>).

	N Válido	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	D.P.	C.V.(%)	r*
Argila	288	479,056	493,500	197,000	733,000	11118,920	105,446	22,011	0,71
Altitude	303	484,184	486,282	456,848	504,751	132,993	11,5323	2,382	-0,52
CEa	25527	30,237	29,609	-54,570	146,563	1826,728	42,74	141,353	-

\* Correlação de Pearson com a CEa à 5% de Probabilidade.

A densidade de 1 amostra a cada 2 hectares foi a que apresentou os melhores resultados na KDE, sendo a amostragem direcionada (R2 = 0,85) superior à amostragem regular (R2 = 0,81), porém com resultados próximos (Figuras 4 e 5). A interpolação pelo IDQ apresentou decréscimo na precisão dos resultados da densidade maior para a menor, sendo os resultados na grade orientada superiores à grade com espaçamento regular (R2 = 0,41 para 0,16 na grade regular e R2 = 0,79 para 0,58 na grade orientada, de 1 amostra a cada 2 até 5 hectares respectivamente). Na grade regular a KO apresentou resultados semelhantes à KDE para as densidades de 1 amostra por 4 ha (R2 = 0,67 e 0,75 para KO e KDE, respectivamente) e 1 amostra a cada 5 ha (R2 = 0,64 e 0,72 para KO e KDE, respectivamente). Os maiores ganhos percentuais da grade orientada em comparação com a grade regular (Tabela 2) foram encontrados para o método de IDQ nas densidades de 1 amostra a cada 4 ha (64,3%) e 5 ha (72,4%). Na krigagem com deriva externa a melhora dos resultados sempre foi inferior à 10%, sendo que a densidade de 1 amostra a cada 3 ha na malha amostral orientada apresentou o melhor resultado (7,2% superior a grade regular) em comparação as outras densidades. A krigagem ordinária apresentou melhores resultados na densidade de 1 amostra a cada 2,5 ha (ganho de 44,4%), sendo superior ao IDQ e KDE nesta densidade amostral. A interpolação do conteúdo de argila na densidade de 1 amostra 3 ha<sup>-1</sup> evidencia que a aplicação de KDE acompanha melhor as tendências de variabilidade desta propriedade na grade amostral orientada, sendo superior aos modelos de IDQ e KO (Figura 6).

Tabela 2. Ganhos percentuais\* no coeficiente de determinação (R2) da malha amostral orientada em relação a grade regular entre os métodos de interpolação utilizados para as diferentes densidades amostrais avaliadas.

Dens.	IDQ	KO	KDE
2,0	48,1%	43,8%	4,7%
2,5	52,8%	55,4%	6,1%
3,0	50,8%	47,8%	7,2%
4,0	64,3%	0,0%	3,8%
5,0	72,4%	4,5%	5,3%

$$* \text{Ganho (\%)} = \left(1 - \frac{R^2_{\text{Grade Regular}}}{R^2_{\text{Grade Orientada}}}\right) * 100$$

**Discussão**

A CEa apresentou forte correlação positiva com a argila (r = 0,71), corroborando com o trabalho de Molin e Castro (2008), em que comprovaram que a CEa reflete a textura do solo e apresenta valores mais altos onde ocorre maior presença de argila. Tal fato evidencia que



a seleção de zonas homogêneas no campo pela CEA é uma ferramenta útil para auxiliar o produtor no manejo da lavoura. No entanto, apesar de refletir a variabilidade espacial do solo, a CEA não pode fornecer diretamente o conteúdo de argila, sendo necessário a realização de uma amostragem para o conhecimento desta. Esta amostragem sendo realizada de forma orientada, por alguma informação prévia da variabilidade espacial do solo, sempre produzirá resultados superiores em comparação à metodologia de amostragem em grade regular, independentemente do modelo geoestatístico utilizado.

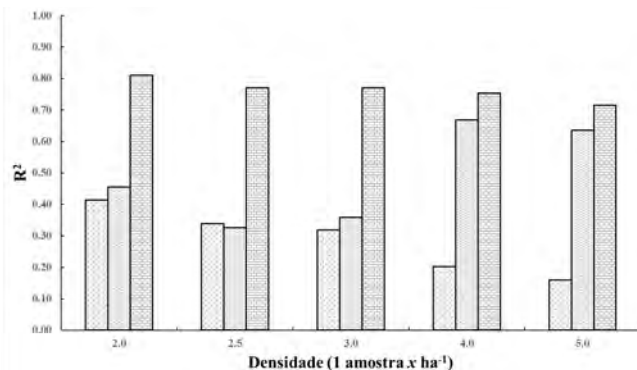


Figura 4. Validação dos resultados para os interpoladores IDQ (coluna à esquerda), KO (coluna ao meio) e KDE (coluna à direita) para as diferentes densidades amostrais na grade amostral espaçada regularmente.

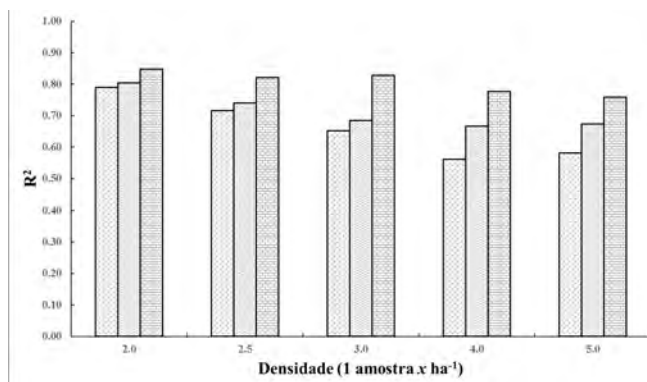


Figura 5. Validação dos resultados para os interpoladores IDQ (coluna à esquerda), KO (coluna ao meio) e KDE (coluna à direita) para as diferentes densidades amostrais na grade amostral orientada pela informação da CEA.

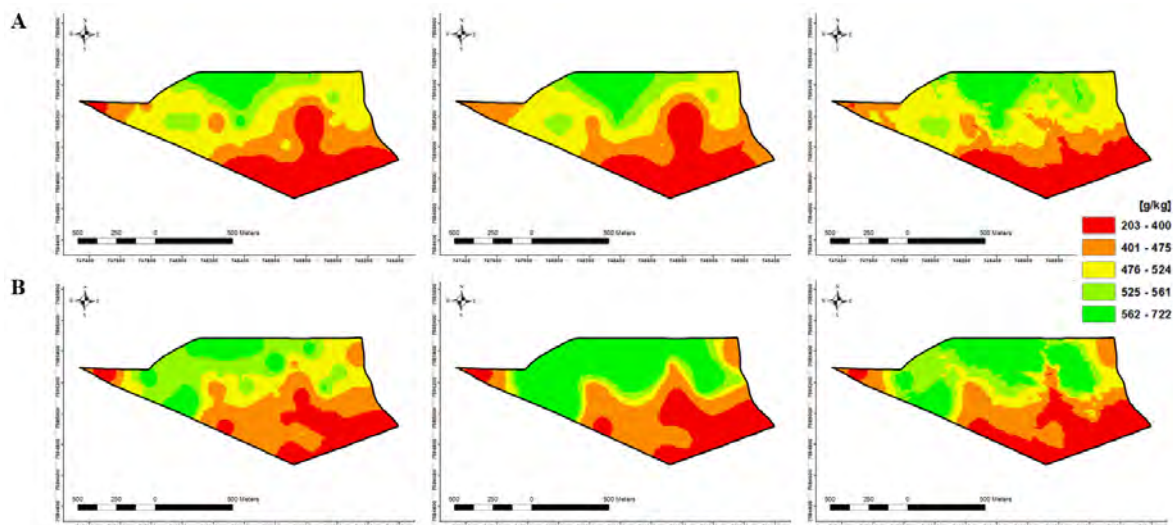


Figura 6. Variabilidade espacial do conteúdo de argila na camada de 0,00 a 0,25 m interpolada por meio do Inverso da Distância ao Quadrado (à esquerda), Krigagem Ordinária (ao meio) e Krigagem com Deriva Externa (à direita) para a grade amostral com espaçamento regular (A) e orientada pela condutividade elétrica aparente (B) para a densidade de 1 amostra a cada 3 hectares.

Sendo o modelo geoestatístico que apresentou os melhores resultados, a KDE na densidade de 1 amostra a cada 3 hectares pode ser adotada pelos produtores para caracterização da variabilidade espacial do solo, determinando o conteúdo de argila com precisão em grades amostrais orientadas ( $R^2 = 0,83$ ). Nesta mesma densidade, os modelos da KO e IDQ, que são computacionalmente e matematicamente

mais simples (ISSAKS E SRIVASTAVA, 1989) também apresentaram resultados satisfatórios para a grade orientada ( $R^2 = 0,69$  e  $0,65$ , respectivamente). Apesar de apresentar os maiores ganhos percentuais e ser computacionalmente mais simples, o método do IDQ apresentou resultados satisfatórios somente na grade orientada para as densidades de 1 amostra a cada 2,0; 2,5 e 3,0 hectares ( $R^2 = 0,79$ ,  $0,72$  e  $0,65$ , respectivamente), sendo que nas densidades menores o coeficiente de determinação foi inferior a  $0,60$ . Intrinsecamente relacionada à origem do solo, o conteúdo de argila é uma informação com grande influência sobre a composição química inicial deste (RAIJ, 2011), onde o conhecimento de sua variabilidade espacial na lavoura com precisão pode auxiliar o produtor no manejo eficiente na aplicação de fertilizantes e corretivos à taxa variada. Nas lavouras de cana-de-açúcar o conteúdo de argila entra diretamente nos cálculos para aplicação de gesso nos solos que necessitam de correção nutricional (RAIJ *et al.*, 1997), sendo que o conhecimento preciso da variabilidade deste atributo permitirá aplicar os insumos nos locais corretos e nas quantidades necessárias, garantindo maior sustentabilidade e retorno econômico da produção de biomassa.

### Conclusão

Utilizando uma amostragem orientada pela informação da condutividade elétrica aparente é possível ter conhecimento, com precisão, da variabilidade espacial do solo por meio do conteúdo de argila utilizando-se de uma densidade amostral econômica e fisicamente praticável pela indústria. A malha amostral orientada representa uma alternativa viável com resultados superiores a grade amostral regular, atualmente praticada pela maioria dos produtores. A interpolação pela krigagem com deriva externa apresentou, tanto na grade com espaçamento regular quanto na direcionada, resultados superiores às interpolações pelo IDQ e KO. O conhecimento adequado da distribuição espacial desta propriedade pode auxiliar os produtores de cana-de-açúcar a manejarem suas lavouras de forma diferenciada na aplicação de corretivos e fertilizantes, sendo uma ferramenta extremamente importante no auxílio à tomada de decisão nos campos de cultivo e definição das zonas de manejo.

### Agradecimentos

À Usina Santa Fé pelo apoio durante à pesquisa e pela área experimental cedida e à FAPESP (FAPESP 2013/50942-2) pelo apoio financeiro e à pesquisa.

### Referências Bibliográficas

COELHO, A.M.; INAMASSU, R.Y.; VIANNA, P.A.; MATOSO, M.J.; CECCON, G. Rede de conhecimento em agricultura de precisão para condições de Cerrado e Campos Gerais. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas. 166p. 2007

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. Cana-de-açúcar. Primeiro Levantamento. V. 3 Safra 2016/2017, Abr. 2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_04\\_18\\_14\\_27\\_15\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_16.pdf)> Acesso em: 01 maio 2016.

ISAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press. 561 p. 1989.

MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. et al. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja. In: MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. (Eds.) Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p.115-129. 2004.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. D. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Sci. Agric.*, v. 65(6). p. 567-573. 2008.

PEETS, S.; MOUAZEN, A.M.; BLACKBURN, K.; BOYAN, K.; WIEBENSOHN, J. Methods and procedures for automatic collection and management of data acquired from on-the-go sensors with application to on-the-go soil sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 81, p. 104 – 112. 2012.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 420 p. 2011.

RAIJ, B. V. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas; Fundação IAC. 285 p. 1997.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S. ; SENA, M. C. ; KRAHL, L. L. ; OLIVEIRA, J. V. F. ; CORRÊA, R. F ; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área do cerrado. In : Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2, São Pedro-Piracicaba. Anais. USP-ESALQ. 2006.

SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., WIEBOLD, W.J., BATCHELOR, W.D., BOLLERO, G.A., BULLOCK, D.G., CLAY, D.E., PALM, H.L., PIERCE, F.J., SCHULER, R.T., THELEN, K.D.. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 46 (1-3), p. 263-283, 2005.

WACKERNAGEL, H. Multivariate geostatistics. Springer-Verlag, 1995.

## PRODUÇÃO DE COLMOS E BIOMASSA RADICULAR EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO NA CANA-DE-AÇÚCAR

João Rossi Neto<sup>1</sup>; Zígomar Menezes de Souza<sup>2</sup>; Oriel Tiago Kölln<sup>3</sup>; Guilherme Adalberto Ferreira Castioni<sup>1</sup>; Leandro Carneiro Barbosa<sup>1</sup>; Sérgio Gustavo de Quassi Castro<sup>3</sup>; João Luís Nunes Carvalho<sup>3</sup>; Henrique Coutinho Junqueira Franco<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Departamento de Água e solo, Feagri/Unicamp, Campinas, SP

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Professor Associado, UNICAMP/FEAGRI, Campinas, SP

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Pesquisador – Programa de produção de biomassa, Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Campinas, SP

*jrossineto@gmail.com*

### Resumo

O sistema radicular das plantas desenvolve-se conforme o ambiente em que se encontra. Em razão disso, a alteração na configuração de plantio pode proporcionar às raízes melhor aproveitamento dos recursos do solo, impactando diretamente na produtividade da cultura. Assim, o objetivo dessa pesquisa é avaliar a produção de colmos e a biomassa do sistema radicular da cana-de-açúcar em diferentes espaçamentos de plantio. O experimento foi instalado em outubro de 2012, com a cultura em condições de campo, localizado na Usina Guaíra, Município de Guaíra-SP. O experimento apresenta delineamento experimental em blocos e os tratamentos foram quatro espaçamentos, sendo: 1) EC - espaçamento convencional, espaçamento de 1,50 m entrelinhas; 2) EA - espaçamento alternado duplo – espaçamento de 0,90 x 1,50 m entre linhas duplas; 3) PP 1,0 m - plantio de precisão com espaçamento de 1,00 x 1,00 m entre plantas e entrelinhas; 4) PP 0,75 m - plantio de precisão com espaçamento de 0,75 x 0,75 m entre plantas e entrelinhas. O espaçamento PP 0,75 m apresentou maior produção de colmos por hectare, sendo semelhante aos demais, no terceiro corte. A produção de biomassa radicular foi completamente distinta entre os tratamentos e entre os cortes avaliados.

**Palavra-chave:** Produtividade, Espaçamento, *Saccharum spp.*, Raiz.

### Summary

The plant root system develops as the environment in which it is. As a result, the planting configuration change can provide the roots better use of soil resources, directly impacting on crop productivity. Thus, the objective of this research is to evaluate the sugarcane stalks and biomass of root system production in different spacing of planting. The experiment was installed in October of 2012, with the culture under field conditions, located at Guaíra, municipality of Guaira-SP. The experiment presents experimental design in blocks and the treatments were four planting spacing: 1) EC-conventional spacing, 1.50 m row spacing; 2) EA-spacing alternated double - 0.90 x 1.50 m spacing between double lines; 3) PP 1.0 m - precision planting with 1.00 x 1.00 m row spacing and between plants; 4) PP 0.75 m-precision planting with 0.75 x 0.75 m row spacing and between plants. The PP 0.75 m spacing was more stalks production per hectare, being similar to the others, in the third court. Root biomass production was completely different among treatments and the harvests evaluated.

**Keywords:** Productivity, row spacing, *Saccharum spp.*, root.

### Introdução

A produção de cana-de-açúcar do Brasil deverá crescer 3% ao ano e alcançar uma produção anual de 846 milhões de toneladas até 2020 (OIA, 2012). Segundo relatório do OUTLOOK FIESP 2023 (2013), em 2023/2024, o Brasil precisará alcançar um plantio de 10,5 milhões de hectares e moer cerca de 862 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para sustentar o crescente consumo e exportação de açúcar e etanol. Para tal, os meios de produção da cultura estão constantemente se modificando na tentativa de aumentar a produtividade do canavial, e garantir que parte desse aumento seja atingida.

A mudança na configuração de plantio é uma técnica que permite adequar o cultivo da cana-de-açúcar à colheita mecanizada, visando principalmente, minimizar os danos as plantas e aumentar a produtividade da cultura (TORQUATO *et al.*, 2015). Entretanto, desde o começo da mecanização das operações agrícolas de campo da cana-de-açúcar, foram as máquinas agrícolas, principalmente as colhedoras e os tratores (BRAUNBECK & MAGALHÃES, 2010), que definem o espaçamento adotado no plantio (BRAUNBECK & MAGALHÃES, 2014), limitando assim, um plantio alternativo e também a possibilidade de aumentar a produtividade da cultura.

De acordo com a literatura, os espaçamentos mais largos facilitam a mecanização e exibem uma planta de maior produtividade, contudo, a redução do espaçamento aumenta a população de plantas por área e conseqüentemente a produção da cana-de-açúcar (MATHERNE, 1971; KANWAR & SHARMA, 1977; BARBIERI *et al.*, 1987; SMIT & SINGELS, 2006; ROSSI NETO, 2015). O espaçamento entrelinhas de plantas e a densidade de plantas na linha, juntamente com a sua arquitetura radicular, está entre os principais fatores ligados à produtividade (ERNANDES, 2005). Conforme SMITH *et al.*, (2005), a raiz da cana-de-açúcar apresenta-se como fonte para o suprimento dos recursos do solo, influenciando assim sua produtividade.

Pelo exposto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a produção de colmos e a biomassa do sistema radicular da cana-de-açúcar em diferentes espaçamentos de plantio.

### Material e Métodos

#### Localização da área experimental

O experimento foi instalado em área comercial de cana-de-açúcar pertencente à usina Guaíra, localizado no Município de Guaíra, estado de São Paulo, Brasil, situada a 20°24' 17" de latitude sul e 48°12' 10" de longitude oeste. O clima da região é o subtropical

do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen. O índice pluviométrico anual da região é de 1.402 mm e sua altitude é 550 metros. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico argiloso.

#### Caracterização Química e Física do solo

Foi realizada a caracterização química e física do solo antes do plantio e após a aplicação de calcário e termofosfato. As amostras compostas foram coletadas ao acaso dentro da área experimental. Foram coletadas nas camadas de 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química (RAIJ et al., 2001) e física do solo da área experimental coletada antes da abertura dos sulcos para o plantio da cana-de-açúcar.

Prof. M	M.O. g dm <sup>-3</sup>	pH	K	Ca	Mg	H+Al <sup>3</sup> mmolc dm <sup>-3</sup>	CTC	V %	P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<b>Latossolo Vermelho eutrófico argiloso</b>														
0,00-0,20	28	5,7	14,5	46	11	19,7	91,2	79	44	0,14	4,4	9	8,4	0,5
0,20-0,40	24	5,9	11,6	35	9	23,8	79,4	72	32	0,46	4,7	9	9,9	0,4
0,40-0,60	17	5,6	8,1	21	6	25,0	60,1	60	14	0,29	4,0	6	5,8	0,1
0,60-0,80	13	5,6	6,7	15	4	20,8	46,5	57	7	0,29	2,8	4	3,3	0,1

Profundidade m	Granulometria				Agregados		Densidade kg m <sup>-3</sup>	Porosidade			U %
	AG	AF	AT	Silte	Argila	DMP mm		Macro	Micro	PT	
<b>Latossolo Vermelho eutrófico argiloso</b>											
0,00-0,10	54	71	125	359	516	1,03	1,28	0,03	0,52	0,55	20
0,10-0,20	42	62	104	350	546	0,90	1,28	0,07	0,48	0,55	27
0,20-0,40	37	54	91	304	605	0,75	1,34	0,04	0,49	0,52	29
0,40-0,60	27	50	77	280	643	0,87	1,19	0,07	0,47	0,54	29
0,60-1,00	28	49	77	289	634	0,70	1,22	0,06	0,48	0,54	29

#### Plantio

No plantio, diferentes quantidades de mudas foram utilizadas de acordo com a densidade de plantio adotada em cada tratamento. Nos tratamentos EC e EA utilizou-se o plantio de mudas convencional com densidade de 18 a 20 gemas por metro de sulco (Figura 1). Nos espaçamentos com o plantio de precisão PP 1,0 m e PP 0,75 m foram utilizados dois toletes de duas gemas por ponto (Figura 2).



Figura 1. Plantio de muda convencional



Figura 2. Plantio de precisão de mudas

As quantidades de mudas utilizadas em cada espaçamento foram calculadas amostrando-se 10 metros de sulco, pesando todo o material de propagação presente (Figura 3). As profundidades dos sulcos variaram de 0,15 a 0,32 m, dependendo do espaçamento adotado, em virtude do número de hastes no momento da sulcação (Figura 3). O plantio foi realizado em julho de 2012.

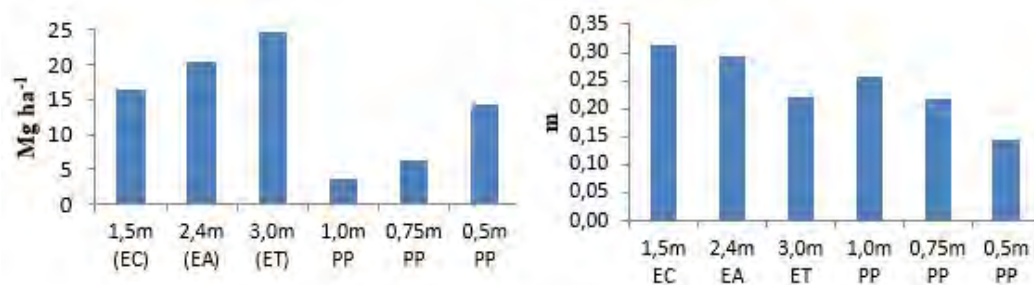


Figura 3. Quantidade de mudas de cana-de-açúcar e a profundidade de sulco utilizada no plantio de cada espaçamento na usina Guaiara.

O plantio foi realizado com a variedade RB966928 a qual, apresenta bom perfilhamento e boa brotação em cana planta.

#### Adubação

A adubação do experimento foi baseada nos tratamentos onde, as parcelas que apresentam espaçamentos (EC, EA e ET) o adubo foi aplicado em faixas, enquanto nas parcelas com espaçamentos de precisão o adubo foi aplicado de forma localizado (Figuras 4 e 5), respectivamente.



Figura 4. Adubação em faixa.



Figura 5. Adubação de precisão.

### Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, constituídos de quatro tratamentos com quatro repetições, sendo: T1 - espaçamento convencional (EC) que apresenta espaçamento simples de 1,50 m entrelinhas, com densidade de plantio similar ao realizado atualmente nas usinas (18 a 20 gemas por metro de sulco) e com 6.667 metros de sulco por hectare; T2 - espaçamento alternado duplo (EA) que apresenta espaçamento de 0,90 x 1,50 m entrelinhas duplas, com densidade de plantio similar ao realizado nas usinas (18 a 20 gemas por metro de sulco) e 8.333 metros de sulco por hectare; T3 - plantio de precisão (PP 1,0 m) que apresenta espaçamento de 1,0 x 1,0 m entre plantas e entrelinhas, totalizando 10.000 touceiras por hectare; T4 - plantio de precisão (PP 0,75 m) que apresenta espaçamento de 0,75 x 0,75 m entre plantas e entrelinhas, totalizando 17.777 touceiras por hectare. Os espaçamentos estão ilustrados na (Figura 6).

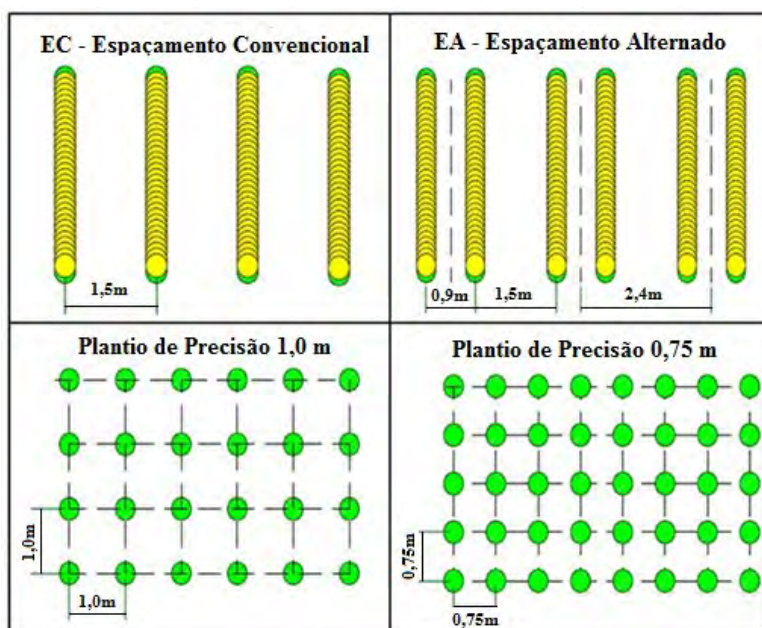


Figura 6. Representação da distribuição das mudas em cada espaçamento de plantio

### Avaliações dos experimentos de campo

As avaliações do sistema radicular, produtividade e atributos tecnológicos da cultura foram realizadas na época da colheita dos ciclos agrícolas de cana planta (2012/2013), primeira soqueira (2013/2014) e segunda soqueira (2014/2015).

### Avaliação do sistema radicular

A metodologia de análise do sistema radicular foi a mesma utilizada por OTTO *et al.* (2009) com modificações de acordo com o tipo de espaçamento, em que sondas de aço inox com 1,2 m de comprimento e 0,055 m de diâmetro interno coletaram amostras de solo mais raízes. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-1,00 m em que o volume de solo mais raízes amostradas em cada sondagem, na profundidade de 0,1 m equivale a 0,2375 dm<sup>3</sup>. Após a coleta das amostras, foi efetuada a separação do solo das raízes por peneiramento a seco (malha da peneira - 1,0 mm). As raízes e estolão separados do solo foram lavados em água corrente e, secas em estufa ventilada a 65 °C por um período de 48 horas para determinação das massas de material seco.

### Produção de colmos

A produtividade de colmos (Mg ha<sup>-1</sup>) de todas as parcelas foi avaliada colhendo manualmente os colmos presentes em 100 m<sup>2</sup> na área central de cada parcela. Os colmos foram separados dos ponteiros e folhas secas e pesados com o uso de dinamômetro acoplado a garra da carregadora. A área de avaliação de produtividade de colmos não teve tráfego de máquinas, sendo realizado o tráfego ao lado do eito de colheita destinada para avaliação da produtividade de colmos.

### Análise estatística

A estatística foi realizada no software Statistica, por meio da análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. Posteriormente foi realizada a comparação de médias por meio do teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

### Resultados e Discussão

#### Produção de colmos (Toneladas de Colmo por Hectare)

O espaçamento PP 0,75 m foi superior aos demais no primeiro e segundo corte da cana-de-açúcar, o qual produziu, respectivamente, 18 e 35 Mg ha<sup>-1</sup> a mais que o EC (Tabela 2). Contudo, o mesmo não ocorreu no terceiro corte da cultura. Ao avaliar a TCH acumulada nos três cortes, o espaçamento PP 0,75 m foi o mais produtivo em relação aos demais, produzindo 76 Mg ha<sup>-1</sup> a mais que o espaçamento convencional (Tabela 2).

**Tabela 2.** Produção de colmos (Mg ha<sup>-1</sup>) de cana-de-açúcar em diferentes espaçamentos de plantio.

Tratamentos	1º Corte	2º Corte	3º Corte	Acumulado
	<i>Mg ha<sup>-1</sup></i>			
EC	145 b	136 b	123 a	404 b
EA	143 b	144 b	129 a	416 b
PP 1,0 m	143 b	144 b	135 a	422 b
PP 0,75 m	163 a	171 a	147 a	480 a
DMS	15,2	14,5	33,4	34,1
F teste	p>0,04	p>0,00	p>0,46	p>0,00
CV	6,4	6,1	15,6	4,9

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Diversos trabalhos avaliaram a produtividade da cultura comparando o espaçamento convencional de 1,5 m entrelinhas com espaçamentos mais estreitos e constataram maior produtividade nos espaçamentos mais reduzidos (BARBIERI *et al.*, 1987; COLLINS, 2002; DEVI *et al.*, 2005; GARSIDE; BELL, 2009; ROSSI NETO, 2015).

Os ganhos em produtividade, com a redução do espaçamento de plantio, ocorrem por existir maior índice de área foliar (GALVANI *et al.*, 1997; IRVINE & BENDA, 1980), um acréscimo na taxa líquida de fotossíntese pela maior absorção de radiação solar (ERNANDES, 2005; GARSIDE & BELL, 2009) e em razão do fechamento mais rápido das entrelinhas diminuindo a competição com plantas daninhas (BARBIERI *et al.*, 1987).

Todavia, para tornar realidade o uso de espaçamentos reduzidos (precisão) será necessário o desenvolvimento de novas máquinas de plantio e colheita, porém, estar adaptando as máquinas às plantas e não as plantas as máquinas, como é feito atualmente.

#### Produção de Biomassa radicular

A avaliação da produção de biomassa de raízes, avaliada ao fim de cada ciclo, mostrou que houve diferenças entre os espaçamentos (Tabela 3). Sabe-se que a produção de raiz pode ser influenciada por meio de restrições químicas e físicas (VASCONCELOS; CASAGRANDE, 2008). No experimento, procurou-se minimizar tais restrições ao desenvolvimento do sistema radicular devido à falta de nutrientes no solo (adubação e calagem em pré-plantio quando necessário em ambas as áreas) e o não pisoteio com máquinas nas entrelinhas da cultura evitando assim a compactação do solo e conseqüentemente o mau desenvolvimento do sistema radicular. Desse modo, espera-se que as diferenças que ocorreram estão estritamente relacionadas com o arranjo espacial de plantio.

No primeiro corte, o espaçamento PP 1,0 m, caracterizado pelo espaçamento entre plantas e entrelinhas de 1,0 m, foi o que apresentou a maior massa de raízes (2,27 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo superior ao PP 0,75 m, EA e EC (Tabela 3). Já no segundo corte, se observou uma produção maior de biomassa de raiz dos espaçamentos mais reduzidos quando comparado ao espaçamento convencional (Tabela 3). No terceiro corte, o espaçamento mais reduzido PP 0,75 m apresentou maior produção de biomassa radicular quando comparado aos demais espaçamentos (Tabela 3). Avaliando a biomassa radicular ao longo dos três cortes, o espaçamento PP 1,00 m foi superior aos demais, porém, similar ao PP 0,75 m (Tabela 3).

**Tabela 3.** Produção da biomassa seca radicular de cana-de-açúcar em diferentes espaçamentos de plantio.

Tratamentos	1º Corte	2º Corte	3º Corte	Acumulado
	<i>Mg ha<sup>-1</sup></i>			
EC	1,53 b	0,61 b	1,20 b	3,35 bc
EA	1,12 b	1,16 a	0,81 c	3,08 c
PP 1,00 m	2,27 a	1,22 a	1,31 b	4,81 a
PP 0,75 m	1,04 b	1,38 a	1,70 a	4,12 ab
DMS	0,69	0,42	0,24	0,98
F teste	p>0,01	p>0,01	p>0,00	p>0,01
CV	29	24	12	16

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Nesse contexto, o comportamento da planta em relação à produção do sistema radicular avaliado pela biomassa seca de raízes ao término dos cortes foi completamente distinta entre os tratamentos e entre os cortes avaliados (Tabela 3). Por outro lado, apenas a informação sobre biomassa total de raízes por área não é suficiente para ajudar a explicar o desempenho produtivo da parte aérea da cultura.

### Conclusões

A redução do espaçamento aliado a distribuição equidistantes dos toletes em 0,75 m aumentam a produção de colmos por hectare de cana-de-açúcar.

A produção de biomassa radicular é diferente em função do espaçamento de plantio e o corte da cana-de-açúcar.

### Agradecimentos

Agradecemos a Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri/Unicamp) e ao Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol pela oportunidade e o financiamento do projeto.

### Referências Bibliográficas

- BARBIERI, V.; MANIERO, M. A.; PEREIRA, A. R. Espaçamento e características agroindustriais da cana-de-açúcar. STAB. Açúcar, **Álcool e Subprodutos**. Piracicaba v., n.6, p.23-27, Nov. 1987.
- BRAUNBECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S.G. Technological evaluation of sugarcane mechanization. In: Cortez, L.A.B. **Sugarcane bioethanol - R&D for Productivity and Sustainability**, São Paulo: Editora Edgard Blücher. 2014. p.451-464.
- BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P.S.G. Avaliação Tecnológica da Mecanização da Cana-de-Açúcar, In: Cortez, L.A.B. Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade, São Paulo, Editora Edgard Blücher. 2010. p.411-424.
- COLLINS, J. L. Investigation of the limits to high density planting. BSES publication, SRDC Final Report SD02016, p.43, 2002.
- DEVI, T. C.; LAKSHMI, M. B.; NAIDU, N.V. Response of new sugarcane genotypes to wide row spacing. Sugar Tech. Anapapale-India v.7, n.4, p.154-156, 2005.
- ERNANDES, M. L. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivadas em espaçamentos simples e duplos. 2005. 56p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2005.
- FIESP. Outlook Fiesp 2023: projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: Editora FIESP, 2013, p115.
- GALVANI, E.; BARBIERE, V.; PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A. Efeitos de diferentes espaçamentos entre sulcos na produtividade agrícola da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Scientia Agricola**. Piracicaba v.54, n.1-2, p.62-68, 1997.
- GARSDALE, A. L.; BELL, M. J. Row spacing and planting density effects on the growth and yield of sugarcane. 1. Responses in fumigated and non-fumigated soil. **Crop and Pasture Science**. Townsville v.60, n.1, p.532-543, 2009.
- IRVINE, J. E.; BENDA, G. T. A. **Sugarcane spacing II. Effects of spacing on the plant**. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 17. Manila, 1980. **Proceedings...** Manila: ISSCT, 1980. p.357-367.
- KANWAR, R. S.; SHARMA, K. K. **Effect of inter row spacing on tiller mortality, stalk population and yield of sugarcane**. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15. Durban, 1974. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 1974. p. 151-755.
- MATHERNE, R. J. **Influence of interrow spacing and planting rate of stalk population and cane yield in Louisiana**. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 14., New Orleans, 1971. **Proceedings...** New Orleans: ISSCT, 1971. p.640-645.
- OIA - Organização Internacional do Açúcar. Disponível em: <<http://www.isosugar.org/Publications/SB.aspx>>, Acesso em: 13 Nov. 2012.
- OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. Root system distribution of sugarcane related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa v.33, n.1, p.601-611, 2009.
- ROSSI NETO, J. **Desenvolvimento do sistema radicular e produtividade da cana-de-açúcar em diferentes espaçamentos**. 2015. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola - Feagri, Campinas, 2015.
- JSMIT, M. A.; SINGELS, A. The effect of row spacing on inter-row competition in sugarcane. In: South African Sugar Technologists Association, 80, Durban, 2006. **Proceedings...** Durban: SASTA, 2006. p. 139-142.
- SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**. Amsterdam v.92, n.1, p.69-183, 2005.
- TORQUATO, S.A.; DE JESUS, K.R.; ZORZO, C.R.B. Inovações no sistema de produção de cana-de-açúcar: uma contribuição do Protocolo Agroambiental para a região de Piracicaba, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**. São Paulo v. 45, n. 2, p.28-37, Mar/abr, 2015.
- VASCOCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A. **Fisiologia do sistema radicular**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 2008. p.79-98.

## PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOMASSA DE RAÍZES EM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PLANTIO E TRÁFEGO DE MÁQUINAS

Guilherme A. Castioni<sup>1,2</sup>; Zigomar M. de Souza<sup>2</sup>; Oriel T. Kölln<sup>2</sup>; João R. Neto<sup>2</sup>;  
Leandro C. Barboza<sup>1,2</sup> Henrique C. J. Franco<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) – Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE – CNPEM), Campinas, SP

guilhermecastioni@hotmail.com

### Resumo

Esse trabalho teve como objetivo verificar o impacto da redução do espaçamento e tráfego máquinas nos atributos da cultura de cana-de-açúcar plantada em diferentes configurações de plantio. Avaliou-se a distribuição das raízes e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar durante duas safras agrícolas, o experimento foi implantado na região de São Paulo-SP no mês de Outubro de 2012, onde foram avaliados os seguintes tratamentos: 1- Espaçamento de referência (ER) – 1,50m entrelinhas; 2- espaçamento combinado duplo (ECD) – espaçamento de 0,90m x 1,50m; 3- espaçamento combinado triplo (ECT) – espaçamento de 0,75 x 0,75 x 1,50m entrelinhas; 4- plantio geométrico de precisão (PGP) de 0,75 x 0,75m entre plantas e entrelinhas. O espaçamento PGP apresentou maior biomassa radicular e produtividade (TCH) nos dois anos de cultivo. A área não trafegada apresentou uma distribuição mais uniforme do sistema radicular no perfil.

**Palavras-chave:** sistema radicular, manejo do solo, controle de tráfego, *Saccharum spp.*

### Summary

This study aimed to verify the impact of reduced spacing and traffic machines in the attributes of the sugarcane crop planted in different planting configurations. We evaluated the distribution of roots and yield productivity of sugarcane for two harvests, the experiment was carried out in São Paulo-SP Sheets region in October of 2012, which evaluated the following treatments: 1 reference spacing (ER) - 1,50 m lines; 2 double combined spacing (ECD) - spacing of 0,90 m x 1,50 m; 3- spacing combined triple (ECT) - spacing of 0.75 x 0.75 x 1.50 m lines; 4- geometric planting precision (PGP) 0.75 x 0.75 m between plants and lines. PGP spacing showed greater root biomass and productivity (TCH) in the two years of cultivation. The area does trafficked showed a more uniform root distribution in the profile.

**Keywords:** root system, soil management, traffic control, *Saccharum spp.*

### Introdução

Uma forma reconhecida de elevar à produção por unidade de área é a diminuição do espaçamento do plantio da cana. Porém, a redução do espaçamento requer que o tráfego de máquinas seja controlado na área de cultivo, melhorando a qualidade física do solo e, conseqüentemente, o aumento da produtividade das lavouras de cana-de-açúcar. Isto se deve ao fato de que a passagem de máquinas agrícolas, que ocasionam a compactação do solo, seja concentrada em linhas permanentes, permitindo uma área maior para o adequado crescimento das plantas onde os impedimentos físicos são menores (BRAUNACK; McGARRY, 2006; KINGWELL; FUCHSBICHLER, 2011).

Este tipo de manejo é adequado para sistemas de produção com cultivo em linha. As zonas de tráfego podem permanecer no local por um ciclo da cultura ou ser mantido ao longo de vários ciclos, como ocorre na cultura da cana-de-açúcar na Austrália (BRAUNACK; McGARRY, 2006). Assim, não há sobreposição de rodados nas linhas da cultura, diminuindo a taxa de compactação no solo e impedimentos físicos ao sistema radicular. O volume do sistema radicular é um componente que está diretamente ligado a produtividade da planta. Ela determina a capacidade da planta em adquirir recursos do ambiente dinâmico e variável do solo (PAGÈS 2011; LYNCH E BROWN 2012). A distribuição espacial das raízes gera funções como ancoragem, armazenagem, absorção de nutrientes (móveis e imóveis) bem como de água (SMITH e DE SMET, 2012).

Pelo exposto o objetivo desse trabalho é avaliar o efeito da redução do espaçamento sobre os atributos da planta, durante duas safras agrícolas, da cultura de cana-de-açúcar.

### Material e Métodos

O experimento foi instalado em área pertencente à Usina Zilor (22°35'46" S 48°04'40" W), localizada no município de Lençóis Paulista-SP (Figura 1). O relevo é classificado como plano e, de acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é subtropical úmido do tipo Cwa. As temperaturas médias do mês mais quente são superiores a 22 °C e do mês mais frio inferiores a 18 °C. O solo é classificado como Latossolo Vermelho, segundo a Embrapa (2011).

Foram realizadas amostragens para a avaliação física do solo antes da instalação do experimento, nos seguintes atributos: composição granulométrica, química, resistência do solo à penetração, densidade e porosidade do solo (Tabela 1). O teor de umidade do solo se manteve entre 7 a 9%, pois a caracterização foi realizada no mês de julho de 2012. Nesta época a pluviosidade é muito baixa ou nula na região do ensaio.

**Tabela 1.** Porosidade do solo (macro, microporosidade e porosidade total - PT) densidade (DS) e Resistência a penetração (RP) da área experimental, antecedendo a instalação do experimento.

Camada (m)	Macro	Micro	PT	DS	RP
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				
0,00-0,10	0,10	0,21	0,30	1,64	2,29
0,10-0,20	0,05	0,19	0,23	1,64	2,90
0,20-0,40	0,02	0,29	0,31	1,71	3,58
0,40-0,60	0,03	0,21	0,24	1,72	3,17
0,60-1,00	0,09	0,20	0,29	1,71	3,04



A variedade de cana-de-açúcar utilizada é a CTC 15, escolhida pela usina de acordo com as condições da área elegida para o desenvolvimento do experimento. O plantio da cultura foi realizado no mês de outubro de 2012, após a área ter sido submetida ao preparo convencional (eliminação química da soqueira antiga, subsolagem e gradagem).

Foi avaliado quatro configurações de plantio, buscando identificar e relacionar o desempenho produtivo da cultura com os atributos físicos do solo. O experimento foi montado em um esquema de parcelas subdivididas com cinco repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os espaçamentos estabelecidos foram:

1. Espaçamento referência (ER) – espaçamento simples com 1,50 m entrelinhas. 2. Espaçamento combinado duplo (ECD) – espaçamento de 0,90 x 1,50 m entrelinhas duplas. 3. Espaçamento combinado triplo (ECT) – espaçamento de 0,75 x 0,75 x 1,50 m entrelinhas. 4. Plantio geométrico com espaçamento (PGP) de 0,75 x 0,75 m entre plantas e entrelinhas, alocados na parcela principal, com dimensões de 24 m de largura por 50 m de comprimento. Nas subparcelas (12m de largura, ou metade da parcela principal), após a colheita da cana planta, foi realizado o tráfego, sendo os tratamentos caracterizados como com e sem tráfego. O número de sulcos de plantio por parcela foi dependente de cada espaçamento entrelinhas, no espaçamento convencional de 1,5 m são 16 sulcos, no espaçamento combinado (0,90 x 1,5 m) são 10 conjuntos de linhas duplas (20 sulcos), no espaçamento triplo (0,75 x 0,75 x 1,5m) são oito conjuntos de linhas triplas (24 sulcos) e para o espaçamento geométrico são 32 sulcos.

A colheita da cana planta foi realizada no mês de outubro de 2013 de forma manual. O tráfego foi simulado com um trator de marca Valtra, modelo Bh 210i, pesando 8.640 kg, com bitola de 3,0 m. Acoplado ao trator, transbordo de marca Santal, modelo VT 10, tandem, com capacidade para 10 toneladas, bitola de 1900 mm, trabalhando a uma pressão de inflação dos pneus de 2500 psi, pesando 6.940 kg vazio e 16.250 kg cheio. Para o segundo ano foi utilizado uma colhedora de marca John Deere modelo 3520 e 3522, com peso total de 35,450 e 19,300 kg, respectivamente, segundo o catálogo do fabricante.

A metodologia de análise do sistema radicular foi a mesma utilizada por OTTO *et al.* (2011), com o auxílio de sondas em aço inox. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-1,00 m. Essas avaliações foram realizadas após a colheita da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar para avaliação da biomassa, tanto para cana planta quanto na primeira soca. Após a coleta das amostras foi efetuada a separação do solo das raízes por peneiramento a seco (malha 2,0 mm). As raízes e rizomas separados do solo foram lavados em água corrente, secos em estufa à 65 °C e obtidas as massas de material seco.

Acúmulo de Biomassa: foram realizadas amostragens de toda a parte aérea da cana-de-açúcar, em 2,0 metros de linha, em locais previamente sorteados, fora da área de avaliação da produção final de colmos (TCH). A massa de todo o material vegetal (folhas secas, ponteiros e colmos) de cada tratamento foi obtida diretamente em campo, por meio de pesagem em balança eletrônica (precisão de 0,02 kg). Após a pesagem, cada amostra vegetal foi triturada em picadora de forragem, coletando-se uma subamostra úmida. Essas subamostras foram acondicionadas em sacos plásticos fechados e em laboratório pesadas em balança analítica (precisão de 0,01 g) antes e após secagem em estufa ventilada a 65 °C (72 horas), para determinação da umidade do material. Conhecendo-se a umidade das amostras, será calculado o acúmulo de material seco (kg ha<sup>-1</sup>).

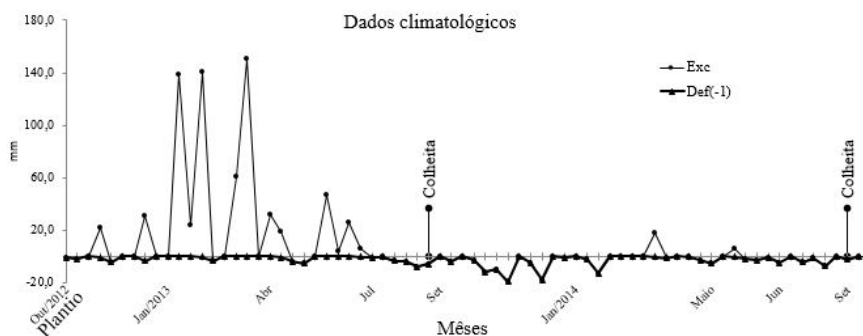
A estatística foi realizada por meio da análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e teste de Tukey para comparação entre médias ao nível de 5% de probabilidade.

Para análise estatística do intervalo hídrico ótimo foi utilizado um algoritmo desenvolvido no *software* SAS®, ajustando modelos lineares. Foi realizada análise de variância pelo teste F para a regressão e os coeficientes foram analisados pelo teste t-Student, ambos à 5% de significância.

## Resultados e Discussão

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado na primeira quinzena de outubro de 2012, num período de deficiência hídrica (Figura 1). Nos meses seguintes (novembro e dezembro) houve um aumento da pluviosidade, principalmente entre novembro de 2012 e julho de 2014, onde foi registrado um excedente de 213 mm. A partir de abril de 2014 a cultura começou a se desenvolver sob déficit hídrico até o corte da cana-planta na primeira quinzena de Setembro de 2013, sendo a disponibilidade de água, nesse período, fator limitante o desenvolvimento das raízes.

**Figura 1.** Extrato do balanço hídrico durante o desenvolvimento da cultura, expresso por deficiência (DEF) e excesso (EXC) hídricos



Na primeira soca a cultura se desenvolveu sobre deficiência hídrica por todo ciclo, referente ao período de novembro de 2013 a setembro de 2014, com o maior registro de deficiência hídrica acumulada de 29,3 mm em novembro de 2013, nesse período a cana-de-açúcar estava em pleno desenvolvimento inicial, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento do sistema radicular posteriormente o da parte aérea. No mês de setembro de 2014 foi feita a colheita, e a deficiência hídrica continuou até o mês de dezembro de 2014, onde foi registrado excedente de 112,7 mm.

A morte do sistema radicular da cana-de-açúcar ocorre, de acordo com VASCONCELOS (2003), com a deficiência hídrica, independente da fase de desenvolvimento, sendo sua renovação dependente do fim do período de falta de água no solo, com o início das chuvas. A primeira e a segunda amostragens foram realizadas com déficit hídrico.

Houve diferença para o acúmulo de massa seca de raízes na cana planta ao nível de 5% de probabilidade assim como para o acumulado cana planta mais primeira soqueira (Tabela 2). Os tratamentos não diferiram quanto à quantidade de raiz para a cana soca. Tal comportamento é explicado pelo aprofundamento e formação de raízes laterais em resposta a deficiência hídrica, observado no ciclo da cana soca onde ocorreu déficit durante quase todo período, conforme demonstrado no balanço hídrico (Figura 1). Para Stasovki e Peterson (1993) as mudanças na arquitetura do sistema radicular em resposta a falta de água permanecem mesmo depois da reidratação, devido a formação de raízes laterais. Ainda, o efeito cumulativo do tráfego de máquinas na soqueira, por conta da relação entre a umidade do solo com a porosidade de aeração e resistência a penetração no desenvolvimento radicular (VASCONCELOS, 2003).

**Tabela 2.** Acúmulo de massa seca de raízes (Mg ha<sup>-1</sup>) em função dos espaçamentos de plantio ER; ECD; ECT; PGP; para a Cana Planta e primeira Soqueira.

Tratamento	Raiz (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	Cana Planta (2013)	Cana Soca (2014)	Acumulado
ER	0,57 ab	1,33	1,90 ab
ECD	0,24 b	1,32	1,53 b
ECT	0,62 ab	1,47	2,06 ab
PGP	0,78 a	1,70	2,53 a
<b>p&gt;0,05</b>	*	ns	*

p>0,05: significativo a 5% de probabilidade teste tukey; ns: não significativo; Letras minúsculas na coluna diferem para os tratamentos,

A área sem tráfego diferiu quanto à biomassa radicular (Tabela 3), por conta da ausência do tráfego de máquinas e a disposição das plantas, que reduziram a intensidade de passagens das máquinas no solo, diminuindo o efeito compressivo. O maior grau de compactação do solo resulta em perdas diminuição da massa de raízes no solo, menor área explorada no perfil, causando diminuição na produtividade, notadamente em culturas de sequeiro (BRAUNACK *et al.*, 2006; COLLARES *et al.*, 2008). O emprego do controle de tráfego preserva a qualidade física do solo, resultando no maior acúmulo de raízes entre todas as camadas de solo estudadas.

**Tabela 3.** Acúmulo de massa seca de raízes (Mg ha<sup>-1</sup>) em função dos espaçamentos de plantio ER; ECD; ECT; para a Cana Planta e primeira Soqueira.

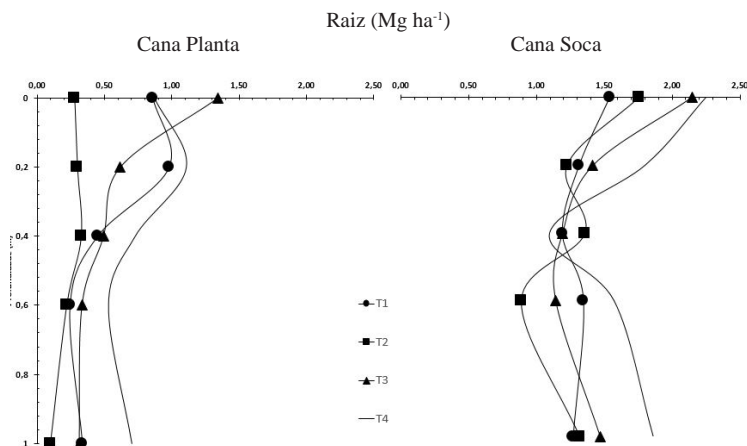
Tratamento	Raiz (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	Com Tráfego	Sem Tráfego	Média
ER	1,36 aA	1,43 aA	1,39 a
ECD	0,85bB	1,39 aA	1,12 a
ECT	1,14 abB	1,59 aA	1,36 a
<b>Média</b>	1,12 B	1,47 A	

OBS: P>n tratamento: 0,11; P>n tráfego: <0,01; P>n interação (tratamento x tráfego): 0,05, Letras minúsculas na coluna diferem para o tratamento e letras maiúsculas na linha diferem para o tráfego,

A inibição do sistema radicular provocado pela densidade do solo e a diminuição de poros interferem no desenvolvimento da parte aérea da cultura, porque impedem que o sistema radicular explore um maior volume de solo, diminuindo a absorção de água e nutrientes. A prioridade no raio de exploração do solo pelas raízes é importante, principalmente, para nutrientes com pouca mobilidade no solo, como o fósforo (SMITH *et al.*, 2005).

Analisando os perfis dos tratamentos trafegados (Figura 2) verifica-se que o ECT apresenta maiores taxas de biomassa de raiz em todo perfil, como já discutido anteriormente. A distribuição de raiz é mais uniforme no perfil, aumentado de acordo com a camada. Enquanto nos tratamentos ER e ECD, ocorre a diminuição da massa de raízes no sentido LP>LR, essa redução é atribuída a impedimentos físicos provocados pelo tráfego de máquinas, SOUZA *et al.*, (2012) trabalhando com compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar, também observaram que houve redução da massa de raízes no solo na linha do rodado.

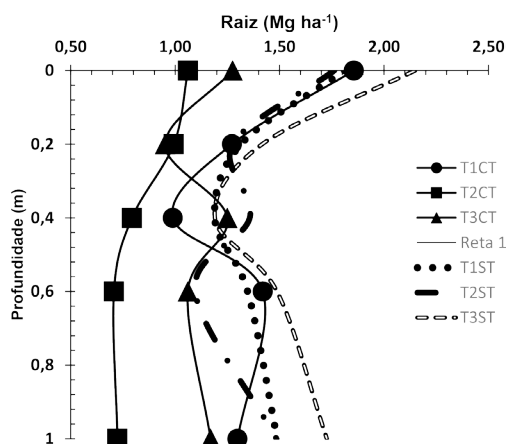
Figura 2. Distribuição de raízes no perfil para (A) Cana planta (B) Cana Soca.



A maior densidade de raiz é observada no entorno da soqueira. Nos tratamentos ER e ECD, a faixa de concentração dos maiores valores é bem menor comparada ao ECT, demonstrando que a distribuição de raízes é mais uniforme no perfil nessa configuração de plantio. Para COSTA *et al.*, (2007) maior quantidade de raízes em profundidade favorece a absorção de água na ocorrência de déficit hídrico.

Para os tratamentos não trafegados (Figura 3) nota-se que a distribuição de raízes é mais uniforme, o crescimento se dá sem aumentos ou diminuições expressivas em todas as camadas. Demonstrando que os impedimentos físicos impostos pelo tráfego de máquinas não provocaram uma redução significativa na progressão das raízes no solo. A adaptabilidade a condições adversas explica muitas vezes o desenvolvimento de plantas a locais onde a condição física do solo é considerada limitante ou restritiva, pois a compactação do solo restringe o crescimento a partir do ponto onde ela é iniciada nas profundidades do solo (MONTAGU *et al.*, 2001) então as raízes mudam a direção de crescimento (CLARCK *et al.*, 2003) e comumente concentra-se na faixa superficial do solo.

Figura 3. Distribuição de raízes no perfil para os tratamentos trafegados, (C)ER; ECP; ECT; PGP.



Observa-se pela (Figura 3) que há uma diminuição de raízes observada entre as camadas de 0,20 a 0,40 m do solo, podendo ser explicado pela operação de sulcação no preparo do solo. A utilização de cultivadores em condições não adequadas de umidade do solo reflete na alteração de suas propriedades físicas (CENTURION *et al.*, 2007), atribuindo impedimentos físicos e obrigando as raízes a contorna-lo.

O sistema radicular pode responder ao ambiente do solo de forma variável no espaço e no tempo, através de adaptações nos mecanismos de distribuição morfológica, exsudação, regulação de nutrientes, proliferação forçada no ponto de impedimento (LYNCH E BROWN 2008).

O tratamento PGP diferiu dos demais quanto a produtividade de colmos por hectare (TCH) (Tabela 4). De acordo com SMITH (2005) a fase de perfilhamento inicial é onde a cultura apresenta mais sensibilidade ao déficit hídrico. Durante os dois ciclos avaliados neste trabalho a ausência de chuvas (Figura 1) promoveu perdas na produção. Reduções consideráveis no crescimento de plantas ocorrem nas combinações intra e interespecíficas e são atribuídas a competição entre os grupos de plantas que ocupam o mesmo espaço.

**Tabela 4.** Produtividade (Mg ha<sup>-1</sup>) em função dos espaçamentos para o 1º (Cana Planta) e 2º (Cana Soca) ano de Avaliação

Tratamento	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	Cana Planta	Cana Soca	Acumulado
ER	89,87 b	91,92 a	181,80 a
ECD	92,12 ab	82,22 b	174,35 a
ECT	92,97 ab	91,60 a	184,57 a
PGP	99,77 a	87,12 ab	186,90 a

OBS: P>n tratamento Cana Planta: 0,09; P>n tratamento Cana Soca: 0,05; P>n tratamento Acumulado: 0,11, Letras minúsculas na coluna diferem para o tratamento,

Apesar da competição entre as plantas de cana-de-açúcar ser mais expressiva nos períodos em que houve déficit hídrico, não houve diminuição da produtividade nos tratamentos que priorizam a redução do espaçamento (ECT e PGP), explicado pelo fato de que nessa configuração de plantio, um número maior de plantas se estabelece e chega na colheita, é possível observar que, a estrutura do solo foi preservada e não interferiu no desenvolvimento das raízes no solo.

**Tabela 5.** Produtividade (Mg ha<sup>-1</sup>) em função dos espaçamentos e tráfego para o 2º ano de Avaliação (Cana Soca)

Tratamento	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	Com Tráfego	Sem Tráfego	Média
ER	88,22 aA	91,92 aA	90,07 a
ECD	86,75 aA	81,40 bA	84,07 b
ECT	82,50 aB	91,00 aA	86,75 ab
<b>Média</b>	<b>85,82 A</b>	<b>88,10 A</b>	

OBS: P>n tratamento: 0,10; P>n tráfego: 0,30; P>n interação (tratamento x tráfego): 0,05, Letras minúsculas na coluna diferem para o tratamento e letras maiúsculas na linha diferem para o tráfego,

Observa-se que os tratamentos sem tráfego apresentaram maior taxa de produtividade (Tabela 5). A ausência do tráfego de máquinas confere maior qualidade física ao solo, descartando o efeito compressivo nas camadas superficiais do solo, onde o sistema radicular é mais atuante. O trabalho BEUTLER *et al.*, (2009) retrata que onde há mais sobreposições do rodado, também é verificada maior compactação do solo, os autores avaliaram o impacto do tráfego de máquinas no solo e produtividade do milho e constataram que a compactação do solo é maior onde há mais sobreposição de rodados reduzindo a produtividade do milho em 22%.

### Conclusões

O espaçamento PGP apresentou maior biomassa radicular e produtividade TCH nos dois anos de cultivo.

A área não trafegada apresentou uma distribuição mais uniforme do sistema radicular no perfil.

### Referências Bibliográficas:

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, 2004.
- BRAUNACK, M. V.; ARVIDSSON, J.; HAKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia, **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.89, n.1-2, p.103-121, 2006.
- COSTA, M. C.; MAZZA, J. A.; VITTI, C. G.; JORGE, L. A. C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p. 1503-1514, dez, 2007.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.933-942, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Manual de métodos de análise de solo**, 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2011, 212p.
- KINGWELL, R.; FUCHSBICHLER, A. The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal, **Agricultural Systems**, Oxford, v.104, n.7, p.513-521, 2011.
- LYNCH JP, Root architecture and nutrient acquisition. In: BassiriRad H (ed) **Nutrient acquisition by plants -an ecological perspective**, Springer-Verlag, Berlin, pp 147-183, 2005.
- LYNCH J, P., BROWN K, M, (2008), "Root strategies for phosphorus acquisition," in *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions* eds White P, Hammond J., editors, (Berlin: Springer; ) 83-116.
- MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P.; ATWELL, B. J. The position of localized soil compaction determines root and subsequent shoot growth responses, **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.52, n.364, p.2127-2133, 2001.
- OTTO, R.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.3, p.601-611, 2009.
- OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development, **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.117, n.2, p. 201-210, 2011.
- PAGÈS L, Links between root development traits and foraging performance, **Plant Cell Environ**, v.42, p.1749-1760, 2011.
- SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system, **Field Crops Research**, v.92, n.2-3, p.169-183, 2005.

SMITH S. DE SMET I. Root system architecture: insights from Arabidopsis and cereal crops, **Phil Trans R Soc**, v.367 p.1441–1452, 2012, STASOVSKI, E.; PETERSON, C. A. The effects of drought and subsequent rehydration on the structure, vitality and permeability of *Allium cepa* L, adventitious roots, **Canadian Journal of Botany**, v. 71, p. 700-707, 1993.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.849-858, 2003.

## EFEITO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS E DO PREPARO DO SOLO NA BIOMASSA RADICULAR DA CANA PLANTA

Leandro Carneiro Barbosa<sup>1</sup>, Zigomar Menezes de Souza<sup>2</sup>, Henrique C. J. Franco<sup>3</sup>, João Rossi Neto<sup>3</sup>, Guilherme M. Sanches<sup>3</sup>, Oriel T. Kölln<sup>3</sup>, Saulo A. Quassi de Castro<sup>4</sup>, Sergio Q. Castro<sup>3</sup>, Guilherme A. F. Castioni<sup>1</sup>, João Luis N. Carvalho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Departamento de Água e Solo, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor, UNICAMP/FEAGRI, Campinas, SP

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo Pesquisador – Programa de produção de biomassa, Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE/CNPEM), Campinas, SP

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, Piracicaba, SP

leandrobarbosaagro@gmail.com

### Resumo

As práticas de cultivo e tratos culturais na cana-de-açúcar podem modificar o desenvolvimento aéreo e radicular da planta e assim influenciar na produtividade da cultura, dessa forma torna-se necessário compreender a relação intrínseca entre o desenvolvimento da planta e do sistema radicular. O objetivo desse trabalho foi avaliar a biomassa e a distribuição no perfil do solo do sistema radicular da cana-de-açúcar (cana planta) submetida a diferentes sistemas de preparo do solo (plantio convencional e plantio direto) e manejos culturais (com e sem rotação de cultura prévia ao plantio). Quatro experimentos foram instalados para avaliar esses tratamentos em condições contrastantes de clima e solo, localizados na região Centro Sul do Brasil (Quatá-SP, Chapadão do Céu-GO, Quirinópolis-GO e Itacemópolis-SP). O manejo cultural adotado e o sistema de preparo do solo não promoveram diferença na biomassa radicular e na produtividade da cana-de-açúcar em nenhuma das quatro condições de plantio. Independente do manejo adotado no plantio da cana-de-açúcar, 70% do sistema radicular se concentrou nos primeiros 0,40 m, mais especificamente no sulco de plantio.

**Palavras-chave:** *Saccharum sp*, Rotação de Cultura, Plantio convencional, Plantio direto, Sistema Radicular.

### Summary

The tillage practices in sugarcane can modify the plant development, and thus influence the productivity of the crop. Thus, it is necessary to understand the intrinsic relationship between the development of the above and belowground plant parts. The objective was to evaluate the root biomass and distribution in the plant cane cycle, subjected to different soil tillage systems and, different crop rotations strategies. In plant cane cycle the managements adopted (with and without rotation) and soil tillage systems (conventional tillage and no-tillage) did not promote difference in the root biomass and the productivity of sugarcane regardless of the region and soil conditions. Uncommitted of management utilized in the planting of sugarcane, 70% of the root system was concentrated in the first 0.40 m and more specifically in the furrow.

**Keywords:** *Saccharum sp*, Crop Rotation, Conventional tillage, No-tillage, Root System.

### Introdução

Nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar o intenso uso de máquinas e implementos visando o aumento da produtividade, modificam os atributos físicos do solo (SILVA JUNIOR *et al.*, 2010). Assim, existe uma preocupação com a sustentabilidade do sistema produtivo da cana-de-açúcar devido à intensificação dos cultivos aplicados na cultura sem adoção de práticas conservacionistas (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Essas práticas, como o preparo reduzido e o plantio direto, visam minimizar os efeitos da degradação estrutural do solo, tais como a compactação do solo e a restrição à infiltração de água, as quais comprometem o desenvolvimento do sistema radicular da planta (Miranda *et al.*, 2011; CURY *et al.*, 2014).

Uma das bases dos sistemas conservacionistas é a utilização de cobertura vegetal no solo, ou seja, a manutenção da palhada da cultura após a colheita no solo, que na cultura da cana-de-açúcar vem sendo aplicada na reforma ou implantação do canavial. A adoção de sistemas de preparo que preconizam a redução do preparo do solo, quando comparados com o sistema convencional, apresentam aspectos significativos, sobretudo para o desenvolvimento da cana planta, propiciando um ambiente mais estável para a cultura por apresentarem maior quantidade de cobertura vegetal e matéria orgânica que beneficia o estabelecimento e o desenvolvimento da cultura (SILVA JUNIOR *et al.*, 2010; BAQUERO *et al.*, 2010). Assim como também favorecem as condições físicas, químicas e biológicas do solo como o aumento do fluxo de água no solo, a disponibilidade de matéria orgânica e de nutrientes no solo (ANDRADE *et al.*, 2009; SILVA JUNIOR *et al.*, 2011; BAQUERO *et al.*, 2012; CURY *et al.*, 2014), propiciando maior desenvolvimento do sistema radicular (OTTO *et al.*, 2009; CARVALHO *et al.*, 2013), fator esse preponderante para que a cultura possa atingir seu máximo potencial produtivo (SMITH *et al.*, 2005).

Em relação às inúmeras variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Brasil, é interessante notar a heterogeneidade ocorrida no desenvolvimento do sistema radicular (VASCONCELOS *et al.*, 2003), e até mesmo para a parte aérea, devido as alterações segundo localização geográfica de cultivo (região), os ciclos fisiológicos da cana-de-açúcar (cortes) e período de maturação e colheita da variedade - período compreendido entre o corte e a rebrota (Jadoski *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2013). Portanto, há necessidade de se compreender o comportamento da parte aérea e o desenvolvimento radicular da planta. Na literatura, são poucos os trabalhos que avaliam a importância do sistema radicular concomitante ao crescimento da cultura (VASCONCELOS *et al.*, 2003; SMITH *et al.*, 2005; LACLAU E LACLAU, 2009; Sousa *et al.*, 2013; CURY *et al.*, 2014), provavelmente devido à dificuldade de avaliação do desenvolvimento radicular em condições de campo (OTTO *et al.*, 2009), ou pela variabilidade das condições físicas, químicas e biológicas do solo (JADOSKI *et al.*, 2012) e técnicas e métodos trabalhosos (VASCONCELOS E CASAGRANDE, 2010).

A pesquisa teve por objetivo avaliar a biomassa e distribuição do sistema radicular da cana planta no perfil do solo quando submetida a diferentes sistemas de preparo do solo (preparo convencional e plantio direto) associado ao manejo cultural realizado previamente ao plantio (com e sem rotação de cultura).

### Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em áreas de produção de cana-de-açúcar localizadas em Iracemápolis - SP (usina Iracema - UI), Quirinópolis - GO (usina Boa Vista - UBV), Quatá - SP (usina Quatá - UQ) e Chapadão do Céu - GO (usina Porto das Águas - UPA). Nas quatro localidades se utilizou a variedade RB966928 com espaçamento de plantio de 1,50 m entrelinhas. Informações específicas de acordo com cada região, bem como ao tipo de solo, época do plantio e colheita, dosagem de fertilizantes previstas na implantação da cultura, são apresentadas na (Tabela 1). As amostras para caracterização das áreas foram realizadas antes das instalações dos experimentos em setembro/outubro de 2012. No perfil do solo foram coletadas as amostras indeformadas para determinação da densidade e porosidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011), as amostras deformadas para a análise química (RAJI *et al.*, 2001) e granulométrica (CAMARGO *et al.*, 1986), cujo os resultados são apresentados na (Tabela 2).

**Tabela 1.** Características climáticas e de solo das áreas avaliadas para as usinas localizadas nos municípios de Iracemápolis-SP, Quirinópolis-GO, Quatá-SP e Chapadão do Céu-GO.

Características	Áreas			
	Iracemápolis	Quatá	Quirinópolis	Chapadão do Céu
Coordenadas	22° 34' S 47° 31' O	22° 14' S 50° 42' O	18° 32' S 50° 26' O	18° 25' S 42° 33' O
Altitude (m)	608	540	500	850
Precipitação total (mm)	1.149	1.233	1.539	1.523
Evapotranspiração potencial (mm)	1.290	1.260	1.770	1.314
Evapotranspiração real (mm)	1.058	977	1.268	1.035
Tipo de solo	NV	LVa	LVwf	LVd
Classe textural	Muito argilosa	Arenosa	Argilosa	Muito argilosa
Plantio <sup>1</sup>	22/01/2013	16/11/2012	20/12/2012	06/12/2012
Dessecação <sup>1</sup>	04/04/2013	29/03/2013	06/03/2013	18/03/2013
Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	2,0	2,0	-	2,0
Gesso (t ha <sup>-1</sup> )	-	1,0	-	1,0
Aducação (kg ha <sup>-1</sup> )	300 / 12-23-23	500 / 08-25-25	500 / 08-25-25	500 / 08-28-20
Plantio	24/04/2013	30/04/2013	20/03/2013	10/04/2013
Avaliação	20/04/2014	06/02/2014	10/04/2014	10/03/2014
Colheita	02/07/2014	16/06/2014	04/06/2014	09/06/2014

1 = rotação de cultura; NV = Nitossolo Vermelho; LVal = Latossolo Vermelho álico; LVaf = Latossolo Vermelho acriférrico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

Na instalação dos experimentos, as áreas foram subdivididas em duas faixas, nas quais se realizou o plantio da *Crotalaria spectabilis* em metade da área e a outra parte foi mantida em pousio (vegetação espontânea e soqueira dessecada). Em março/abril de 2013, em cada uma dessas áreas pareadas foram adotados o preparo convencional do solo (subsolagem, gradagem e sulcação de plantio) e o plantio direto (sulcação de plantio) da cultura da cana-de-açúcar, perfazendo os seguintes tratamentos avaliados: i) pousio com preparo convencional; ii) pousio com plantio direto, iii) rotação com crotalaria e preparo convencional; rotação com crotalaria e plantio direto. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 4 repetições.

A quantificação da biomassa radicular foi realizada nos meses de fevereiro e março de 2014, quando a cultura apresentava cerca de 11 meses de desenvolvimento, no período de maior desenvolvimento da biomassa radicular. Para quantificar a massa do sistema radicular, foi utilizada a metodologia proposta por OTTO *et al.* (2009), utilizando sondas em aço inox com 1,2 m de comprimento e 0,055 m de diâmetro interno. A sonda gem ocorreu nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-1,00 m. As amostras (solo + raízes) foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório. No laboratório, o material amostrado foi lavado em água corrente e peneirado (peneira de 1 mm).

Após este procedimento, as raízes lavadas foram secadas em estufa com circulação à 65 °C, obtendo-se a massa de matéria seca. Após o material ficar seco, o mesmo foi pesado em balança digital com precisão de 0,01 g. Para a obtenção dos valores de biomassa radicular em kg MS ha<sup>-1</sup>, considerou-se no cálculo o volume coletado pela sonda e o volume de solo amostrado em cada camada, de acordo com OTTO *et al.* (2009).

Os rizomas foram coletados em uma faixa de 1 m em cada parcela e, posteriormente, foi realizada a pré-limpeza em campo, retirando o excedente de raízes. Em laboratório foram lavados em água corrente. Depois foram submetidos a secagem em estufa com circulação de ar a 65°C por 120 horas e então pesados.

A avaliação da biomassa aérea foi realizada entre os meses de junho e julho, no período de maior maturação da planta. A produtividade foi estimada em campo por meio da pesagem do transbordo com auxílio de uma balança eletrônica, sendo colhidas as 4 linhas centrais das parcelas. Amostras de colmo após pesadas foram moídas e colocadas em estufa com circulação de ar a 65 °C por 72 horas para determinar sua umidade. Os dados obtidos foram analisados de forma independente para cada localidade, na qual foram submetidos a análise de variância quando significativa, comparados pelo teste de Tukey a 5%, utilizando o software SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2000).

**Tabela 2.** Caracterização dos atributos químicos e físicos das áreas experimentais localizadas nos municípios de Iracemápolis-SP (solo muito argiloso), Quirinópolis-GO (solo argiloso), Quatá-SP (solo arenoso) e Chapadão do Céu-GO (solo muito argiloso).

Camada (m)	MO	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V	Areia <sup>1</sup>	Argila	Silte	Ds	PT <sup>2</sup>
	g dm <sup>3</sup>																
<b>Solo muito argiloso (Iracemápolis-SP)</b>																	
0,00-0,10	40	4,4	77	8	20	9	14	40	54	37	90	40	148	646	206	1,38	0,55
0,10-0,20	30	4,4	49	7	19	8	13	47	60	33	93	36	145	666	189	1,37	0,57
0,20-0,40	19	4,5	30	7	17	7	8	35	43	32	74	44	126	686	188	1,27	0,58
0,40-0,60	21	4,7	8	7	18	7	4	34	38	32	70	46	92	739	167	1,17	0,64
0,60-1,00	20	4,7	8	7	17	6	4	32	36	30	66	46	85	758	157	1,15	0,62
<b>Solo argiloso (Quirinópolis-GO)</b>																	
0,00-0,10	32	5,5	10	6	44	16	0	23	23	66	89	74	218	621	161	1,15	0,54
0,10-0,20	27	5,5	8	4	43	12	0	23	23	59	82	72	208	642	150	1,15	0,53
0,20-0,40	22	5,5	7	3	34	8	0	21	21	45	66	68	200	655	145	1,15	0,51
0,40-0,60	18	5,6	7	1	28	6	0	20	20	35	55	64	181	681	138	1,14	0,51
0,60-1,00	30	5,7	6	1	22	7	0	18	18	30	48	62	177	719	104	1,14	0,45
<b>Solo arenoso (Quatá-SP)</b>																	
0,00-0,10	12	5,1	24	1	16	6	0	13	13	23	36	63	853	87	60	1,70	0,36
0,10-0,20	11	4,7	16	0	10	3	5	13	17	13	31	42	832	108	60	1,84	0,33
0,20-0,40	10	4,6	8	0	10	3	5	12	16	13	30	43	801	142	57	1,76	0,32
0,40-0,60	12	4,5	7	0	8	2	6	12	18	10	28	35	783	144	73	1,68	0,34
0,60-1,00	7	4,5	6	0	7	2	7	11	18	10	28	34	763	159	78	1,67	0,37
<b>Solo muito argiloso (Chapadão do Céu-GO)</b>																	
0,00-0,10	33	5,1	15	3	33	12	1	27	27	49	76	64	218	621	161	1,15	0,54
0,10-0,20	24	5,2	12	2	28	9	1	27	28	39	67	58	208	642	150	1,15	0,53
0,20-0,40	24	4,8	6	1	16	5	3	34	37	22	58	37	200	655	145	1,15	0,51
0,40-0,60	20	4,8	5	1	13	3	2	29	31	17	47	35	181	681	138	1,14	0,51
0,60-1,00	17	4,8	5	1	12	3	2	25	27	16	42	38	177	719	104	1,14	0,45

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V% = saturação por bases; Areia<sup>1</sup> = areia total; DS = densidade do solo; PT<sup>2</sup> = porosidade total.

## Resultados e discussão

Em todas as áreas avaliadas, independente dos tratamentos empregados, a biomassa radicular total no perfil do solo não apresentou diferença entre os parâmetros avaliados, todavia houve variações na massa de raízes (Tabela 3). O sistema de preparo do solo (convencional ou direto) e a adoção da rotação de cultura apresentaram diferenças pontuais no perfil de solo para o desenvolvimento radicular no solo argiloso, muito argiloso e solo arenoso.

A maior produção média de raízes foi em solo muito argiloso (Chapadão do Céu) de 2.735 kg MS ha<sup>-1</sup>, seguido pela a área de solo arenoso (Quatá) com 2.041 kg MS ha<sup>-1</sup>, solo argiloso (Quirinópolis) de 2.036 kg MS ha<sup>-1</sup> e solo muito argiloso (Iracemápolis) com 1.088 kg MS ha<sup>-1</sup>. Observa-se que para as áreas em estudo, um dos fatores que provavelmente influenciou na dinâmica radicular e a produtividade da cana planta não foram os tratamentos em estudo, mas sim a classe textural do solo e as condições climáticas de cada ambiente. Nas áreas com solo muito argiloso e argiloso as condições físicas e químicas do solo refletiram a elevada produção da biomassa aérea e subterrânea, além de que esses solos são responsáveis pela tolerância das plantas a períodos de seca por armazenarem um volume maior de água (GREGO *et al.*, 2011).

Ocorreu tendência de aumento da biomassa radicular em todas as áreas onde se empregou a rotação de cultura, independentemente do sistema de plantio adotado (Tabela 3). O manejo da rotação de cultura, beneficia o solo com fornecimento de material orgânico, fixação de nutrientes e estruturação física do solo (GARSIDE *et al.*, 2011). Na área com solo argiloso (Quirinópolis) o aumento foi mais pronunciado, no tratamento com rotação de cultura houve uma produção 35% superior a área sem rotação.

Considerando o sistema de preparo do solo, as áreas com classe textural argilosa e muito argilosa apresentaram tendência de maior biomassa radicular com o preparo convencional. Na área com solo arenoso, apresentou tendência de maior massa radicular no plantio direto (Tabela 3). Ao comparar os sistemas de preparo independentemente do manejo da rotação de cultura, a área com solo argiloso (Quirinópolis), o preparo convencional produziu 60% a mais que o plantio direto. Da mesma forma na área com solo muito argiloso (Iracemápolis) produziu 15% a mais de biomassa radicular que o plantio direto. O que provavelmente estimulou o desenvolvimento e distribuição das raízes foi a mobilização das camadas do solo no momento do preparo do solo (sulcação) para o plantio, o revolvimento do solo favoreceu a mineralização e incorporação de material orgânico e aumento na disponibilidade de nutrientes no solo (OTTO *et al.*, 2009), e entrada de ar e drenagem de água (VASCONCELOS E CASAGRANDE, 2010).



**Tabela 3.** Valores da Biomassa radicular em quilograma de massa seca por hectare no perfil do solo em função das formas de preparo associada a rotação de cultura em cada uma das áreas experimentais.

Camada (m)	Biomassa radicular (kg MS ha <sup>-1</sup> )			
	Com Rotação		Sem Rotação	
	PD	PC	PD	PC
<b>Solo muito argiloso (Iracemápolis-SP)**</b>				
0,00-0,10	118 aA	129 aA	193 aA	198 aA
0,10-0,20	262 aA	293 aA	342 aA	272 aA
0,20-0,40	276 aA	256 aA	220 aA	270 aA
0,40-0,60	177 aA	122 aA	105 bA	223 aA
0,60-1,00	196 aA	338 aA	135 aA	125 aB
0,00-1,00	<b>1.030 aA</b>	<b>1.238 aA</b>	<b>996 aA</b>	<b>1.088 aA</b>
<b>Solo argiloso (Quirinópolis-GO)</b>				
0,00-0,10	464 aA	590 aA	178 aB	369 aB
0,10-0,20	442 aA	954 aA	338 aA	582 aA
0,20-0,40	421 aA	533 aB	188 bB	645 aA
0,40-0,60	226 bA	438 aA	235 bA	395 aA
0,60-1,00	300 aA	304 aA	340 aA	199 aA
0,00-1,00	<b>1.854 aA</b>	<b>2.820 aA</b>	<b>1.280 aA</b>	<b>2.190 aA</b>
<b>Solo arenoso (Quatá-SP)</b>				
0,00-0,10	880 aA	757 aA	590 aA	395 aB
0,10-0,20	669 aA	580 aA	442 aA	480 aA
0,20-0,40	273 aA	276 aA	387 aA	314 aA
0,40-0,60	170 aA	143 aA	197 aA	179 aA
0,60-1,00	274 aA	296 aA	478 aA	378 aA
0,00-1,00	<b>2.268 aA</b>	<b>2.052 aA</b>	<b>2.095 aA</b>	<b>1.748 aA</b>
<b>Solo muito argiloso (Chapadão do Céu-GO)</b>				
0,00-0,10	662 aA	621 aA	569 aA	695 aA
0,10-0,20	754 aA	737 aA	737 aA	555 aA
0,20-0,40	552 aA	564 aA	548 aA	408 aA
0,40-0,60	347 aA	568 aA	453 aA	383 aA
0,60-1,00	391 aA	548 aA	492 aA	363 aA
0,00-1,00	<b>2.705 aA</b>	<b>3.037 aA</b>	<b>2.799 aA</b>	<b>2.400 aA</b>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey com 5% de probabilidade, sendo que as letras minúsculas comparam o preparo do solo dentro da rotação de cultura, e letras maiúsculas comparam a rotação de cultura independentemente do preparo.

Observa que o sistema radicular está concentrado na camada superficial (Tabela 3), com aproximadamente 70% da massa total radicular localizada até 0,40 m, independente do sistema de preparo do solo, manejo de rotação de cultura. Tendo em vista que o sistema radicular da cana-de-açúcar tende a explorar mais intensamente as camadas superficiais (VASCONCELOS E CASAGRANDE, 2010; JADOSKI *et al.*, 2012), essa região que se faz o manejo de correção e adubação próximo a planta, proporciona um ambiente favorável, com disponibilidade de água e nutrientes (CURY *et al.*, 2014) para o desenvolvimento radicular com menor gasto de energia (OTTO *et al.*, 2009).

As áreas avaliadas não apresentaram diferenças quanto à produtividade da cana-de-açúcar (TCH), biomassa radicular e biomassa de rizoma (Tabela 4). Ao analisar a TCH média, maiores produtividades foram verificadas nas áreas com solo de textura argilosa e muito argilosa. Para as áreas (solos argilosos e muito argilosos) o emprego da rotação de cultura possibilitou um incremento de 11% na produtividade da cultura considerando os dois modos de plantio (convencional e direto). A área com solo arenoso (Quatá), obteve menores produtividades (TCH média de 58 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos), independentemente do sistema de preparo do solo e da rotação de culturas (Tabela 3). Dessa forma, a produtividade da cultura foi baixa em relação às outras áreas, o elevado gasto de energia para a manutenção do sistema radicular traz consequências negativas sobre a planta, como a redução da produtividade (OTTO *et al.*, 2009). De acordo com CARVALHO *et al.* (2013) a distribuição radicular no solo é que irá determinar a relação entre a biomassa aérea e subterrânea na cana-de-açúcar.

A biomassa de rizoma, somente no solo argiloso (Quirinópolis) apresentou diferença quanto à produção da massa no tratamento com rotação de cultura. O plantio direto (4.745 kg ha<sup>-1</sup> MS) produziu duas vezes a mais que o preparo convencional (2.391 kg ha<sup>-1</sup> MS). Porém, na área com solo arenoso não houve diferença, mas o manejo de rotação de cultura apresentou aumento de até 41% na massa de rizoma.

**Tabela 4.** Valores da Biomassa de colmo (TCH) e biomassa radicular (kg MS ha<sup>-1</sup>) da cana-de-açúcar nas áreas experimentais de classe textural: muito argilosa (Iracemápolis-SP), argilosa (Quirinópolis-GO), arenosa (Quatá-SP) e muito argilosa (Chapadão do Céu-GO).

Atributos		Com Rotação		Sem Rotação	
		PD	PC	PD	PC
		<b>Solo muito argiloso (Iracemápolis-SP)**</b>			
Colmo	TCH	119 aA	121 aA	121 aA	119 aA
Rizoma	kg MS ha <sup>-1</sup>	1.906 aA	1.774 aA	1.770 aA	1.776 aA
Raízes	kg MS ha <sup>-1</sup>	1.030 aA	1.238 aA	996 aA	1.088 aA
<b>Solo argiloso (Quirinópolis-GO)</b>					
Colmo	TCH	168 aA	156 aA	151 aA	158 aA
Rizoma	kg MS ha <sup>-1</sup>	4.745 aA	2.391 aA	3.563 aA	4.080 aA
Raízes	kg MS ha <sup>-1</sup>	1.854 aA	2.820 aA	1.280 aA	2.190 aA
<b>Solo arenoso (Quatá-SP)</b>					
Colmo	TCH	57 aA	68 aA	48 aA	58 aA
Rizoma	kg MS ha <sup>-1</sup>	1.517 aA	1.534 aA	1.124 aA	1.024 aA
Raízes	kg MS ha <sup>-1</sup>	2.268 aA	2.052 aA	2.095 aA	1.748 aA
<b>Solo muito argiloso (Chapadão do Céu-GO)</b>					
Colmo	TCH	169 aA	153 aA	144 aA	147 aA
Rizoma	kg MS ha <sup>-1</sup>	1.497 aA	1.104 aA	1.355 aA	1.202 aA
Raízes	kg MS ha <sup>-1</sup>	2.705 aA	3.037 aA	2.799 aA	2.400 aA

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey com 5% de probabilidade, sendo que as letras minúsculas comparam o preparo do solo dentro da rotação de cultura, e letras maiúsculas comparam a rotação de cultura independentemente do preparo.

### Conclusões

Os sistemas de plantio (convencional ou direto) não promovem alterações na produtividade da cana-de-açúcar, bem como na biomassa radicular total e de rizomas.

O desenvolvimento da biomassa aérea e subterrânea foi influenciado pelo tipo de solo e pela disponibilidade de água. Independente do manejo adotado no plantio da cana-de-açúcar, 70% do sistema radicular se concentrou nos primeiros 0,40 de profundidade especificamente no sulco de plantio.

### Referências Bibliográficas

- ANDRADE, R.I.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.411-418, 2009.
- BAQUERO, J.E.; RALISCH, R.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F. Soil physical properties and sugarcane root growth a red oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.63-70, 2012.
- Camargo, O. A.; Moniz, A. C.; Jorge, J. A.; Valadares, J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p.
- CARVALHO, J.L.N.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O. Input of sugarcane post-harvest residues into the soil. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.70, n.5, p.336-344, 2013.
- CURY, T.N.; MARIA, I.C.; BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1929-1938, 2014.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.516-524, 2008.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de 338 métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar 5.0: sistema de análise estatística. Lavras: UFLA/DEX, 2000. Software.
- GARSDALE A.L.; BELL, M.J. Growth and yield responses to amendments to the sugarcane monoculture: effects of crop, pasture and bare fallow breaks and soil fumigation on plant and ratoon crops. **Crop and Pasture Sci.** 2011; 62:396-412.
- GREGO, C.R.; COELHO, R.M.; VIEIRA, S.R. Critérios morfológicos e taxonômicos de Latossolo e Nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.337-350, 2011.
- JADOSKI, C.J.; TOPPA, E.V.B.; RODRIGUES, J.D. Desenvolvimento morfofisiológico de raízes e brotos da cana-de-açúcar (SACCHARUM OFFICINARUM L.). **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, v.11, n.2, p.22-32. 2012.
- LACLAU, P.B.; LACLAU, J.P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugar-cane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.114, n.3, p.351-360, 2009.
- MIRANDA, J.M.; RIGONE, M.V.; SILVEIRA, F.T. Associação da crotalaria com adubação orgânica e mineral na produtividade da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p.948-953, 2011.
- OLIVEIRA, A.P.P.; LIMA, E.; DOS ANJOS, L.H.C.; ZONTA, E.; PERERIA, M.G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.9, p.939-947, 2014.
- OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.4, p.398-405, 2009.
- RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- SANTOS, P.A.; SILVA, A.F.; CARVALHO, M.A.C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.9, n.2, p.123-134, 2010.
- SANTINI, G.A.; PINTO, L.B.; QUEIROZ, T.R. Cana-de-açúcar da matriz energética nacional. **Revista Política Agrícola**, Brasília, v.20, n.1, p.89-99, 2011.
- SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; LIBARDI, P. L.; SILVA, M. A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, Dourados, v.3, n.8, p.111-118, 2010.
- SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.169-183, 2005
- SOUZA, A.C.M.; MATSURA, E.E.; ELAIUY, M.L.C.; DOS SANTOS, L.N.S.; MONTES, C.R.; PIRES, R.C.DE M. **Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent application by subsurface drip system**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, n.4, p.647-657, 2013.
- VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE A. A.; PERECIN D.; JORGE L. A. C.; LANDELL M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.849-858, 2003.
- VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A. **Fisiologia do sistema radicular**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, p.882, 2010.

## VARIAÇÃO DO NÚMERO DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS COM A ÁREA DE PRODUÇÃO DAS UNIDADES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL E O PROÁLCOOL

Rubismar Stolf <sup>1</sup>; Ana Paula Rodrigues de Oliveira <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor titular UFSCar-Araras, SP

<sup>2</sup> Engenheira agrônoma – Brasília, DF

anaprdo@hotmail.com

### Resumo

Na década de 1960, a abertura do mercado de açúcar dos Estados Unidos originou a modernização da agroindústria. O Instituto do Açúcar e do Alcool ( IAA) criou a “Divisão de Exportação”. Houve a fundação de importantes entidades: Copercana, CTC e Planalsucar. Em 1975, criou-se o Proálcool. O etanol saltou de 0,6 para 3,4 bilhões de litros na safra 1979/80. Exatamente na citada safra o Planalsucar realizou um levantamento da maquinaria da lavoura da cana-de-açúcar em 67 unidades. O objetivo deste trabalho foi proporcionar um registro histórico do levantamento da época e analisar a “variação do número de implementos por 1000 ha” em função da área agrícola, para cada implemento, por meio do coeficiente de correlação linear e equação de regressão. Todos os coeficientes de correlação significativos mostraram uma diminuição do “número de máquinas e implementos por 1000 ha” com o aumento da área cultivada: tratores de pneus, grades, arados, sulcadores, carregadoras e cultivadores. Portanto, com o aumento da área maximiza-se o uso da maquinaria pela redução do número de equipamentos por unidade de área, conclusão válida para a época. Observa-se que a escala de produção das unidades tem aumentado continuamente, até a atualidade. Este trabalho evidenciou a atuação de um processo de economia de escala no sistema de produção de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** número de implementos por mil hectares, economia de escala, cana-de-açúcar.

### Summary

In the 1960s, the opening of the US sugar market led to the modernization of the agricultural industry. The IAA has created the “Export Division.” Copercana, CTC and Planalsucar were created, too. Biofuel production program (PRO-ALCOHOL) began in 1975 and ethanol jumped from 0.6 to 3.4 billion liters in the year 1979/80. Exactly in 1979/80 Planalsucar conducted a survey of the machinery of sugarcane crop in 67 units. The goal of the present paper is to provide a historical record of the survey and analyze the variation of the number of implements per 1000 ha in function of the agricultural area. It was determined linear correlation coefficient and the regression equation for each device. All significant correlation coefficients showed a decrease in the “number of machines and implements for 1,000 ha” with increasing acreage, as follows: tire tractors, harrows, plows, furrows, loaders and cultivators. Therefore, with the increase of the area maximizes the use of machinery by reducing the number of devices per unit area, valid conclusion at that time, 1979/80. It notes that the units of production scale have been rising until the present time. This work brings evidence about the performance of an economy of scale process in the sugarcane production system.

**Keywords:** number of implements per thousand hectares, economy of scale, sugarcane.

### Introdução

Muitos estudos têm sido dirigidos à indústria de tratores e implementos agrícolas no Brasil (AMATO NETO, 1985; FONSECA, 1990; FERREIRA, 1995; VIAN *et al.*, 2013; CÉLERES, 2014). Um grande impulso ocorreu no governo Juscelino Kubitschek nos anos 1950, quando houve uma rápida expansão econômica, sob um clima de intensa euforia desenvolvimentista (AMATO NETO, 1985). Segundo o mesmo autor, a primeira instalação fabril do setor surgiu em 1959 e as primeiras unidades de tratores começaram a ser produzidas em 1960. COSENTINO (2004) apresenta dados da evolução subsequente: a quantidade de tratores variou, de 1960 a 2001, de 400 ha a 150 ha/trator, isto é, 2,5 a 6,7 tratores/1000 ha. Segundo CÉLERES (2014), o Brasil é o quarto maior mercado de tratores agrícolas do mundo, ficando atrás apenas da Índia, China e Estados Unidos. Em 2012, atingiu a média de 11 tratores por mil hectares de área produtiva (considerada a área arável e as culturas permanentes).

Assim como a indústria de tratores e implementos, a agroindústria canavieira moderniza-se na mesma década de 1960: o Brasil ocupa mercado de açúcar nos E.E. U.U.; o IAA cria a “Divisão de Exportação”; a Copercana e a STAB são criadas em 1963; o IAA traz do Havá Vicent Mangelsdorf, que traça programa de melhoramento genético para a expansão e conquista de mercado mundial; a Copersucar cria o CTC em 1969; no ano seguinte, surge o Planalsucar, braço de pesquisa do IAA; e em 1975 é criado o Proálcool. A produção de etanol salta de 0,6 para 3,4 bilhões de litros na safra 1979/80 (BELIK, 1985; MICHELLON *et al.*, 2008; PORTO, 2010; STAB, 2010; COPERCANA, 2016). Foi nesta safra, sob grande euforia, que o Planalsucar estabeleceu um projeto de levantamento de maquinaria agrícola das unidades produtoras, descrito no presente estudo.

O objetivo presente foi proporcionar um registro histórico do levantamento da época. O objetivo específico foi analisar o índice “variação do número de implementos por 1000 ha” em função do tamanho da área agrícola das unidades produtoras de açúcar e álcool.

### Material e Métodos

O levantamento foi realizado na safra 1979/80 e abrangeu 67 unidades produtoras, que foram agrupadas em intervalos de 2 mil ha até a classe 30-32 mil ha, correspondente à unidade de maior área da época do levantamento.

**- Foram consideradas as seguintes variáveis quanto à área de cana-de-açúcar e número de unidades produtoras:**

A: Intervalo de classe (de 2 em 2 mil ha).

B: Centro de classe (1, 3, 5 .... 31) em mil ha, representando a área da propriedade.

C: Número de unidades produtoras de cada classe.

**- Variáveis quanto a tratores e implementos por mil hectares:**

D: Número de tratores de pneus.

E: Número de tratores de esteiras.

F: Cavalos vapor (CV) dos tratores de pneus.

G: Cavalos vapor (CV) dos tratores de esteiras.

H: Número de grades agrícolas.

I: Número de arados.

J: Número de sulcadores.

K: Número de colhedoras.

L: Número de enleiradoras.

M: Número de carregadoras.

N: Número de subsoladores.

O: Número de cultivadores.

Em seguida, fez-se a análise de regressão linear para cada variável versus o tamanho da propriedade para testar a hipótese da redução dos valores com o aumento da propriedade. Obteve-se também o coeficiente de correlação linear (Pearson), testado quanto à significância estatística pelo teste t de Student para (\*) 5%; (\*\*) 1%; (\*\*\*) 0,1%.

Especificamente, para os números: a) de colhedoras de cana picada e de cana inteira; b) de arados de arrasto e de engate hidráulico; c) de grades da classe leve (discos de 26 polegadas ou menores) e de grades da classe média e pesada (discos de diâmetro igual ou maior que 28 polegadas), segundo a classificação de STOLF (2007), calculou-se a proporção. Esses dados serão apresentados no rodapé da (Tabela 1). Exemplo: média geral de grades (Coluna H): 1,92 implementos/1000 ha, com 25% grades leves (diâmetro de disco =< 26 polegadas) e 75% de grades aradoras ou intermediárias (classe média ou pesada).

**Resultados e discussão**

A (Tabela 1) contém o banco de dados que guarda a memória do índice de mecanização da época, em termos de número de equipamentos agrícolas por unidade de área.

Tomemos, como exemplo de uso, o item número de grades (coluna H da referida Tabela 1). Verifica-se que a propriedade agrícola de 17 mil ha (centro de classe, coluna B) contém 2,03 grades/1000 ha em média. Tomando-se uma propriedade maior, de 31 mil ha (centro de classe), tem-se 0,93 grades/1000 ha. Ou seja, o índice diminuiu drasticamente com o aumento da propriedade. Essa observação levanta a hipótese de que o número de grades por unidade de área diminuiria com o tamanho da área da cultura. Ou seja, evidenciaria uma maior eficiência ou menor ociosidade desse implemento nas maiores propriedades (Tabela 2).

**Tabela 1.** Tabela Geral de Dados. Número de tratores e implementos agrícolas por mil ha, em unidades produtoras de classes de 0-2 mil ha a 30-32 mil ha. Número de unidades: 67.

Intervalo de classe	centro de classe	Nº unidades	Número de implementos por 1000 ha												
			tratores de pneus	tratores de esteira	CV tratores pneus	CV tratores de esteira	Grades	arados	sulcadores	colhedoras	Enleiradoras	Carregadoras	Subsoladores	cultivadores	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
0-02	1	2	7,76	0,60	662	53	2,68	2,08	2,68	0	0,90	2,39	0,90	6,25	
02-04	3	11	7,72	1,15	621	115	3,08	3,57	1,75	0,37	0,65	3,24	0,80	5,02	
04-06	5	13	5,68	0,61	461	57	1,78	2,25	1,05	0,36	0,51	2,06	0,50	2,91	
06-08	7	12	6,77	0,65	566	67,7	2,03	1,64	1,51	0,39	0,72	1,95	0,69	2,98	
08-10	9	6	3,99	0,89	331	95	2,07	1,56	0,72	0,82	0,74	1,9	0,59	1,92	
10-12	11	10	4,01	0,79	354	96	1,62	1,32	1,10	0,61	0,58	1,48	0,69	2,23	
12-14	13	6	5	0,92	405	105	2,24	0,82	0,60	0,43	0,68	1,69	0,32	2,84	
14-16	15	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16-18	17	1	5,14	0,24	458	50	2,01	1,48	0,53	0,19	0	1,12	1,00	1,18	
18-20	19	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20-22	21	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22-24	23	3	4,72	0,99	428	108	1,55	1,60	0,69	0,49	0,59	1,56	0,47	2,64	
24-26	25	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26-28	27	2	2,80	0,84	254	135	1,08	0,06	1,00	0,59	0,48	0,66	0,59	2,30	
28-30	29	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30-32	31	1	2,61	0,31	294	38	0,93	0,19	0,84	0,28	0,37	0,99	0,06	0,65	
Média	16		5,11	0,73	439	84	1,92	1,51	1,16	0,41	0,57	1,73	0,60	2,81	

OBS.: Grades: (H) 75% discos >= 28 pol, 25% <= 26 pol; (i) Arado: 57% de hidráulico, 43% de arrasto; Colhedora: cana picada (K): 41% santal; 11% Toft; 20% MF = TOTAL = 73%;. Cana inteira: Artioli 27%

**Tabela 2.** Correlação e regressão linear entre o tamanho da propriedade em 1000 ha (X) e o número de implementos/1000 ha (Y).  
 Teste t: (\*) 5%; (\*\*) 1%; (\*\*\*) 0,1%.

y= número de implementos/1000 ha x= tamanho da propriedade em 1000 ha	Coefficiente de Correlação	Média Geral/ 1000 ha
D: Tratores de pneus: $y = 7,07 - 0,15x$	$r = - (0,833) **$	5,1 tratores
E: Tratores de esteiras: $y = 0,82 - 0,007x$	$r = - (0,300)$	0,73 tratores
F: Potência pneus (cv): $y = 574,2 - 10,1x$	$r = - (0,761) **$	439 CV
G: Potência esteira (cv): $y = 79,7 + 0,28x$	$r = 0,087$	83 CV
H: Grades: $y = 2,63 - 0,05x$	$r = - (0,841) ***$	1,9 grades
I: Arados: $y = 2,54 - 0,08x$	$r = - (0,793) **$	1,5 arados
J: Sulcadores: $y = 1,65 - 0,04x$	$r = - (0,607) *$	1,1 sulcadores
K: Colhedoras: $y = 0,36 + 0,004x$	$r = 0,177$	0,41 colhedora
L: Enleiradoras: $y = 0,74 - 0,013x$	$r = - 0,543$	0,57 enleiradora
M: Carregadoras: $y = 2,53 - 0,06x$	$r = - (0,839) ***$	1,7 carregadoras
N: Subsoladores: $y = 0,80 - 0,015x$	$r = - 0,568$	0,6 subsolador
O: Cultivadores: $y = 4,3 - 0,11x$	$r = - (0,769) **$	2,8 cultivadores

Para testar essa hipótese, conforme descrito no item material e métodos, realizou-se a análise de regressão de x (tamanho da propriedade em mil ha, coluna B) com y (coluna da grade H), da (Tabela 1). Dessa forma, comprovou-se a hipótese da existência de uma correlação inversa desse implemento com o tamanho da propriedade, ou seja, negativa de  $-0,841 ***$  (Tabela 2, linha H). A (Tabela 3) exemplifica a consequência desse resultado em termos de economia: a propriedade de 31000 ha utiliza aproximadamente o mesmo número de grades de uma propriedade de 17000 ha, tanto para valores medidos como estimados, a grosso modo 30 grades.

**Tabela 3.** Exemplo do implemento grade. Valores medidos e estimados por regressão linear.

x-Área Mil ha	Número de grades/1000 ha		Total de implementos	
	Valores levantados <sup>1</sup>	Valores estimados <sup>2</sup> $y = 2,54 - 0,08x$	Valores levantados Col1 * Col2	Valores estimados Col1 * Col3
17	2,03	1,78	35	30
31	0,93	1,08	29	33

Col1: col B da tabela1; col2: col H tabela1; col3: linha H da Tabela 2

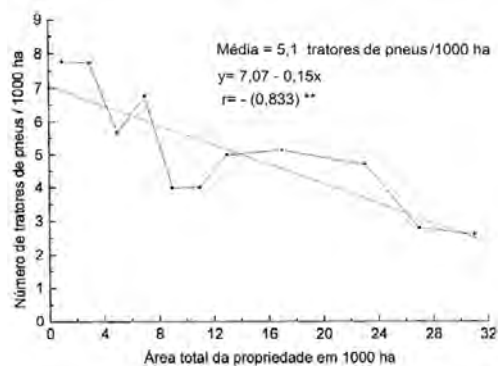
Ao generalizar a discussão para os demais implementos, é possível verificar que, dos itens levantados, sete deles apresentaram correlações significativas. Todas inversas ao tamanho da propriedade, comprovando a hipótese da redução do índice com o tamanho da propriedade (Tabela 2). Portanto, conclui-se que, com o aumento da área cultivada das unidades produtoras de açúcar e álcool, maximiza-se a utilização dos equipamentos agrícolas. Essa conclusão é válida para época (1979/80) e intervalo de variação do tamanho das propriedades.

As (Figuras de 1 a 12) apresentam as variações nos índices de máquinas e implementos. É interessante observar que a escala de produção das unidades sucroalcooleiras tem aumentado continuamente, até a presente época, também pelo processo de incorporação das unidades maiores pelas menores. Assim, há evidências da atuação de um processo de economia de escala no sistema de produção de cana-de-açúcar. Ao se analisar a curva de distribuição da área cultivada com cana e o número de propriedades, verifica-se uma grande concentração ao redor de 7.000 ha (Figura 13).

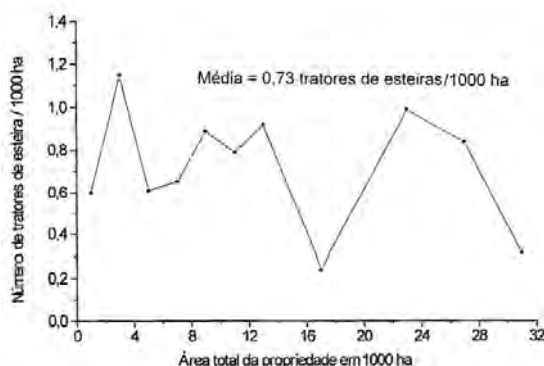
É interessante notar o número elevado de arados de arrasto (43%) e de colhedoras de cana inteira (27%), na atualidade praticamente inexistentes (rodapé da Tabela 1).

## Conclusões

Todos os coeficientes de correlação significativos mostraram uma diminuição do “número de máquinas e implementos por 1000 ha” com o aumento da área cultivada: tratores de pneus, grades, arados, sulcadores, carregadoras e cultivadores. Portanto, com o aumento da área maximiza-se o uso da maquinaria pela redução do número de equipamentos por unidade de área, conclusão válida para a época.



**Figura 1 -** Número de tratores de pneus



**Figura 2 -** Número de tratores de esteira

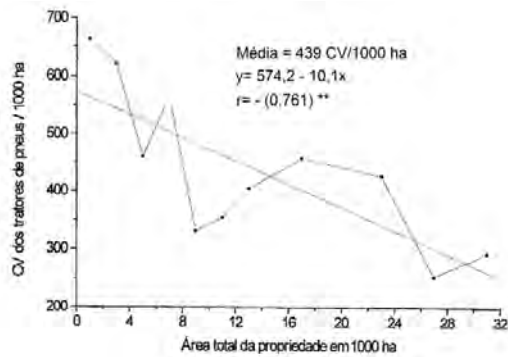


Figura 3. CV de tratores de pneus

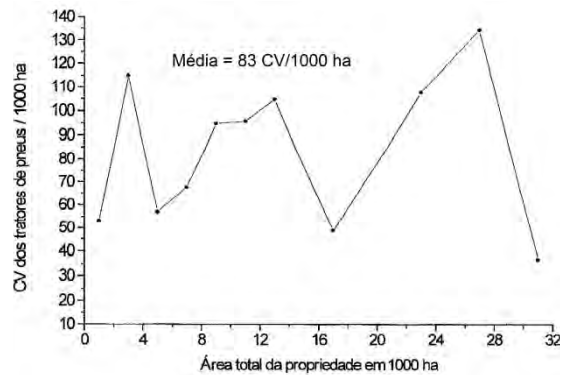


Figura 4. CVT de tratores de esteira

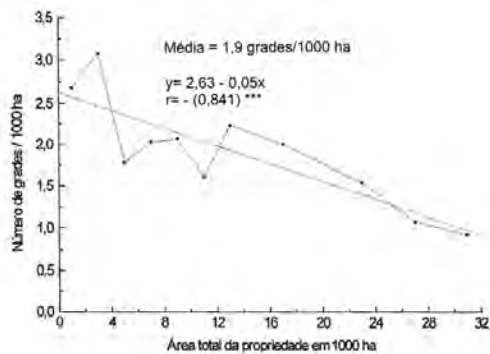


Figura 5. Número de Gradas

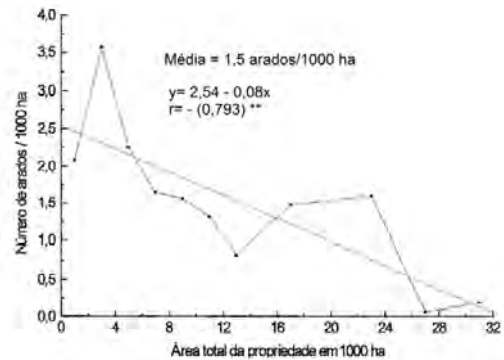


Figura 6. Número de arados

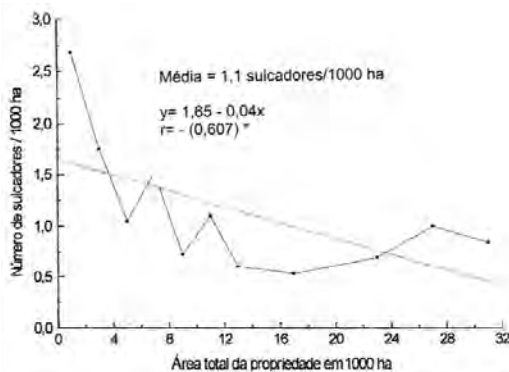


Figura 7. Número de sulcadores

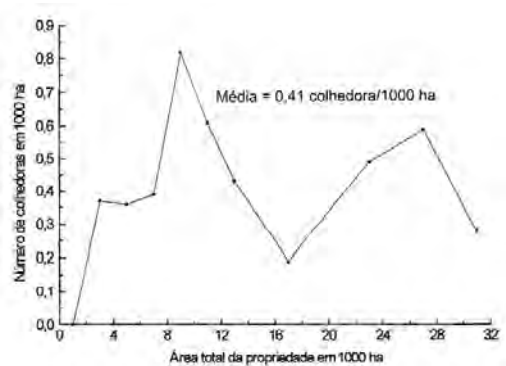


Figura 8. Número de colhedoras

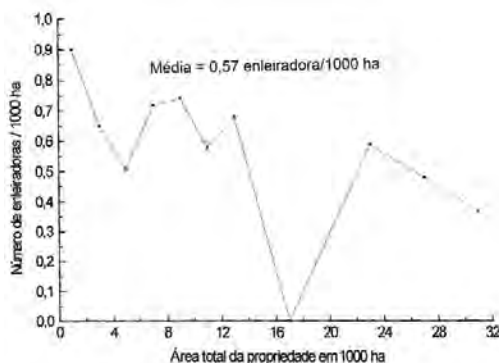


Figura 9. Número de enleiradoras

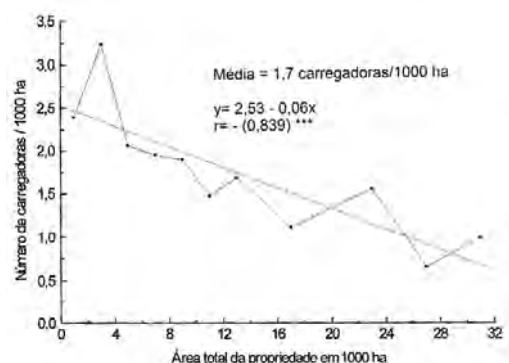


Figura 10. Número de carregadoras

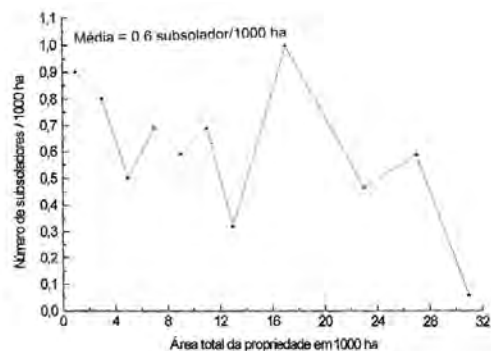


Figura 11. Número de subsoladores

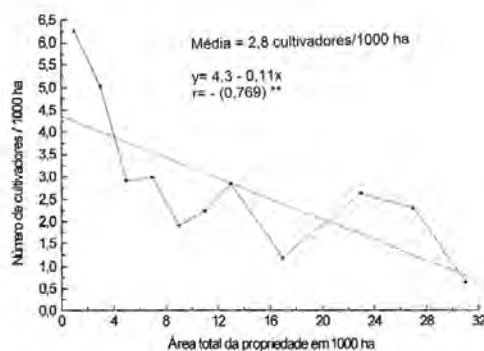


Figura 12. Número de cultivadores

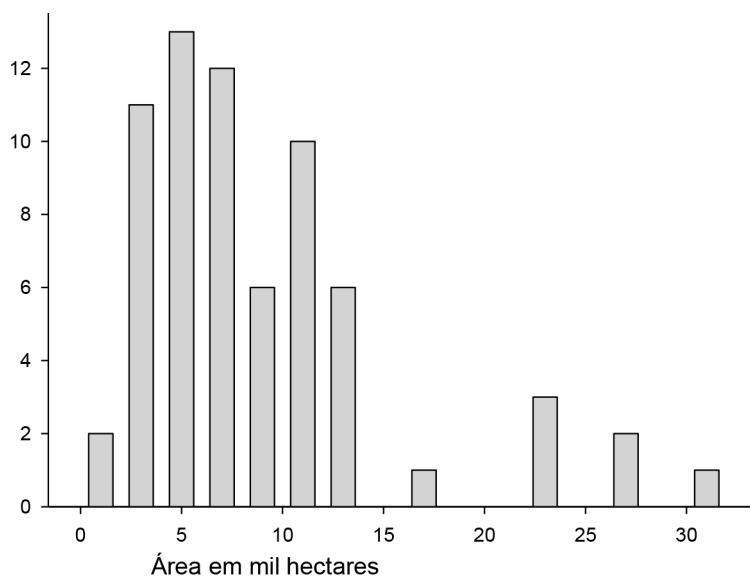


Figura 13. Número de unidades produtoras de açúcar e álcool em intervalos de 2 em 2 mil ha

### Referências Bibliográficas

- AMATO NETO, J. A indústria de máquinas agrícolas no Brasil: origens e evolução. *Rev. adm. empres.*, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 57-69, set. 1985. Doi <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-75901985000300005>>.
- BELIK, W. A tecnologia em um setor controlado : o caso da agroindústria canieira em São Paulo. *Cad. Dif. Tecnol.*, Brasília, v. 2, p. 99-136, 1985. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/viewFile/9250/5284>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- CÉLERES – Consultoria. O setor de máquinas agrícolas no Brasil: evolução nos últimos anos e perspectivas. CÉLERES – Consultoria., novembro, 2014. [WWW.celeres.com.br/o-setor-de-maquinas-agricolas-no-brasil-evolucao-nos-ult...](http://www.celeres.com.br/o-setor-de-maquinas-agricolas-no-brasil-evolucao-nos-ult...)
- COPERCANA – Cooperativa dos Plantadores de Cana do Oeste do Estado de São Paulo. Histórico; Diretoria. Disponível em: <<http://www.copercana.com.br/index.php?xvar=ver-noticias&id=251>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- COSENTINO, R. M. A. **Modelo empírico de depreciação para tratores agrícolas de rodas**. 2004. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- FERREIRA, M. J. B. A indústria brasileira de tratores agrícolas e colheitadeiras: as estratégias de suas empresas em desenvolvimento de vantagens competitivas. 1995. 120 (Mestrado em Economia). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. [ Links ]
- FONSECA, M. D. G. D. Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas. 1990. 268 (Doutorado). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo. [ Links ]
- MICHELLON, E.; SANTOS, A. A. L.; RODRIGUES, J. R. A. Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia, 46, 1-16 p., 2008. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/574.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- PORTO, G. Estudo foi levado a Geisel em 1974. São Paulo. Estadão, 20 de novembro de 2010. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,estudo-foi-levado-a-geisel-em-1974-imp-,642596>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Texto Administrator, Nov., 2010. Disponível em: <[http://www.stab.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=4](http://www.stab.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=4)>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- STOLF R.; OLIVEIRA, A. P. R. O programa nacional do álcool, PRÓÁLCOOL – breve histórico década a década do etanol no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 10, 2016. Ribeirão

Preto, **Anais**... Ribeirão Preto: STAB, 2016. 12p.

STOLF, R. Grades agrícolas: 4 - Nova classificação quanto à função no preparo do solo. *ALCOOLbrás*, v. 9, p. 69-72, 2007, Disponível em: <[www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar.htm](http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar.htm)> , Acessos em: 21 abr. 2016.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE JUNIOR, A. M.; BARICELO, L. G.; SILVA, R. P. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília , v. 51, n. 4, p. 719-744, dez. 2013 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-20032013000400006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032013000400006&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em: 21 abr. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032013000400006>



# IRRIGAÇÃO E FBN

## ACÚMULO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS NA REGIÃO DO CERRADO

V. B. Bufon<sup>1</sup>, N. C. Marcante<sup>2</sup>, J. M. dos Santos<sup>3</sup>, R. Z. Sousa<sup>4</sup>, R. S. Santos<sup>5</sup>, I. C. Rosa<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Doutor, Pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília, DF

<sup>2</sup>Doutor, Pós-doutorando, Embrapa Cerrados, Brasília, DF

<sup>3</sup>Mestrando, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

<sup>4</sup>Supervisor de desenvolvimento agrônomo na COFCO Agri, Votuporanga, SP

<sup>5</sup>Graduando em agronomia, estagiário, Embrapa Cerrados, Brasília, DF

<sup>6</sup>Graduando em gestão do agronegócio, estagiário, Embrapa Cerrados, Brasília, DF

*vinicius.bufon@embrapa.br*

### Resumo

O cultivo da cana-de-açúcar tem se expandido para o Cerrado brasileiro. No entanto, pouco se sabe sobre os valores de produção e particionamento da biomassa de cana-de-açúcar quando submetida a diferentes regimes hídricos nessa região. Partindo da premissa que esse tipo de informação é de extrema importância para parametrização de modelos de crescimento de cana-de-açúcar, e auxilia nas tomadas de decisões sobre as estratégias de irrigação, esse trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biomassa e partição da biomassa da cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídrico na região do Cerrado brasileiro. Os tratamentos foram compostos por cinco regimes hídricos, (i) sequeiro; (ii) 25%; (iii) 50%; (iv) 75% e (v) 125% de reposição da demanda de irrigação e duas cultivares (CTC18 e RB966928). Foram avaliadas a produção total de biomassa e o particionamento da biomassa em componentes biométricos, tais como folha verde, folha seca, palmito e colmo. Os resultados indicaram que os regimes hídricos tiveram efeitos significativos sobre a produção de biomassa. O regime hídrico de 75% da demanda de irrigação foi o que proporcionou maior acúmulo de matéria seca de todos os componentes. A cultivar RB966928 foi mais responsiva à irrigação.

**Palavras-chave:** irrigação; eficiência de utilização de água; acumulação produtiva; produtividade de colmo.

### Summary

The cultivation of sugarcane has been expanding for the Brazilian Cerrado. However, little is known about the production values and partitioning of biomass sugarcane when subjected to different water regimes in the Cerrado region. Assuming that this information is very important for parameterization of growth models and help in decision making on irrigation strategies the aim of this study was evaluate the sugarcane biomass yield and its partition under different water regimes in the Brazilian Cerrado region. The treatments were five water regimes: (i) rainfed; (ii) 25%; (iii) 50%; (iv) 75% and (v) 125% of replacement demand for irrigation and two sugarcane cultivars (CTC18 e RB966928). The traits, total biomass yield, green leaves yield, dry leaves yield, shoot apical meristem yield and stalk yield were evaluated. The results showed that total biomass yield was affected by the treatments. The water regime of 75% of irrigation demand provided high biomass yield of sugarcane. The cultivar RB966928 was the high water response compared to CTC18.

**Keywords:** irrigation; water use efficiency; yield accumulation; stalk yield

### Introdução

Para definição e análise de estratégias de manejo da irrigação de cana-de-açúcar, estudos de zoneamento e avaliação de potencial agrônomo e econômico em diferentes regiões fazem-se, muitas vezes, experimentos de campo submetendo essa cultura aos diferentes cenários produtivos. Contudo, esse processo é demorado e dispendioso para ser realizado em todos os possíveis cenários. Por isso, ferramentas de modelagem, que simulam o crescimento, desenvolvimento e estimam o potencial produtivo das culturas são fundamentais, seja para o simples entendimento do comportamento da cultura em um dado cenário, para o zoneamento agroclimático, ou mesmo para analisar as estratégias e sistemas de produção de maior potencial que deverão ser testados a campo (Inman-Bamber & Smith, 2005). Quando bem parametrizado e calibrado, os modelos são fundamentais para o governo e produtores rurais (Heinemann *et al.*, 2002). Dentre os parâmetros necessários, no caso da cana-de-açúcar, os parâmetros mais importantes que precisam ser coletados são aqueles relativos ao acúmulo e partição da biomassa em seus componentes de produção. Preferencialmente, essa parametrização precisa ser realizada para cada cultivar, e para cada sistema de produção.

Sendo assim, sabendo da importância de se gerar informação sobre a curva de acúmulo e partição de biomassa de cultivares de cana-de-açúcar cultivadas na região do Cerrado brasileiro, o objetivo desse trabalho foi avaliar o acúmulo e partição da biomassa da cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos.

### Material e Métodos

#### Local e cultivares

O experimento de campo foi conduzido na região do Cerrado brasileiro, no município de Goianésia – GO, na área experimental da usina Jalles Machado (15° 12' S; 48° 59' W; 580 m). O experimento foi conduzido durante ciclo de cana planta (CP). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Álico (Embrapa, 2013), e suas características químicas e hídricas estão apresentadas na Tabela 1. O clima da região foi classificado como Koppen Aw Savanna tropical, com período de déficit hídrico bem definido entre Abril e Outubro. As cultivares utilizadas foram a CTC18 e RB966928.

**Tabela 1.** Características químicas, físicas e hidrológicas do solo.

Profundidade	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Al+H	D <sup>1</sup>	CC <sup>2</sup>	PMP <sup>3</sup>
		g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>	%
0-20 cm	5,5	2,0	28,6	102,0	2,9	0,9	0,1	3,0	1,07	22,8	10,8
20-40 cm	4,7	1,5	8,9	43,8	1,2	0,5	0,8	3,8	0,97	21,3	10,6
40-60 cm	4,7	1,4	2,1	27,8	0,9	0,4	0,9	3,3	0,94	21,3	9,4

<sup>1</sup> densidade do solo; <sup>2</sup> capacidade de campo; <sup>3</sup> ponto de murcha permanente

### Preparo do solo, adubação e plantio

Para o preparo do solo foram realizadas subsolagem, calagem, gessagem e fosfatagem, além da adubação de plantio a lanço na superfície do solo. Baseado em análise do solo, foram aplicados 4.000, 5.120, 63, 189, 87, 3, 3 e 5 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, gesso agrícola, N, P, K, Cu, Mn, Zn, respectivamente. Em seguida, utilizou-se uma grade de aiveca para incorporar os corretivos e fertilizantes a 40 cm de profundidade, e seguiu-se com gradagem média e uma gradagem niveladora. Após a colheita da soja, outra gradagem niveladora foi realizada antes da sulcagem para plantio a cana-de-açúcar.

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado em 27/05/2012. Foram aplicados no fundo do sulco de todas as parcelas adicionais de 75, 77, 182, 2, 2, 3, 4, 0.15 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Cu, Mn, Zn, B e Mo, respectivamente. Afim de garantir uma germinação uniforme, foram aplicados 100 mm de irrigação parcelados em três aplicações, aos 6 dias após plantio (DAP) (40 mm), 24 DAP (40 mm) e 45 DAP (20 mm). Foram realizadas ainda duas adubações de cobertura (150 e 210 DAP), totalizando 198, 16, 100 e 6 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K e B, respectivamente.

### Tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. Sendo cinco regimes hídricos e duas cultivares. Os regimes hídrico foram impostos como (i) sequeiro; (ii) 25%; (iii) 50%; (iv) 75% e (v) 125% de reposição da demanda de irrigação. As lâminas de irrigação aplicadas em cada tratamento do experimento estão apresentadas na (Figura 1). O regime hídrico real imposto a cada tratamento, expresso em valor de percentual de satisfação da evapotranspiração potencial da cultura (% ETpc) estão descritos na (Figura 2). A parcela experimental foi composta por 8 linhas, 12 m de comprimento com um espaçamento de 1,5 m entrelinhas. A área útil de cada parcela foram as 6 linhas centrais e os 9 m centrais de cada linha.

### Balanço Hídrico

O balanço hídrico em cada tratamento foi realizado considerando os fluxos diários de água no solo conforme descrito na equação: CAD=P+Irr-ETr-Esc-Perc.

Onde: CAD = água disponível para a cultura na zona radicular; P = precipitação; Irr = irrigação; ETr = evapotranspiração real; Esc = escoamento superficial, que é a porção da chuva e da irrigação que não consegue infiltrar e escoar sob a superfície do solo para fora da lavoura, corretores ou cursos d'água; Perc = percolação profunda, que é a porção da água que entra no solo, mas é levada por força gravitacional para baixo da zona radicular, onde a planta não consegue extraí-la. A precipitação diária foi medida através de pluviômetros digitais (Irri-plus - P300 - IRRIPLUS Equipamentos) com precisão de 0,33 mm, distribuídos na área experimental, adotando-se a média dos valores registrados diariamente nos pluviômetros como valor de entrada no balanço hídrico.

A demanda hídrica da cultura foi estimada através da metodologia descrita por ALLEN *et al.* (1998) para cálculo da evapotranspiração real da cultura (ETr) sob condições de estresse hídrico, com a evapotranspiração de referência (ETo) sendo calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998).

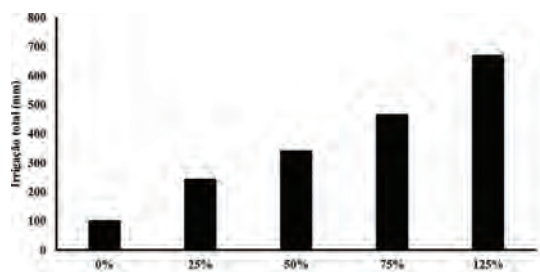
### Manejo da Irrigação

As irrigações foram realizadas através de um sistema de aspersão autopropelido com barra irrigadora. Para garantir aplicação precisa da lâmina desejada, utilizou-se emissores tipo LEPA (Low Energy Precision Application) (Senninger Quadspray Inc.) com reguladores de pressão e emissor para cada linha de plantio. A altura dos emissores era regulada para possibilitar molhamento da área total do espaçamento de plantio.

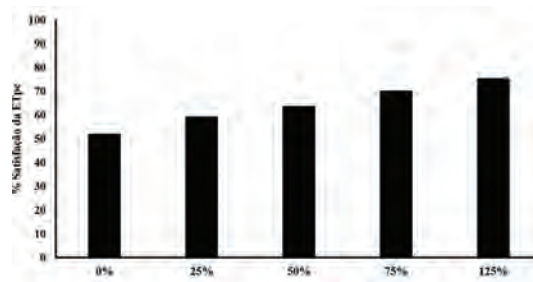
### Avaliações

Os parâmetros biométricos foram avaliados no momento da colheita em maio de 2013. Foram colhidos quatro metros lineares de colmo da área útil de cada parcela. As amostras coletadas no campo foram fracionadas em folha verde, folha seca, palmito e colmo, pesadas e subamostras foram retiradas e acondicionadas em sacos plásticos. Essas amostras subamostras foram transferidas para saco de papel e levadas ao laboratório para secagem por 72 horas à 60 °C. Posteriormente as amostras foram pesadas em balança analítica.

**Figura 1.** Quantidade total de irrigação aplicada nos tratamentos de 0, 25, 50, 75 e 125% da demanda de irrigação.



**Figura 2.** Percentual de satisfação da evapotranspiração potencial (%ETpc) nos regimes hídricos de 0, 25, 50, 75 e 125% da demanda de irrigação.



### Análise Estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para diferenciação dos tratamentos, considerando que houve diferença significativa quando a probabilidade foi menor que 5% ( $p < 0.05$ ). Análise de regressão foi realizada para verificar o efeito dos regimes hídricos sobre a produção de biomassa para cada cultivar.

### Resultado e Discussão

Como o regime hídrico aplicado durante o ciclo da cana-de-açúcar foi definido em função da demanda hídrica da cultura por irrigação, que por sua vez dependia da demanda climática e oferta de precipitação, os tratamentos nominais de 0, 25, 50, 75 e 125% de reposição da demanda de irrigação representaram, no final do ciclo da cana-de-açúcar, diferentes valores de percentual de satisfação da evapotranspiração potencial %ETpc.

No regime hídrico mais deficitário, ou seja, no tratamento de sequeiro, a precipitação ocorrida no ano agrícola de 2012/13 foi suficiente para atender entre 52 % da ETpc (Figura 2). Para o regime hídrico mais intenso, ou seja, com reposição de 125% da demanda de irrigação, a baixa frequência de irrigação, típica para sistemas de aspersão como o utilizado nestes experimentos, implicava em um turno de rega mínimo de 4 dias. Esta limitação de frequência de irrigação associada aos valores de fator de disponibilidade hídrica adotados no manejo da irrigação, limitou os regimes hídricos a valores de %ETpc máximo de 75 % (Figura 2).

Houve efeito significativo do regime hídrico e cultivar sobre as variáveis folha verde, folha seca, colmo (Tabela 2). A variável palmito foi influenciada significativamente somente pelo efeito cultivar (Tabela 2). Já quando se fez a soma total de todos os parâmetros biométricos, observou-se que somente o efeito regime hídrico que influenciou significativamente, não havendo diferença entre as duas cultivares (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análise de variância para o efeito regime hídrico e cultivar na produção de matéria seca da folha verde, folha seca, palmito e colmo e a soma total de todos os parâmetros biométricos de duas cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes regimes hídricos.

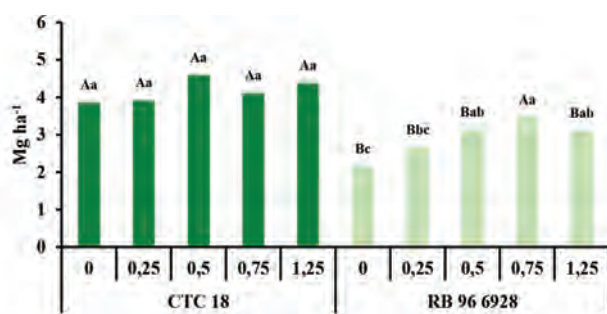
Efeito	G.L.	Quadrado Médio				
		FV	FS	Palmito	Colmo	Total
Regime hídrico (RH)	4	1,14**	5,36**	0,018 <sup>ns</sup>	17,40*	55,10**
Cultivar (C)	1	16,38***	37,44***	0,55**	32,40*	34,22 <sup>ns</sup>
RH x C	4	0,33 <sup>ns</sup>	4,90*	0,11 <sup>ns</sup>	11,90 <sup>ns</sup>	313,75
Erro	30	0,30	1,31	1,73	5,38	

\*, \*\*, \*\*\* significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade; ns não significativo

Na região do Cerrado, onde está ocorrendo maior expansão canavieira, há problemas com a distribuição das chuvas, apresentando um longo período de seca. A irrigação é vista como uma alternativa para suprir o déficit hídrico enfrentado pela cultura, e, consequentemente viabilizar e aumentar a produtividade (ARANTES, 2012). A importância de um bom manejo da irrigação na cana-de-açúcar gerar informações quanto ao seu impacto no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, o que permitirá selecionar cultivares mais eficientes na conversão dessa disponibilidade hídrica em biomassa.

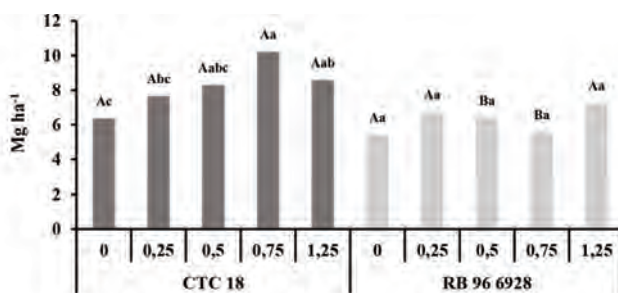
Na (Figura 3), observa-se claramente o efeito dos regimes hídricos na produção de biomassa da folha verde, sendo mais evidente na cultivar RB966928, no qual o tratamento 75% da demanda por irrigação proporcionou maior acúmulo de biomassa nas folhas verdes. Comparando as cultivares dentro de cada tratamento, observa-se que houve superioridade da cultivar CTC18, apresentando maior acúmulo de biomassa de folha verde em todos os regimes hídricos (Figura 3). Tal resultado pode estar associado ao porte mais ereto da cultivar CTC18, o que lhe permite maior distribuição da radiação através do seu dossel, permitindo a maior produção de folha verde. De acordo com APPELT *et al.* (2011), a irrigação proporcionou maior produção de folha verde na cana-de-açúcar do que o sistema de produção de sequeiro, e que houve diferenciação entre as cultivares utilizadas em relação ao maior aproveitamento da água disponibilizada pela irrigação em conversão em folha verde.

**Figura 3.** Matéria seca da folha verde de duas cultivares (CTC18 e RB966928) em diferentes regimes hídricos. Letras maiúsculas comparam as cultivares, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro do mesmo cultivar. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



Para a produção de biomassa de folhas secas, houve diferença significativa entre os tratamentos somente para a cultivar CTC18, sendo que os tratamentos de 50, 75 e 125% da demanda por irrigação foram os que proporcionaram maior produção de folhas secas. Para a cultivar RB966928 não houve diferença estatística entre os regimes hídricos (Figura 4). Já comparando as cultivares dentro de cada regime hídrico, observa-se que houve diferença significativa entre elas somente nos tratamentos 50 e 75% da demanda de irrigação, sendo que a cultivar CTC18 foi superior a RB966928 (Figura 4). Esses resultados indicam que regimes hídricos acima de 75% da demanda por irrigação há um excesso de água aplicada ao solo, ocasionando a diminuição da capacidade da cultura de cana-de-açúcar em acumular biomassa. Contudo, baseado nos resultados deste experimento, não é possível afirmar que há, de fato, tendência de aumento da biomassa de folha seca proporcionalmente ao melhor atendimento da necessidade hídrica da cultura para a cultivar RB966928 (Figura 4).

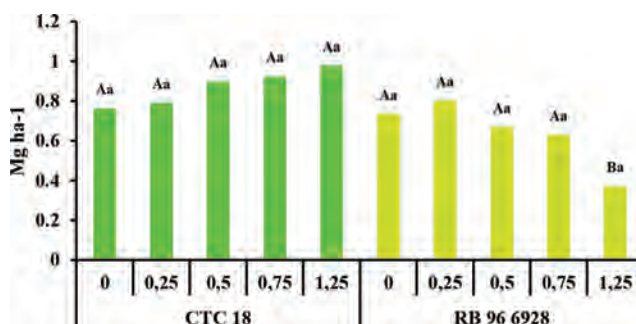
**Figura 4.** Matéria seca da folha seca de duas cultivares (CTC18 e RB966928) em diferentes regimes hídricos. Letras maiúsculas comparam as cultivares, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro do mesmo cultivar. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



Naturalmente, sabe-se que cultivares que diferem quanto ao material genético de origem, fisiologia e arquitetura de crescimento, podem apresentar diferença quanto a resposta do aumento da disponibilidade hídrica. Esses resultados são visíveis ao comparar o acúmulo de biomassa das cultivares CTC18 e RB966928.

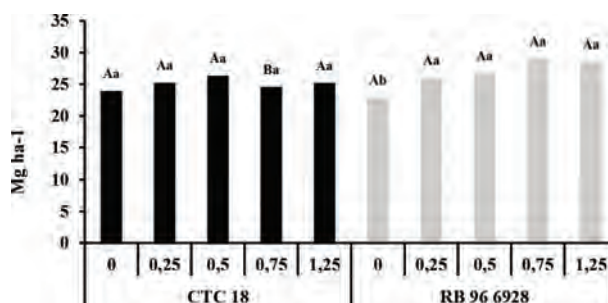
Na (Figura 5) está apresentado os resultados de produção de palmito, observa-se que para a cultivar CTC18, não houve diferença entre os regimes hídricos, e que para a cultivar RB966928, somente o regime hídrico de 125% da demanda da irrigação foi inferior na produção de palmito em relação aos demais regimes hídricos. Comparando as duas cultivares dentro de cada regime hídrico, houve diferença estatística somente no regime hídrico de 125%, onde a cultivar CTC18 foi superior a RB966928 (Figura 5).

**Figura 5.** Matéria seca do palmito de duas cultivares (CTC18 e RB966928) em diferentes regimes hídricos. Letras maiúsculas comparam as cultivares, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro do mesmo cultivar. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



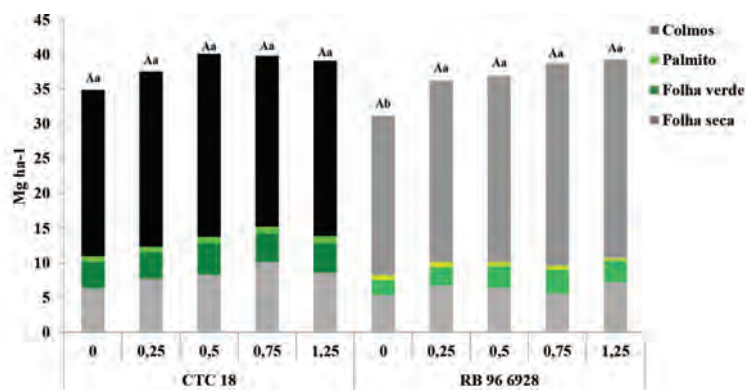
No regime hídrico de 75% da demanda por irrigação, houve diferença significativa entre as duas cultivares para produção de biomassa de colmos (Figura 6). A cultivar RB966928 produziu mais colmos quando comparada com a CTC18 (Figura 6). Comparando os regimes hídricos dentro da mesma cultivar, houve somente diferença significativa entre o regime de sequeiro com os demais regimes hídricos para a cultivar RB966928 (Figura 6).

**Figura 6.** Matéria seca dos colmos de duas cultivares de cana-de-açúcar (CTC18 e RB966928) em diferentes regimes hídricos. Letras maiúsculas comparam as cultivares, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro do mesmo cultivar. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



Na (Figura 7), mostra-se o acúmulo total de biomassa, resultante do somatório de todos os componentes analisados, folha verde, folha seca, palmito e colmo, além de demonstrar a porcentagem que cada componente representa na soma total da biomassa. Não houve diferença estatística entre os regimes hídricos, exceto o regime hídrico de sequeiro, que foi inferior aos demais na cultivar RB966928 (Figura 7). Para a produção total de biomassa, as duas cultivares não diferiram entre si em nenhuma regime hídrico (Figura 7). Pode-se notar para as duas cultivares que o colmo é o responsável pela maior porcentagem da biomassa total, seguido pela folha seca, folha verde e palmito (Figura 7). A cultivar CTC18 atingiu o platô aparentemente com o nível de 50% da demanda de irrigação, enquanto cultivar RB 96 6928 atingiu o máximo acúmulo de biomassa com 75% de atendimento da demanda de irrigação (Figura 7).

**Figura 7.** Partição da matéria seca duas cultivares de cana-de-açúcar (CTC18 e RB966928) em diferentes regimes hídricos. Letras maiúsculas comparam as cultivares, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro do mesmo cultivar. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



## Conclusão

Os regimes hídricos tiveram efeitos positivos na produção de biomassa dos componentes folha verde, folha seca e colmos, além de influenciar significativamente na produção total de biomassa da cana-de-açúcar. Houveram diferenças entre as duas cultivares de cana-de-açúcar quanto a responsividade ao incremento da satisfação hídrica. Nas condições de Cerrado onde foram realizados os estudos, as duas cultivares foram responsivas ao incremento da satisfação hídrica através da irrigação, sendo que a cultivar RB966928 foi a mais responsiva. O regime hídrico de 75% da demanda de irrigação foi o que proporcionou maior acúmulo de matéria seca de todos os componentes avaliados.

## Referências Bibliográfica

- APPELT, M. F.; DRUMOND, L. C. D.; ANDRADE, A. S.; MOREIRA, D. D.; RABELO, D. M. L.; COSTA, R. M. Rendimento de massa verde e Brix de diferentes variedades de cana de açúcar sob condições de sequeiro e de irrigação complementar na região do Alto Paranaíba, MG. **IV CONGRESSO DE FORRAGICULTURA E PASTAGEM**. Paranaíba- MG. p. 2-3, 2011.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M.. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 300p. 1998 (FAO. Irrigation and Drainage Paper, n.56).
- ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigados e sequeiros**. 2012. 65 p. Tese. (M. Sc. Agronomia-agricultura). Universidade Estadual Paulista, UNESP. Botucatu. 2012.
- CORDEIRO, A. Etanol para alimentar carros ou comida para alimentar gente? In: PLATAFORMA BNDES. **Impactos da indústria canieira no Brasil: poluição atmosférica, ameaça a recursos hídricos, riscos para produção de alimentos, relações de trabalho**

**atrasadas e proteção insuficiente à saúde de trabalhadores.** Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas, 2008. Cap. 1, p. 9-22. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; FARIA, R. T. de. Determination of spatial water requirements at country and regional levels using crop models and GIS. An example for the state of Parana, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.52, n.2, p.177-196, jul/ago. 2002.

INMAN-BAMBER, N.G., SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**. v. 92, n.1, p. 185–202, jul/ago. 2005.

MIRANDA, J. R. **História da cana-de-açúcar.** Campinas, Komedi, 2008.167p.

RIPOLI, T. C.C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDI, D. V. I.; YOSHIRO, B. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte.** Piracicaba, Ripoli, 2006, 216p.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, jan. 2012.

## PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM DIFERENTES DOSES DE N E INOCULADAS COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

William José Dellabiglia<sup>1</sup>; Glauber José de Castro Gava<sup>2</sup>; Carlos Alberto Aparecido Mendonça Júnior<sup>1</sup>; Adolfo Bérnago Arlanch<sup>1</sup>; Valmira Celina de Souza Cruzeiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, FCA/Botucatu, SP

<sup>2</sup>APTA, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Jaú, SP

wjdellabiglia@gmail.com

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da inoculação de bactérias diazotróficas e da fertilização nitrogenada na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (cana-planta), nos manejos: irrigado por gotejamento subsuperficial e de sequeiro. O experimento foi conduzido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da APTA, no município de Jaú, SP, (22°17' S 48°34' O, em Latossolo Vermelho). A variedade de cana-de-açúcar foi a RB92579. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI), 2 manejos de inoculação: com inoculação (CD) e sem inoculação (SD) com bactérias diazotróficas (BDs); e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições. O experimento teve duração de 365 dias, quando então foram realizadas as análises tecnológicas e determinou-se a produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH). A cana-de-açúcar elevou sua produtividade com a elevação das doses de nitrogênio. Nos tratamentos irrigados essa elevação foi maior comparando-se com os tratamentos não irrigados.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.*; gotejamento subsuperficial; adubação nitrogenada; fixação biológica do nitrogênio.

### Summary

The objective of this study was to evaluate the efficiency of inoculation with diazotrophic bacteria and nitrogen fertilization on yield and technological quality of sugarcane (cane plant), in the managements: irrigated by subsurface drip and rainfed. The experiment was conducted at Research Unit Hélio de Moraes, of APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) in the municipality of Jaú, SP, (22° 17' S 48° 34' O, Rhodic). The variety of sugarcane was RB92579. The experimental design was randomized blocks, composed by factorial of two irrigation management systems: irrigated (I) and non-irrigated (NI); and two inoculation management: with inoculation (CD) and without inoculation (SD) with BDs; and 4 availability levels of nitrogen (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compound thus 16 treatments with 4 replications. The experiment lasted 365 days when then the technological analysis were performed and determined the cane yield (TCH) and sugar yield (TPH). The sugarcane raised its productivity with rising nitrogen levels. In irrigated treatments this increase was higher compared with non-irrigated treatments.

**Keywords:** *Saccharum spp.*; subsurface drip; nitrogen fertilization; nitrogen biological fixation.

### Introdução

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), a área plantada para a safra 2015/16 é de 9,05 milhões de hectares, 0,6% maior que a da safra anterior 2014/15; a produção total de cana-de-açúcar destinada à indústria, estimada para a safra 2015/16 é de 663,11 milhões de toneladas, com acréscimo de 4,5% (28,3 milhões de toneladas) em relação à safra 2014/15. A produtividade média estimada para a safra 2015/16 é de 73,2 t ha<sup>-1</sup>.

A produtividade da cana-de-açúcar está diretamente ligada à disponibilidade hídrica do solo, uma vez que a água é um fator limitante ao crescimento e é fundamental à fotossíntese (RHEIN, 2013).

A cana-de-açúcar é uma cultura que apresenta certa tolerância ao estresse hídrico, porém, responde altamente a irrigação (SINGH *et al.*, 2007). Nesse cenário, a irrigação tem por objetivo suprir a necessidade hídrica das plantas, tornando-se uma ferramenta importante para anular os efeitos negativos da escassez de água, porém ainda pouco utilizado no Brasil em relação aos outros países produtores (RHEIN, 2013).

A cana-de-açúcar tem alta demanda de nutrientes, com destaque para o nitrogênio (SIMÕES-NETO *et al.*, 2009). A adubação nitrogenada está relacionada à brotação e perfilhamento do canavial, possuindo papel fundamental no desenvolvimento e potencial produtivo da cultura (CASAGRANDE, 1991; KORNDÖRFER; MARTINS, 1992).

BODDEY *et al.* (1995) relatam que algumas gramíneas, entre elas a cana-de-açúcar, podem ser beneficiadas, obtendo parte do nitrogênio exigido à partir da fixação biológica do nitrogênio, promovida por bactérias diazotróficas encontradas em tecidos vegetais. Alguns experimentos a campo com inoculação de bactérias diazotróficas indicam a ocorrência de efeito promotor de crescimento (produção do AIA), que pode beneficiar a produção de cana-de-açúcar, porém não comprovam a hipótese de que a fixação possa substituir a adubação nitrogenada (CANTARELLA *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2013; SCHULTZ *et al.*, 2014).

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da inoculação de bactérias diazotróficas e da fertilização nitrogenada na produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta), nos manejos: irrigado por gotejamento subsuperficial e de sequeiro.

### Materiais e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), no município de Jaú - SP, coordenadas geográficas: latitude 22° 17' S, longitude 48° 34' O e altitude média de 580 m, em relação ao oceano. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006) de textura média. O clima predominante na região, de acordo com a classificação de Köppen é o Aw, com clima seco definido e média pluviométrica de 1.300 mm, com distribuição irregular.



O delineamento experimental foi composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI); 2 manejos de inoculação: com (CD) e sem (SD) inoculação com bactérias diazotróficas, e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha<sup>-1</sup> de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições, totalizando 64 parcelas. Cada parcela era formada por quatro sulcos de 8 metros de comprimento, com plantio em linha dupla (ou em "W"), espaçamento de 1,80 m entre as linhas duplas e 0,4 m entre linhas de cana, e sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, para os tratamentos irrigados.

A precipitação total ocorrida durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (outubro/2013 a outubro/2014) foi de 980,2 mm, e a lâmina de água aplicada ao longo do ciclo, por meio da irrigação foi de 563,4 mm, repondo 100% da evapotranspiração da cultura (ETC), segundo o método de Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004). A deficiência hídrica calculada para o período foi de 352,5 mm.

Com base nos resultados da análise química do solo da área, realizou-se a adubação no fundo do sulco para todos os tratamentos, aplicando-se uma dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de Super Simples correspondendo a 88 kg de P e 24 kg de S. Uma única dose de potássio foi atribuída a todos os tratamentos, 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (KCl). Nos tratamentos irrigados, os fertilizantes (ureia + KCl) foram distribuídos ao longo do desenvolvimento da cultura por meio de fertirrigação. Para os tratamentos não irrigados, os fertilizantes nitrogenados, (ureia e nitrato de amônio) e o cloreto de potássio foram aplicados fracionadamente, sendo uma aplicação de 50% (ureia + KCl) da dose no plantio junto com o fósforo no sulco de plantio e mais uma aplicação de 50% (nitrato amônio + KCl) da dose, aos 30 DAP; realizadas abrindo-se pequenos sulcos laterais à linha de plantio com enxada, que foram rapidamente fechados evitando-se assim possíveis perdas de N por volatilização.

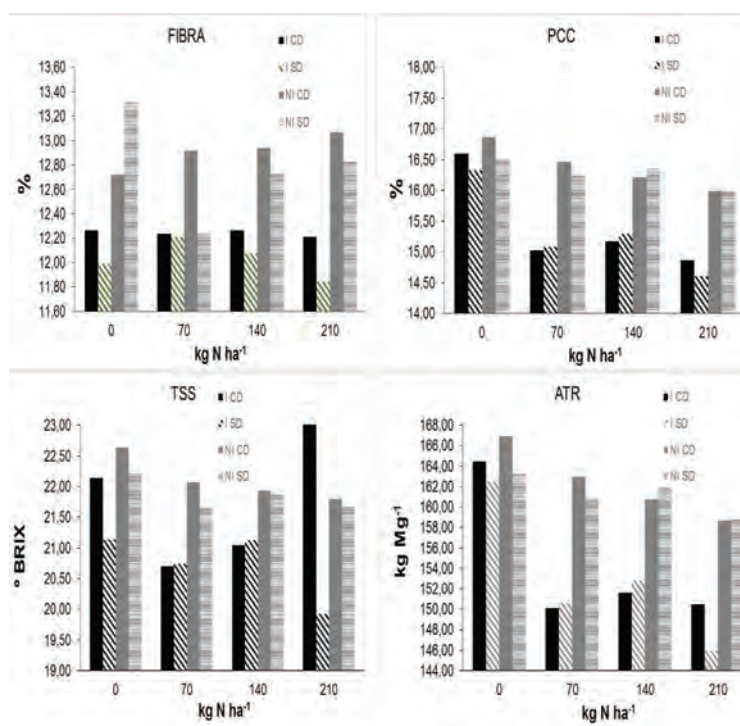
As bactérias utilizadas no experimento foram selecionadas pela Embrapa Agrobiologia, isoladas da própria cana, foram: *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Burkholderia tropica* (BR 11366) e *Azospirillum amazonense* (BR 11145). Seguindo a metodologia de Reis et al. (2009), as estirpes foram misturadas em 1000 L de água e, os toletes de cana-de-açúcar a serem plantados, ficaram em suspensão por 1 hora nessa solução. No dia do plantio a temperatura média era de 20 °C e a umidade relativa média era de 70%.

Na colheita final, aos 365 DAP, foram determinadas a produtividade de colmos (TCH) (Mg ha<sup>-1</sup>) e de açúcar (TPH) (Mg ha<sup>-1</sup>) e realizadas as análises qualitativas da cana segundo método descrito por Caldas (1998) e Consecana (2003).

## Resultados e Discussão

Na colheita final, aos 365 DAP, realizou-se a análise tecnológica da cana-de-açúcar em todas as parcelas do experimento; os valores das variáveis tecnológicas: fibra; teor de sólidos solúveis (TSS), teor de sacarose aparente (PCC) e açúcar total recuperável (ATR) estão apresentados na (figura 1). Observa-se efeito significativo dos manejos nas variáveis fibra, teor de sacarose aparente e ATR, sendo que no manejo irrigado foram encontrados valores menores comparado ao manejo não irrigado; a variável teor de sólidos solúveis não apresentou diferença estatística entre os manejos de irrigação.

**Figura 1.** Evolução das variáveis Fibra, Teor de sólidos solúveis (TSS), teor de sacarose aparente (PCC) e açúcar total recuperável (ATR), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.



A média dos valores no manejo irrigado foi de 12,14% para fibra; 21,24% para o teor de sólidos solúveis; 15,37% para o teor de sacarose aparente e 153,58 kg Mg<sup>-1</sup> cana para açúcar total recuperável; enquanto que no manejo a média foi de 12,85% para fibra; 21,98% para o teor de sólidos solúveis; 16,33% para o teor de sacarose aparente e 161,76 kg Mg<sup>-1</sup> cana para açúcar total recuperável.

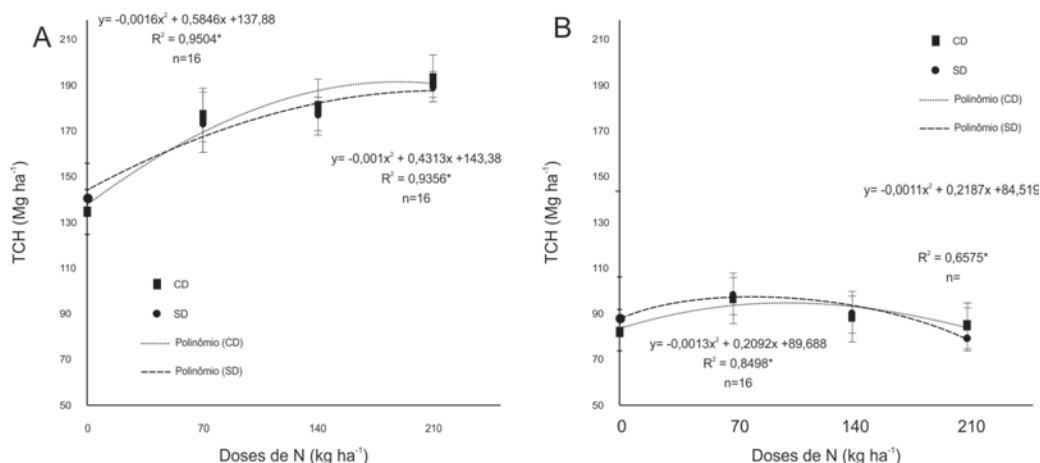
As doses de nitrogênio aplicadas interferiram nas variáveis TSS, PCC e ATR, percebe-se que a elevação da dose de nitrogênio ocasionou redução dessas variáveis. Segundo FRANCO (2008), a adubação nitrogenada promove maior crescimento vegetativo, resultando em plantas com alto teor de umidade e menor acúmulo de sacarose.

Estudos mostram a redução na qualidade da matéria-prima em cana-de-açúcar submetida à irrigação e adubação nitrogenada, entre os principais efeitos pode-se citar: o aumento da porcentagem de fibra em cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica (OLIVEIRA *et al.*, 2011; RHEIN, 2013); redução do teor de sólidos solúveis e do açúcar total recuperável em cana-de-açúcar fertirrigada com doses de nitrogênio superiores à 120 kg N ha<sup>-1</sup> (FRANCO, 2008) e de 150 kg N ha<sup>-1</sup> (RHEIN, 2013), evidenciando a redução da concentração de sacarose em dosagem alta de nitrogênio e o consumo de luxo de nitrogênio em doses superiores à 150 kg N ha<sup>-1</sup> (MUCHOW *et al.*, 1996).

O manejo de inoculação com bactérias diazotróficas (CD) não promoveu diferenças significativas nas variáveis tecnológicas. As alterações encontradas nas variáveis tecnológicas, podem ser decorrentes do déficit hídrico do período (352,5 mm) que restringiu o desenvolvimento da cultura e promoveu maior acúmulo de sacarose no manejo não irrigado.

Observa-se na (Figura 2), o aumento considerável da produtividade de colmos industrializáveis (TCH) em cana-de-açúcar no manejo irrigado comparado ao manejo não irrigado, bem como entre as doses de nitrogênio aplicadas.

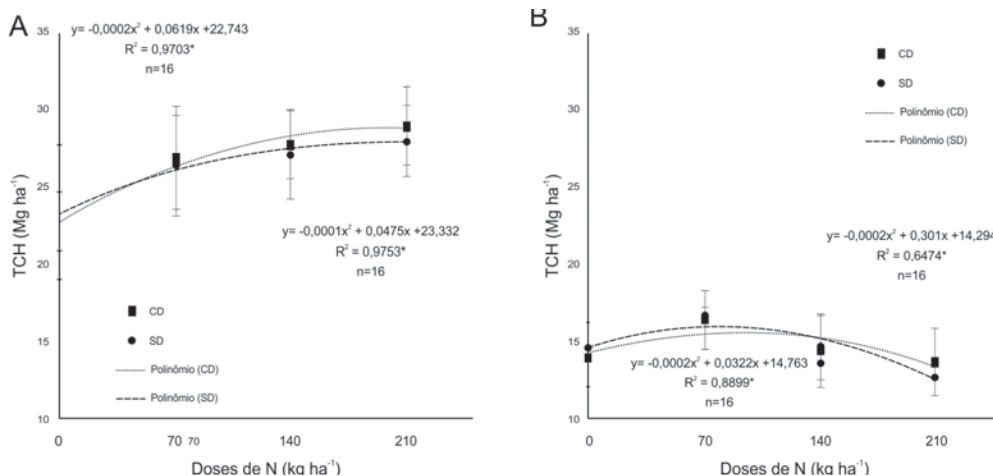
**Figura 2.** Produtividade de colmos (A) manejo irrigado; (B) manejo não irrigado.



As médias de produtividade no manejo irrigado foram de 138,48 Mg ha<sup>-1</sup> e 192,97 Mg ha<sup>-1</sup>, nas doses 0 e 210 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente enquanto que no manejo não irrigado as médias foram de 85,56 Mg ha<sup>-1</sup> e 82,59 Mg ha<sup>-1</sup>, nas doses 0 e 210 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No manejo irrigado a maior produtividade foi alcançada na dose de 210 kg N ha<sup>-1</sup> (192,97 Mg ha<sup>-1</sup>), no manejo não irrigado verificou-se maior produtividade na dose de 70 kg N ha<sup>-1</sup> (101,03 Mg ha<sup>-1</sup>).

A produção de açúcar (TPH) (figura 3) apresentou grande aumento entre os manejos irrigado e não irrigado, sendo que as médias de produção de açúcar no manejo irrigado foram de 138,48 Mg ha<sup>-1</sup> e 192,97 Mg ha<sup>-1</sup>, nas doses 0 e 210 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente enquanto que no manejo não irrigado as médias foram de 85,56 Mg ha<sup>-1</sup> e 82,59 Mg ha<sup>-1</sup>, nas doses 0 e 210 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No manejo irrigado a maior TPH foi alcançada na dose de 210 kg N ha<sup>-1</sup> (28,46 Mg ha<sup>-1</sup>), no manejo não irrigado verificou-se maior produtividade na dose de 70 kg N ha<sup>-1</sup> (16,54 Mg ha<sup>-1</sup>).

**Figura 3.** Produção de açúcar por hectare (A) manejo irrigado; (B) manejo não irrigado



Respostas semelhantes para as variáveis TCH e TPH, foram encontradas por diversos autores trabalhando com cana-de-açúcar sob diferentes condições hídricas e diferentes doses de nitrogênio (MUCHOW *et al.*, 1996; GAVA *et al.*, 2011; ARANTES, 2012; KÖLLN, 2012). KÖLLN (2012) estudando soqueira de cana-de-açúcar em duas condições hídricas, irrigada e não irrigada, e diferentes doses de nitrogênio aplicadas, encontrou valores de TPH de 14,4 e 10,8 Mg ha<sup>-1</sup> nas doses de 0 e 140 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente e sob irrigação; e 10,8 e 15,3 Mg ha<sup>-1</sup> nas doses de 0 e 140 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente e sem irrigação.

A inoculação com bactérias diazotróficas não promoveu diferenças significativas na produção de colmos e de açúcar. Joris (2015), avaliando 4 ciclos de cana-de-açúcar, sob diferentes doses de nitrogênio e inoculação de bactérias diazotróficas, encontrou aumento linear da TCH com a adição de nitrogênio, porém não constatou diferenças entre os tratamentos inoculados e o tratamento controle.

Ainda que os valores de teor de sacarose aparente e açúcar total recuperável, no manejo irrigado tenham sido inferiores aos valores do manejo não irrigado, a produção de açúcar foi muito superior no manejo irrigado, este fato se deve ao fato de que a alta produtividade de colmos foi suficiente para superar o decréscimo de teor de sacarose aparente e de açúcar total recuperável (TRIVELIN *et al.*, 2002).

### Conclusões:

Houve efeito positivo da adubação nitrogenada e da irrigação na produtividade da cana-de-açúcar.

A aplicação do coquetel de bactérias diazotróficas não promoveu aumento de produtividade da cultura cana-de-açúcar.

### Referências bibliográficas:

- ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M.; OLIVARES, F. L. de; BALDANI, V. L. D.; DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugarcane and rice: contributions and prospects for improvement, **Plant and Soil**, The Hague, v. 174, p. 195-209, 1995.
- CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Maceió. Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas. 1998. 422p.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F.; GAVA, G.; ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; VARGAS, V.; SOARES, J. R.; OLIVEIRA, C.; JORIS, H.; KÖLLN, O. T.; DIAS, F.; URQUIAGA, S. **N fertilization and diazotrophic bacteria inoculation in sugarcane for bioenergy production** (17th International Nitrogen Workshop, Ed.) Proceedings of the 17th International Nitrogen Workshop. **Anais...**Wexford: 2012.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Safra 2015/16. Segundo Levantamento, v. 2. n. 2. Brasília, agosto/2015. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_09\\_11\\_10\\_51\\_14\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_2o\\_lev\\_-\\_15-16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_51_14_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_15-16.pdf)>. Acesso em 06 nov. 2015.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 4.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2003. 115p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FRANCO, H. C. J. **Eficiência Agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.
- HOWELL, T. A.; EVETT S. R. **The Penman-Monteith method**. Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory, 2004. 14 p.
- JORIS, H. A. W. **Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agrônômicos e ambientais**. 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical - Gestão de recursos Agroambientais) - Instituto Agronômico, Campinas, 2015.
- KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de 13C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.
- KORNDÖRFER, G. H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, n. 3, p. 26-31, 1992.
- MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; KEATING, B. A. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 47, p. 143-153, 1996.
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES-NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.
- PEREIRA, W.; LEITE, J. M.; HIPÓLITO, G. S.; SANTOS, C. L. R.; REIS, V. M. Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 363–370, 2013.
- REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; URQUIAGA, S. Recomendação de uma mistura de estirpes de cinco bactérias fixadoras de nitrogênio para inoculação de cana-de-açúcar: *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Azospirillum amazonense* (BR 11145) e *Burkholderia tropica* (BR 11366). **Circular Embrapa Agrobiologia**. Seropédica, RJ: 2009.
- RHEIN, A. F. L. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento**. 2013. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.
- SCHULTZ, N.; SILVA, J. A.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; OLIVEIRA, R. P.; CHAVES, V. A.; PEREIRA, W.; SILVA, M. F.; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Inoculation of sugarcane with diazotrophic bacteria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 407–414, 2014.
- SIMÕES-NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 840–848, 2009.
- SINGH, P. N.; SHUKLA, S. K.; BHATNAGAR, V. K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp.* Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95 - 100, 2007.
- TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 637–646, 2002.

## INOCULAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* NA PRODUÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Luís Eduardo Giroto<sup>1</sup>; Julio Cesar Garcia<sup>2</sup>; Mauro Alexandre Xavier<sup>2</sup>;  
Romulo Henrique Petri<sup>3</sup>; Paulo Eduardo Martins Miguel<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Estagiário: Fafram;

<sup>2</sup>IAC/APTA - Centro de Cana-de-açúcar - C.P: 206 - Ribeirão Preto, SP

<sup>3</sup>Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola – Campinas, SP

juliogarcia@iac.sp.gov.br

### Resumo

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas do Brasil, possui uma múltipla utilização e pode ser empregada in natura, na alimentação animal ou como matéria prima na indústria. O presente trabalho teve como objetivo integrar práticas mais sustentáveis de produção da cana-de-açúcar com o uso de promotores de crescimento, avaliando sua expressão nesta cultura. O experimento foi dividido em sete tratamentos, contendo ou não a presença do inoculante em cada tratamento, a fim de observar à Altura dos Perfilhos, Peso Fresco da Parte Aérea, Peso Fresco da Raiz, Peso Seco Parte Aérea e Peso Seco Raiz, aos 41 e 62 dias após plantio. Concluímos que ao considerar as condições específicas deste experimento para a produção de mudas de cana-de-açúcar dentro do sistema de Mudas Pré-Brotadas, bem como a influência ambiental e as características intrínsecas da variedade utilizada, o incremento proporcionado pela ação do inoculante foi destacável apenas na segunda fase do processo (aclimatação). Não obstante as diferenças estatísticas entre os tratamentos inoculados pela bactéria *Azospirillum brasilense*, essas diferenças notadas, por serem pequenas, não justificam a inclusão da inoculação como uma prática rotineira dentro do processo de produção de muda pré-brotada de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** Bioestimulantes, Fixação Biológica de Nitrogênio

### Summary

Sugarcane is one of the main agricultural products of Brazil, with multiple uses, including in natura, as animal feed or as raw material in the industry. This study aimed to integrate more sustainable production of sugarcane with the use of growth promoters, evaluating their expression in this culture. The experiment was divided in seven treatments, with or without the presence of inoculant in each treatment in order to observe tiller height, Weight Fresh of Aerial Parts, Fresh Root Weight, Aerial Part Dry Weight and Dry Root Weight 41 and 62 days after planting. We concluded that when considering the specific conditions of this experiment for the production of sugarcane seedlings in the Seedling Pre-sprouted system, as well as the environmental influence and the intrinsic characteristics of the variety used, the increase provided by the action of inoculant stood out only in the second stage of the process (acclimatization). Notwithstanding the statistic differences between treatments inoculated by the bacteria *Azospirillum brasilense*, they were small and do not justify the inclusion of inoculation as routine practice in the production process of pre-sprouted sugarcane seedling.

**Keywords:** Biostimulants, Biological Nitrogen Fixation

### Introdução

A área de cana-de-açúcar na safra 2014/15 apresentou um crescimento de 2,2% em relação à safra 2013/14 que foi de 8,811 milhões de hectares (ha) e na safra 2014/15 passou para 9,004 milhões de ha, aumento de 193,1 mil ha. Esse aumento está concentrado nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e Paraná em que tiveram o maior aumento de novas unidades e corresponde à consolidação das áreas destas a novas indústrias (CONAB, 2015).

O Brasil é responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo e deve alcançar taxa média de aumento da produção de 3,25%, até 2018/19, e colher 47,34 milhões de toneladas do produto, o que corresponde a um acréscimo de 14,6 milhões de toneladas em relação ao período 2007/2008, sendo que para as exportações, o volume previsto para 2019 é de 32,6 milhões de toneladas (MAPA, 2015). O setor sucroalcooleiro nacional é referência para os demais países produtores. A cana-de-açúcar é produzida em quase todo o País, sendo 60% em São Paulo. As demais zonas produtoras são Paraná, Triângulo Mineiro e Zona da Mata Nordestina. O etanol, produzido no Brasil, a partir da cana-de-açúcar, também conta com projeções positivas para os próximos anos, devidas principalmente, ao crescimento do consumo interno. A produção projetada para 2019 é de 58,8 bilhões de litros, mais que o dobro da registrada em 2008. O consumo interno está projetado em 50 bilhões de litros e as exportações em 8,8 bilhões (MAPA, 2015).

No que diz respeito ao plantio, são estimadas economias de aproximadas 16 toneladas de cana para cada hectare plantado com o sistema MPB, toneladas a mais que são destinadas para o processamento industrial, somando as altas taxas de brotação e da excelente qualidade sanitária assegurada pelo sistema. Tais taxas de brotação caracterizam o vigor das gemas, sendo um fator importante para que o resultado da germinação seja uniforme, garantido um stand ideal de plantas.

O sistema de MPB é utilizado prioritariamente para a formação de áreas de viveiro e para a reposição de falhas de canavial. Viveiros são os campos onde são plantadas as variedades que darão origem aos futuros campos comerciais, isto é, que serão utilizadas como mudas para a produção destes. Já o processo de reposição de falhas consiste no plantio da MPB no espaço não brotado do sulco.

Analisando mais profundamente o investimento financeiro necessário ao cultivo da cana-de-açúcar, destaca-se o elevado custo destinado ao uso de fertilizantes, posto que a expansão da cultura no Brasil requer a recuperação de áreas degradadas através de manejos de preparo de solo e da adubação. Operações demandadas também em áreas tradicionais de plantio da cultura. Apesar do grande uso, o mercado

brasileiro de fertilizantes é “frágil e com grande dependência das importações, que hoje são responsáveis pelo fornecimento de 73% do nitrogênio, 49% do fósforo e 90% do potássio consumidos” (EMBRAPA, 2011).

A partir disso, o suporte proporcionado por inoculantes contendo bactérias diazotróficas, como as do gênero *Azospirillum*, representa uma estratégia rentável ao setor, além de ser ecologicamente sustentável, já que reduz a emissão de fertilizantes no ambiente (EMBRAPA, 2011). Bactérias diazotróficas são aquelas representantes de diversos grupos filogenéticos e que promovem a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Segundo Urquiaga (apud MILANI; MACHINESKI; BALOTA, 2011), estima-se que a economia proporcionada através da FBN em substituição ao uso de fertilizantes, considerando que no Brasil a cana-de-açúcar é uma cultura importante para o setor, pode chegar a US\$200 milhões.

Estudos apontam que a forma de atuação da bactéria *Azospirillum* brasileira promove crescimento vegetal por meio da redução do nitrato até amônia, disponibilizando energia a outros processos vitais do metabolismo. Além disso, produzem fitohormônios que estimulam o desenvolvimento radicular, tais como o ácido indol-acético (AIA), giberilinas e citocininas.

A Embrapa Soja identificou, juntamente com a UFPR, estirpes da bactéria *Azospirillum* brasileira autorizadas pelo MAPA para a produção de inoculantes. Como essa bactéria foi estudada inicialmente para a inoculação de sementes de milho e trigo, suas performances no incremento da produção da cana-de-açúcar, bem como sua interferência no vigor e sanidade da planta, não são comprovadas, de tal forma fazendo-se necessário estudos mais específicos para esta cultura.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo integrar práticas mais sustentáveis de produção da cana-de-açúcar com o uso de inoculantes promotores de crescimento, avaliando sua expressão nesta cultura.

### **Materiais e Métodos**

Para início do experimento foram colhidos e despalhados 175 colmos da variedade IAC911099 com 12 meses de idade, utilizando as 5 gemas do ápice de cada colmo, levando em consideração possíveis descartes (gemas danificadas). A individualização das gemas foi feita através de guilhotina manuseada por um operador. O equipamento possui lâmina dupla, as quais seccionam o material em minirrebolos de 3 cm de comprimento.

A lâmina foi higienizada com solução de amônia quaternária durante todo o procedimento. Em seguida, do total de gemas obtidas, foi feita a seleção das melhores gemas, reservando-as em 7 porções, contendo 100 gemas cada, para os seguintes tratamentos:

Tratamento 1: As gemas foram imersas em água por 60 minutos;

Tratamento 2: As gemas foram tratadas com fungicida por 3 segundos (caldia 250 mL de fungicida.100 L<sup>-1</sup> de água);

Tratamento 3: As gemas foram imersas na solução inoculante contendo estirpes da bactéria *Azospirillum brasilense* (100 mL.10 L<sup>-1</sup> de água) por 60 minutos. Depois receberam banho de fungicida por 3 segundos;

Tratamento 4: As gemas foram imersas na solução inoculante por 60 minutos;

Tratamento 5: As gemas foram imersas na solução inoculante por 45 minutos;

Tratamento 6: As gemas foram imersas na solução inoculante por 30 minutos;

Tratamento 7: As gemas foram imersas na solução inoculante por 15 minutos.

Após os tratamentos, os minirrebolos foram plantados em caixas plásticas forradas com 3L de substrato, dispostos com as gemas voltadas para cima.

O plantio das 100 gemas foi feito esperando-se obter no mínimo 60 plantas finais por tratamento para a condução do experimento. Cada caixa, devidamente etiquetada identificando os referidos tratamentos, recebeu 50 minirrebolos, totalizando 2 caixas por tratamento. Depois foi feita a cobertura das gemas com mais 3 L do mesmo substrato. Feito o plantio, as caixas foram encaminhadas para casa de vegetação climatizada com temperatura de 30 °C e turnos de rega totalizando 4 mm/dia, permanecendo por 20 dias nesta estufa.

Os tratamentos foram avaliados diariamente a partir do quarto dia, fazendo-se contagem de brotos emergidos durante os próximos 16 dias, totalizando 20 dias, período suficiente para as mudas alcançarem condições de serem repicadas.

A repicagem consiste na retirada das mudas das caixas de brotação e transplântio para tubetes plásticos de 180 mL, compondo bandejas com suporte para 63 tubetes (LANDELL et al., 2013).

As mudas nesta etapa já apresentam parte aérea e sistema radicular pouco desenvolvidos. Tendo em vista que serão mensurados peso fresco e seco de parte aérea e de raiz as caixas foram molhadas com chuveirinho para facilitar a retirada das mudas sem causar danos nas raízes. As bandejas são preenchidas com substrato, já com fertilizantes integrados e homogêneos, sendo que para cada 100 L de substrato são adicionados 300 g de sulfato de amônio (20% de N), 200 g de cloreto de potássio (58 % de K<sub>2</sub>O), 200 g de termofosfato (16% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 3 a 5 g por litro de substrato de fertilizante de liberação controlada I com 19% de N, 6% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 10% de K<sub>2</sub>O, este com menor granulometria e fertilizante de liberação controlada II com maior granulometria (15% de N, 9% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 12% de K<sub>2</sub>O mais micro). Enquanto que o MAP (9% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e o nitrato de cálcio (14% de N) são pulverizados sobre as folhas das mudas semanalmente, diluídos em 10 L de água nas respectivas proporções de 100 e 150 g (LANDELL et al., 2013).

Em seguida as bandejas prontas foram aclimatizadas em casa de vegetação por um período de 21 dias, com cuidados da luminosidade no ambiente por meio do uso de tela de sombrite a 50%, sendo que a irrigação é definida de acordo com o desenvolvimento das plantas com média de 8 mm/dia.

Ao final dessa etapa, conhecida por “aclimação fase 1” foi realizada a primeira avaliação do experimento (com 41 DAP), utilizando-se 30 plantas por tratamento divididas em 5 repetições com 6 mudas cada, repetições essas determinadas de forma inteiramente casualizada. Primeiramente foi mensurada a altura, cortadas as partes aéreas de cada planta utilizando-se um alicate de poda, e ensacadas respeitando as repetições. Cada saquinho foi identificado pelo tratamento e pela repetição: T1R1, T1R2, ..., T2R1, ..., T7R5.

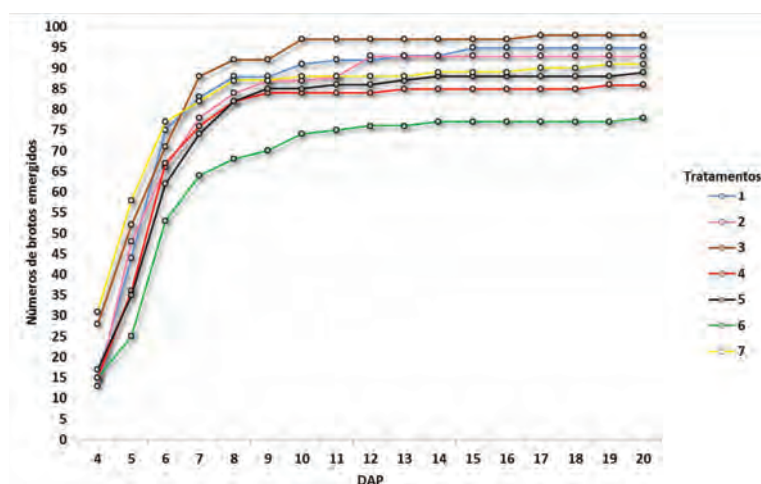
Em seguida, os minirrebolos com as raízes foram lavados para retirada de todo o substrato e colocados para secar à sombra; depois de secos as raízes foram cortadas dos minirrebolos e também ensacadas com as respectivas identificações. Posteriormente foi determinado o peso fresco de todo o material, parte aérea e raízes. Todo o processo foi executado atentando-se para que cada repetição de parte aérea correspondesse a sua respectiva raiz, incluindo o peso e as alturas. Após pesagem, os saquinhos foram conduzidos para a estufa de circulação de ar forçada a 70°C por 7 dias, quando então as amostras atingiram peso constante.

As demais plantas foram levadas para “aclimação fase 2” a pleno sol por 21 dias, recebendo adubação foliar e turnos de rega totalizando 4 mm/dia. Quando completaram 63 DAP, ao final do processo de produção de MPB de cana-de-açúcar, foi feita a segunda avaliação seguindo os moldes da primeira, medindo-se altura, peso fresco e seco de raiz e parte aérea.

## Resultados e Discussões

A partir das contagens diárias de brotos emergidos, obteve-se a (Figura 1).

**Figura 1.** Contagem de brotos emergidos das Mudas Pré-Brotadas de Cana-de-Açúcar sob inoculação de *Azospirillum brasilense*. Ribeirão Preto, SP, 2016.



Observa-se na (Figura 1) que todos os tratamentos proporcionaram porcentagem de brotação superior a 75%, valor considerado satisfatório para o processo de produção de mudas. Nota-se também que o oitavo e nono DAP se mostraram os pontos máximos da curva de brotação de todos os tratamentos, isto é, período de máxima expressão do vigor das gemas, quando expostas as condições ideais de temperatura (32°C) e umidade, ficando o substrato em sua capacidade de campo. É este vigor que proporciona uniformidade e rapidez na produção das mudas, fator crucial do processo.

Tendo em mãos os dados de todas as avaliações realizadas após a etapa de brotação, foi feita uma análise estatística com auxílio da ferramenta SAS obtendo-se os resultados mostrados na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios para Altura dos perfis (ALTURA), Peso Fresco da Parte Aérea (PFPA), Peso Fresco da Raiz (PFR), Peso Seco Parte Aérea (PSPA) e Peso Seco Raiz (PSR), aos 41 e 62 dias após plantio (DAP). Ribeirão Preto, SP, 2016.

TRATAMENTOS	41 DAP					62 DAP				
	ALTURA	PFPA	PFR	PSPA	PSR	ALTURA	PFPA	PFR	PSPA	PSR
1	12,82 a	30,64 ab	5,02 a	6,20 ab	2,09 b	16,36 cd	46,94 c	17,23 b	12,71 cd	10,06 ab
2	12,16 a	33,92 a	4,90 a	6,76 a	2,37 b	17,88 bc	69,82 b	17,39 b	16,66 ab	9,27 b
3	12,26 a	30,48 ab	3,82 a	6,32 ab	2,08 b	17,70 bc	67,82 b	44,81 a	15,39 bc	14,94 ab
4	12,76 a	24,97 c	4,83 a	5,35 bc	3,43 a	15,74 d	39,86 c	11,85 b	10,99 d	8,90 b
5	12,64 a	23,80 c	3,63 a	4,88 c	2,00 b	19,12 ab	72,28 ab	34,68 ab	17,25 ab	14,08 ab
6	12,52 a	26,54 bc	5,02 a	5,39 bc	2,77 ab	18,98 ab	76,30 ab	44,91 a	16,75 ab	17,12 a
7	11,86 a	23,62 c	3,33 a	5,08 c	2,13 b	20,22 a	86,66 a	50,53 a	18,89 a	16,15 ab
CV	6,46	13,94	41,92	13,35	25,39	7,76	17,52	65,9	16,15	43,34
F	0,96 ns	5,35*	0,81 ns	4,35*	3,61*	6,43*	10,30*	2,91*	6,05*	1,89 ns
DMS	1,04	5,01	2,37	0,99	0,79	1,81	14,91	27	3,25	7,26

De acordo com os dados apresentados na (Tabela 1), podemos observar que aos 41 DAP, não houve diferença significativa para altura de plantas e peso fresco de raízes. Em relação a parte aérea, representados pelo seu peso fresco e seco, os melhores tratamentos foram respectivamente a testemunha, tratamento apenas com fungicida e inoculação por imersão em 1 hora seguida de banho com fungicida.

Com o decorrer do ciclo as plantas já apresentam um desenvolvimento mais uniforme e expressivo, evidenciando as possíveis influências dos tratamentos. Assim, aos 62 DAP, nota-se para os parâmetros avaliados melhor desempenho dos tratamentos 5, 6 e 7, dessa forma é possível correlacionar a ação da inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* nesses tratamentos em relação a testemunha e somente o tratamento com fungicida.

Não existe na literatura trabalhos que relacionam efeitos de inoculação de estirpes de bactérias fixadoras de nitrogênio em mudas de cana-de-açúcar. Entretanto, alguns trabalhos têm mostrado a ocorrência de fixação biológica de N em cana. Um número considerável de bactérias com capacidade de fixar N<sub>2</sub> atmosférico, associado a cana-de-açúcar, tem sido identificado (URQUIAGA *et al.*, 1992). Bactérias diazotróficas podem associar-se naturalmente ou através de inoculação em cana-de-açúcar. Com isso, essa associação pode, além de promover a fixação biológica de nitrogênio, um efeito bio-estimulador para as plantas, promovendo um maior desenvolvimento inicial, fato observado no presente estudo.

É importante ressaltar que o parâmetro mais representativo da influência do produto é o peso seco, tendo em vista que representa o acúmulo real de massa pela planta, tanto foliar quanto radicular. Apesar da diferença estatística, para fins práticos, o resultado não se mostrou satisfatório como o esperado.

### Conclusão

Em suma, considerando as condições específicas deste experimento para a produção de mudas de cana-de-açúcar dentro do sistema de mudas pré-brotadas, bem como a influência ambiental e as características intrínsecas da variedade IAC911099 utilizada, o incremento proporcionado pela ação do inoculante foi destacável apenas na segunda fase do processo (aclimatação).

Não obstante as diferenças estatísticas entre os tratamentos inoculados pela bactéria *Azospirillum brasilense*, essas diferenças notadas, por serem pequenas, não justificam a inclusão da inoculação como uma prática rotineira dentro do processo de produção de MPB de cana-de-açúcar.

### Referências Bibliográficas

- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA. Seed vigor testing handbook. AOSA, 1983. 93 p.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Disponível em [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_04\\_13\\_09\\_39\\_02\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_leve\\_-\\_15-16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_leve_-_15-16.pdf). Acesso em: 22/06/2015.
- EMBRAPA, Projeto CarbCana; **Plantios de cana-de-açúcar crescem em áreas de citricultura em São Paulo**, 17/06/15.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-Açúcar**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. 882 p.
- EMBRAPA SOJA. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/download/doc325.pdf>>. Acesso em: julho, 2014.
- LANDELL, M. G. A. *et al.* **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/Doc%20109\\_online.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/Doc%20109_online.pdf)>. Acesso em: julho, 2014.
- LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: Instituto Agrônomo, IAC, 2012.
- MAPA; Ministério da Agricultura. <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. Acessado em: 23/10/2015.
- MILANI, K. M. L.; MACHINESKI, O.; BALOTA, E. L. **Ocorrência e Isolamento de Bactérias Diazotróficas Associadas à Cana-De-Açúcar**. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1345 – 1351, 2011. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20biologicas/ocorrencia%20e%20isolamento.pdf>>. Acesso em: agosto, 2014.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **A sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: julho, 2015.
- URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen-fixation to sugarcane: nitrogen 15 and nitrogen balance estimate. **Soil Science of American Journal**, Palo Alto, v. 56, p. 105-114, 1992.

## APLICAÇÃO FOLIAR DE FERTILIZANTES NO DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Bruno Nicchio<sup>1</sup>; Gustavo Alves Santos<sup>1</sup>; Lucélia Alves Ramos<sup>1</sup>;  
Hamilton Seron Pereira<sup>2</sup>; Gaspar Henrique Korndörfer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU);

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia (UFU);

*bruno\_nicchio@hotmail.com*

### Resumo

Os macro e micronutrientes desempenham função importante no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar e aplicação foliar pode ser considerada uma ótima alternativa como adubação suplementar. Objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento, a produção e a qualidade tecnológica na soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de diferentes fertilizantes via foliar. Foram conduzidos três experimentos em áreas distintas, localizadas em áreas de unidades produtoras de cana-de-açúcar. Os experimentos foram instalados apresentando delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cinco tratamentos (testemunha com água, controle visando fornecimento de N, B, Zn e Mn, Micro Foliar + N-Foliar nas doses de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> + 3,0 L ha<sup>-1</sup>, 2,0 kg ha<sup>-1</sup> + 6,0 L ha<sup>-1</sup> e 3,0 kg ha<sup>-1</sup> + 10,0 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente) e quatro repetições. As variáveis analisadas foram: altura de plantas, diâmetro de colmos, produtividade, açúcar por hectare, açúcar teórico recuperado (ATR), brix, pol da cana e teor foliar de N, B, Mn, Zn e Cu. Nos experimentos avaliados não houve resposta a aplicação dos fertilizantes aplicados via foliar na produtividade, açúcar por hectare, açúcar teórico recuperado, brix e pol da cana. aplicação dos tratamentos apresenta resposta nos teores foliares de nitrogênio (N), cobre (Cu) e zinco (Zn) na usina Vale do Tijuco. Além disso, a aplicação de doses crescentes de Micro Foliar + N-Foliar (1, 2 e 3 kg ha<sup>-1</sup> e 3, 6 e 100 L ha<sup>-1</sup>) aumenta os teores foliares de nitrogênio (17,7 g kg<sup>-1</sup>), zinco (28,8 mg kg<sup>-1</sup>) e boro (7,2 mg kg<sup>-1</sup>) até o tratamento Micro Foliar 3,0 kg ha<sup>-1</sup> + N-Foliar 10 L ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** adubação suplementar, produtividade, *Saccharum spp.*

### Summary

The macro and micronutrients play an important role in the development and productivity of sugarcane and foliar application can be considered a great alternative as supplemental fertilization. The objective of this study was to evaluate the development, production and technological quality in ratoon of sugarcane submitted to the application of different foliar fertilizers. Three experiments were conducted in different areas, located in areas of unit producing sugarcane. The experiments were presenting a randomized blocks, with five treatments (control water, control aimed at providing N, B, Zn and Mn, Micro + Foliar N-Foliar at doses of 1,0 kg ha<sup>-1</sup> + 3,0 L ha<sup>-1</sup>, 2,0 kg ha<sup>-1</sup> + 6,0 L ha<sup>-1</sup> and 3,0 kg ha<sup>-1</sup> + 10,0 L ha<sup>-1</sup>, respectively) and four replications. The variables analyzed were: Plant height, stem diameter, productivity, sugar per hectare recovered theoretical sugar (ATR) brix and pol cane. In this experiment there was no response to application of fertilizers applied foliar in productivity per hectare, sugar recovered theoretical sugar, brix and pol cane. treatment application presents response in leaf nitrogen content (N), copper (Cu) and zinc (Zn) in the Valley factory of Tijuco. Furthermore, the application of increasing doses of Micro-Foliar Foliar + N (1, 2 and 3 kg ha<sup>-1</sup> and 3, 6 and 100 L ha<sup>-1</sup>) increases foliar nitrogen (17,7 g kg<sup>-1</sup>), zinc (28,8 mg kg<sup>-1</sup>) and boron (7,2 mg kg<sup>-1</sup>) to the Micro Foliar treatment 3,0 kg ha<sup>-1</sup> + N 10 L ha Foliar<sup>1</sup>.

**Keywords:** supplemental fertilization, productivity, *Saccharum spp.*

### Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção total estimada em 634,77 milhões de toneladas em uma área total de 9.004,5 mil hectares na safra 2014/2015, o que justifica as crescentes pesquisas voltadas para obtenção de maiores incrementos na produtividade (CONAB, 2015). Com isso, o manejo da adubação é de grande importância para cultura tendo em vista sua relevância ao cenário econômico nacional.

A aplicação via foliar de nutrientes às plantas não é uma prática nova, sendo conhecida há mais de 100 anos (BORKERT, 1987) ainda que, só recentemente vem sendo estudada mais a fundo, comparado a outros métodos de adubação (REZENDE *et al.*, 2005). Apesar de todos os conhecimentos e de algumas vantagens, o uso de macro e micronutrientes em pulverização foliar apresentam restrições. Segundo Rosolém (1984) a utilização de sais solúveis como NPK, somente deve ser feita em baixa concentração, sendo necessárias várias aplicações para atingir a adequada quantidade de nutrientes nas plantas, capaz de afetar significativamente a produtividade.

Assim como as raízes, as folhas das plantas têm capacidade de absorver mais ou menos rapidamente os nutrientes na forma de solução em sua superfície. A aplicação de nutrientes em solução ou suspensão na parte aérea da planta é utilizada como adubação suplementar à adubação no solo, pois há um alto índice de utilização pelas plantas em relação à aplicação no solo. Deste modo, a adubação foliar visa corrigir possíveis deficiências nutricionais não atendidas pela adubação de base, entretanto, são necessárias doses menores mesmo com efeito residual reduzido, pois elevadas concentrações podem causar fitotoxicidade nas plantas (VITTI & MAZZA, 2002). A maior uniformidade e as respostas são rápidas (adubação de salvação) e nessas aplicações, pode-se combinar a adubação foliar com alguns tratamentos fitossanitários.

A adubação foliar é ainda uma prática pouco adotada pelos produtores de cana, porém a expansão da cultura em áreas de cerrado, com solos pobres em micronutrientes, vem se mostrando necessária para a correções de deficiência que vem aparecendo nos canaviais. Por isso, a nutrição adequada do canavial é muito importante para se alcançar maiores resultados (ORLANDO FILHO, 1993), pois a aplicação foliar



de nutrientes pode trazer algumas vantagens na cultura da cana, como o aumento na produtividade de colmos e quantidade de açúcar por hectare (KORNDÖRFER & MARTINS, 1992; KORNDÖRFER, 1994).

Os macro e micronutrientes desempenham função importante no desenvolvimento e na produtividade da cana-de-açúcar, e os micronutrientes atuam nos processos enzimáticos das plantas e com isso apresentando grande importância na nutrição da cultura. Deste modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento, a produção e a qualidade tecnológica de soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de diferentes fertilizantes via foliar.

### Materiais e Métodos

Foram conduzidos três experimentos em áreas distintas, localizadas em áreas de unidades produtoras de cana-de-açúcar: Usina Vale do Tijuco (Uberaba-MG) - 2º corte variedade RB 86-7515; Bioenergética Aroeira (Tupaciguara-MG) - 3º corte variedade SP 81-3250); e Usina Delta (Delta-MG) - 2º corte variedade RB 85-5536.

Os experimentos foram instalados apresentando delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cinco tratamentos e quatro repetições compostos por diferentes fertilizantes, em diferentes doses (Tabela 1) mais um tratamento testemunha e controle com aplicação de sais para o fornecimento de N, B, Zn e Mn.

Os fertilizantes foliares utilizados apresentam as seguintes características: Micro Foliar: fertilizante misto (mistura de sais) para aplicação via foliar; contém 11,3 % de enxofre (S), 4 % de boro (B), 2 % de cobre (Cu), 10 % de manganês (Mn), 10 % de zinco (Zn) e 2 % de molibdênio (Mo); Densidade = 1,3 g ml. N-Foliar: fertilizante foliar (mistura e/ou solução de sais) tecnicamente equilibrada que possui alta solubilidade e contém 32 % (416 g L) de nitrogênio (N); Densidade = 1,3 g/m.

**Tabela 1.** Produto e doses aplicados na cana-de-açúcar em cada tratamento.

Tratamento	Produto	Dose
1 – Testemunha	Água	---
2 – Controle	Ácido bórico	200 g ha <sup>-1</sup> B
	Sulfato de Manganês	300 g ha <sup>-1</sup> Mn
	Sulfato de Zinco	300 g ha <sup>-1</sup> Zn
	Uréia	5 kg ha <sup>-1</sup>
3	Micro Foliar + N-Foliar	1,0 kg ha <sup>-1</sup> + 3,0 L ha <sup>-1</sup>
4	Micro Foliar + N-Foliar	2,0 kg ha <sup>-1</sup> + 6,0 L ha <sup>-1</sup>
5	Micro Foliar + N-Foliar	3,0 kg ha <sup>-1</sup> + 10,0 L ha <sup>-1</sup>

As parcelas experimentais, em ambos os experimentos, consistiram de quatro linhas de 10 m de comprimento e espaçadas entre si por 1,5 m (60 m<sup>2</sup>). Além disso, foi adotado um espaçamento de 3,0 m entre as parcelas de modo a evitar prováveis problemas com a deriva da aplicação dos produtos. A aplicação dos produtos via foliar foi realizada com o uso de uma barra de 3 m de comprimento com 3 bicos 110-02 tipo leque espaçados por 0,75 cm acoplada a um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>. A pressão de aplicação adotada no equipamento foi a de 4 kgf cm<sup>-2</sup> e o volume de calda utilizado foi de 2,0 L parcela<sup>-1</sup>, o equivalente a 333,3 L ha<sup>-1</sup>. As aplicações foram realizadas no período da manhã tomando-se os devidos cuidados relacionados ao teor de umidade relativa do ar, temperatura e vento.

Aos 30 dias após aplicação (DAA) dos produtos retiraram-se amostras foliares em cada parcela. Cada amostra foi composta pelo terço médio de 10 folhas (primeira folha da planta com o dewlap visível). Essas amostras foram lavadas em solução contendo água e detergente neutro, posteriormente foram enxaguadas em água corrente e depois em água destilada e retirou-se a nervura central de cada folha. As amostras foram acondicionadas em estufa de circulação de ar, a 65 °C, até atingirem o peso constante. Após seco, o material foi moído em moinho tipo Willey, para ser submetido à análise laboratorial de macro e micronutrientes.

Os fertilizantes foliares aplicados nas três localidades ocorreram: 180 dias após o 2º corte na Usina Vale do Tijuco (12/2014); 180 dias após o 3º corte na Bioenergética Aroeira (01/2015); e, 210 dias após o 2º corte na Usina Delta (02/2015). A colheita deu-se 180 dias após aplicação dos fertilizantes foliares para os experimentos localizados na Usina Vale do Tijuco e Bioenergética Aroeira. Na Usina Delta a colheita do experimento ocorreu 150 dias após aplicação dos fertilizantes foliares. Na época de colheita, a cana de cada parcela foi cortada crua e manualmente, despontada e em seguida pesada com o auxílio de um tripé acoplada a uma balança para determinação do peso de cada uma das parcelas. No momento da colheita foi realizada a medição da altura das plantas com trena, considerando o intervalo entre o nível do solo e a 1ª folha (cartucho). Já a medida de diâmetro de colmo foi tomada com a utilização de paquímetro no final do terço inferior, início do terço médio da planta.

Para análise tecnológica, realizou-se coleta de 10 colmos cortados em cada uma das parcelas. O material coletado foi submetido à análise tecnológica no laboratório das respectivas unidades produtoras de cana-de-açúcar, segundo metodologia descrita por Tanimoto (1964), a qual gerou resultados de Açúcar Teórico Recuperado (ATR) (kg TC<sup>-1</sup>), Brix e Pol da cana. Utilizando-se os resultados de produção de colmos por hectare (TCH) e os valores de Pol da cana foram calculados os valores de produção de açúcar por hectare (TAH) de cada um dos tratamentos.

Com o auxílio do programa estatístico Sisvar versão 5.3 (FERREIRA, 2008) os resultados foram submetidos a análise de variância, e, em caso de significância do teste F, os tratamentos qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Para os tratamentos quantitativos os resultados foram submetidos a análise de regressão (P>0,05).

## Resultados e Discussões

Os resultados de altura de planta (m), diâmetro de colmos (mm), produtividade (t ha<sup>-1</sup>) e produção de açúcar (TAH em t ha<sup>-1</sup>) podem ser observados na Tabela 2. Os dados mostram que não houve diferença significativa na altura de plantas, diâmetro de colmos, produtividade de colmos e total de açúcar por hectare entre os tratamentos em todos os experimentos, indicando pouca influência dos produtos sobre a estatura da cana.

**Tabela 2.** Altura de plantas (m), diâmetro de colmos (mm), produtividade de colmos (t ha<sup>-1</sup>) e total de açúcar por hectare (TAH) 180 dias após da aplicação de fertilizantes via foliar na cana soca (Variedades IAC 91-1099, RB 86-7515, SP 81-3250 e RB 85-5536).

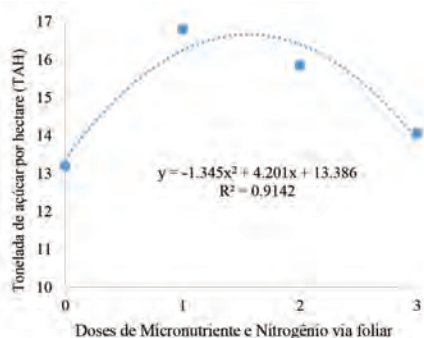
Tratamento	Altura		Diâmetro		Produtividade		TAH
	--- m ---		-- mm --		----- t ha <sup>-1</sup> -----		
USINA VALE DO TIJUCO							
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,42	a	30,6	a	110,7	a	15,5
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,36	a	30,0	a	109,0	a	15,2
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,50	a	31,7	a	112,6	a	15,7
Controle	2,47	a	30,5	a	106,7	a	14,6
Testemunha	2,43	a	31,0	a	113,6	a	15,8
CV	5,62		3,35		12,60		12,36
USINA AROEIRA							
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,44	a	25,5	a	71,6	a	10,8
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,52	a	25,0	a	76,7	a	11,9
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,30	a	25,2	a	67,4	a	10,2
Controle	2,39	a	26,5	a	73,7	a	11,3
Testemunha	2,50	a	25,6	a	66,7	a	10,2
CV	7,14		3,95		14,28		14,78
USINA DELTA							
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,35	a	26,5	a	91,8	a	16,8
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,37	a	26,7	a	82,9	a	15,8
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	2,25	a	26,2	a	85,6	a	14,1
Controle	2,15	a	25,2	a	73,7	a	12,9
Testemunha	2,32	a	26,5	a	73,9	a	13,2
CV	7,59		8,28		16,65		18,96

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Na usina Vale do Tijuco os tratamentos foram aplicados no final de dezembro de 2014 e nesta localidade após a fertilização houve um período de estiagem. Com isso, esta estiagem pode ter influenciado no efeito dos tratamentos e consequente aumento da variabilidade entre os tratamentos, como observado para testemunha e demais tratamentos. As usinas Vale do Tijuco, Aroeira e Delta apresentaram produtividades médias de 110,5, 71,2 e 81,6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Com relação as doses crescentes de Micro Foliar + N-Foliar observou-se redução de TAH (Us. Delta) com as doses 2,0 kg ha<sup>-1</sup> (Micro) + 6,0 L ha<sup>-1</sup> (N) e 3,0 kg ha<sup>-1</sup> (Micro) + 10,0 L ha<sup>-1</sup> (N), porém, nas demais Usinas este efeito não foi observado.

**Figura 1.** Toneladas de açúcar por hectare (TAH) em função da aplicação foliar dos tratamentos na soqueira de cana-de-açúcar (Variedade RB 85-5536 – Usina Delta).



A produção de açúcar não refletiu os resultados da produção de colmos (Tabela 2), pois não houve diferenças significativas nos resultados de análises tecnológicas observados na Tabela 3. Verifica-se que não houve diferenças significativas nos quesitos Brix, Pol da cana e produção de açúcar por tonelada em todos os experimentos. São observados variações entre as usinas como a redução da produção de açúcar com o tratamento Micro Foliar 3,0 kg ha<sup>-1</sup> + N-Foliar 10,0 L ha<sup>-1</sup>, em relação ao tratamento Micro Foliar 2,0 kg ha<sup>-1</sup> + N-Foliar 6,0 L ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3.** Brix pol da cana e ATR (kg açúcar TC<sup>-1</sup>) 180 dias após da aplicação de fertilizantes via foliar na cana soca (Variedades IAC 91-1099, RB 86-7515, SP 81-3250 e RB 85-5536).

Tratamento	Brix		Pol da Cana		ATR	
	%		%		kg açúcar TC <sup>-1</sup>	
USINA VALE DO TIJUCO						
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	19,0	a	14,0	a	140,0	a
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	18,9	a	14,0	a	139,9	a
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	18,8	a	13,9	a	139,2	a
Controle	18,8	a	13,7	a	137,2	a
Testemunha	18,6	a	13,9	a	138,6	a
CV	2,96		3,38		3,17	
USINA AROEIRA						
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	20,7	a	15,2	a	149,2	a
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	20,4	a	15,5	a	151,5	a
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	20,2	a	15,2	a	149,3	a
Controle	20,4	a	15,3	a	150,4	a
Testemunha	20,3	a	15,2	a	149,0	a
CV	1,84		3,68		3,26	
USINA DELTA						
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	20,9	a	15,9	a	157,7	a
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	20,8	a	15,8	a	156,9	a
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	20,8	a	15,7	a	155,9	a
Controle	20,7	a	15,2	a	151,9	a
Testemunha	20,6	a	15,3	a	152,7	a
CV	3,71		5,94		5,52	

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Na (Tabela 4) são apresentadas as faixas de suficiência de nitrogênio (N), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) para a cana-de-açúcar da folha TVD.

**Tabela 4.** Faixas de teores adequados (faixa de suficiência) de nitrogênio (N), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) para a soqueira de cana-de-açúcar

N	Mn	Zn	Cu	B
g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		
12,5 – 16,5	50 - 87	13 - 28	3,8 – 6,6	4 - 30

Comparando os resultados obtidos (Tabela 4) com os resultados apresentados na (Tabela 5), verifica-se que o nitrogênio apresentou-se em níveis adequados para todas as Usinas.

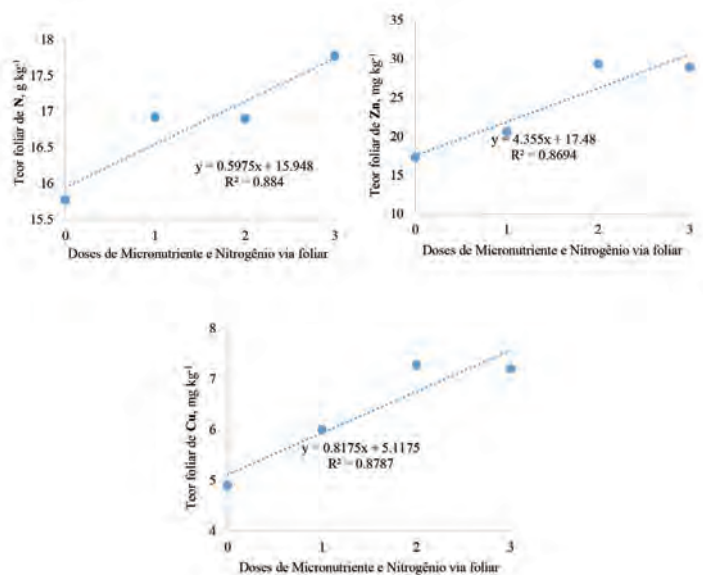
Tratamento	N		B		Mn		Zn		Cu	
	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	
USINA VALE DO TIJUCO										
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	16,9	ab	12,3	a	102,1	a	20,6	ab	6,0	ab
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	16,9	ab	10,3	a	121,9	a	29,3	ab	7,2	a
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	17,7	a	10,5	a	125,6	a	28,8	ab	7,2	a
Controle	16,9	ab	9,2	a	128,7	a	32,8	a	5,1	ab
Testemunha	15,7	b	11,8	a	106,2	a	17,2	b	4,9	b
CV	5,54		23,2		27,91		25,0		18,16	
USINA AROEIRA										
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	18,9	a	9,7	a	54,8	a	18,8	a	5,1	a
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	19,9	a	7,5	a	49,2	a	19,5	a	5,0	a
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	19,7	a	7,8	a	52,5	a	20,3	a	5,2	a
Controle	17,4	a	9,7	a	50,1	a	18,2	a	5,0	a
Testemunha	18,7	a	8,7	a	56,0	a	17,9	a	5,7	a
CV	9,49		37,01		17,85		12,06		18,89	
USINA DELTA										
Micro (1,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (3,0 L ha <sup>-1</sup> )	19,6	a	8,2	a	51,7	a	18,3	a	5,4	a
Micro (2,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (6,0 L ha <sup>-1</sup> )	19,3	a	7,6	a	53,1	a	17,8	a	5,0	a
Micro (3,0 kg ha <sup>-1</sup> ) + N (10,0 L ha <sup>-1</sup> )	17,5	a	7,9	a	57,7	a	18,2	a	5,1	a
Controle	18,9	a	7,4	a	55,8	a	18,1	a	5,3	a
Testemunha	19,1	a	7,6	a	57,1	a	17,1	a	5,3	a
CV	9,83		16,02		19,29		16,10		10,47	

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Nos teores dos micronutrientes, com exceção do cobre (Cu) e zinco (Zn) na usina Vale do Tijuco, também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5). Na mesma usina o controle apresentou maior teor de Zn. Para os teores de Cu, os tratamentos Micro Foliar (2,0 e 3,0 kg ha<sup>-1</sup>) + N-Foliar (6,0 e 10,0 L ha<sup>-1</sup>) se destacaram dos demais tratamentos. Nas demais usinas os teores de N, B, Mn, Zn e Cu não apresentaram diferenças significativas.

Comparando os resultados obtidos (Tabela 3) com os resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que o zinco (Zn) e boro (Bo) apresentam-se em níveis adequados para todas as Usinas, o manganês (Mn) encontra-se próximo aos limites inferiores da faixa adequada, sendo que alguns tratamentos apresentam-se a seguir.

As doses crescentes de Micro Foliar + N-Foliar aumentaram os teores foliares de nitrogênio, zinco e cobre na usina Vale do Tijuco, atingindo estimativas máximas de 17,7 g kg<sup>-1</sup> de N, 28,8 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 7,2 mg kg<sup>-1</sup> de Cu com 3,0 kg ha<sup>-1</sup> Micro Foliar + 10 L ha<sup>-1</sup> N-Foliar, respectivamente (Figura 1).



**Figura 2.** Teores foliares de nitrogênio (N), zinco (Zn) e cobre (Cu) em função da aplicação foliar dos tratamentos na soqueira de cana-de-açúcar (Variedade RB 86-7515 – Usina Vale do Tijuco).

A falta de resposta no presente trabalho pode ser explicada pelo fato de que na maioria dos ensaios as condições ótimas de macro e micronutrientes encontravam-se em níveis considerados suficientes para um bom desenvolvimento. Contudo, mesmo que adubação foliar não tenha influenciado nas variáveis estudadas, há necessidade de se estudar mais detalhadamente em futuros trabalhos de pesquisa buscando-se a época adequada de aplicação visando obter respostas significativas, possibilitando aumento de produção da cultura (TRIVELIN *et al.*, 1988).

### Conclusões

Nos experimentos avaliados não houve resposta a aplicação dos tratamentos na produtividade, açúcar por hectare e variáveis tecnológicas avaliadas (Brix, Pol da cana e produção de açúcar por tonelada).

A aplicação dos tratamentos apresenta resposta nos teores foliares de nitrogênio (N), cobre (Cu) e zinco (Zn) na usina Vale do Tijuco. Além disso, a aplicação de doses crescentes de Micro Foliar + N-Foliar (1, 2 e 3 kg ha<sup>-1</sup> e 3, 6 e 100 L ha<sup>-1</sup>) aumenta os teores foliares de nitrogênio (17,7 g kg<sup>-1</sup>), zinco (28,8 mg kg<sup>-1</sup>) e boro (7,2 mg kg<sup>-1</sup>) até o tratamento Micro Foliar 3,0 kg ha<sup>-1</sup> + N-Foliar 10 L ha<sup>-1</sup>.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio a pesquisa.

### Referências Bibliográficas

- BORKERT, C. M. **Soja: adubação foliar**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1987. 34p. (Documentos, 22).
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, segundo levantamento, agosto/2015 - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2015.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Recife, v.6, p.36-41, 2008.
- KORNDÖRFER, G. H. Importância na qualidade da cana-de-açúcar. In: SA, M. E.; Buzzetti, S. (Ed.). **Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994, v.1, p.1033-142.
- KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Acumulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Campinas, v.16, n.2, p.217-222, 1992.
- MILAZEZ, P.; GRIS, C. F.; CARVALHO, J. G.; GOMES, L. L.; BOTTINO, L. Adubação foliar. I. **Épocas de aplicação de fósforo na cultura da soja**. Ciênc. agrotec., v.29, n.6, p.1105-1111, 2005.
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana de açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Eds). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p.133-146.
- ROSOLÉM, C. A. Adubação foliar. In: **SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 1984, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: EMBRAPA, 1984. p.419- 449.
- VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 16p. (Informações Agronômicas, n. 97, Encarte Técnico).
- TANIMOTO, T. **The press method of cane analysis**. Honolulu: Hawaiians Planter's Record. 1964. p. 133-150.
- TRIVELIN, P. C. O.; CARVALHO, J. G.; da SILVA, A. Q.; PRIMAVESI, A. C. P. A.; CAMACHO, E.; EHWRI, I. E.; GUILHERME, M. R. Adubação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): absorção e translocação de uréia-15N. **Energ. Nucl. Agric.**, Piracicaba, v.9, n.2, p.52-65, 1988.

## AValiação DE SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR INOCULADA COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS NO PLANTIO.

Julio Cesar Garcia<sup>1</sup>; Luís Eduardo Giroto<sup>2</sup>; Maximiliano Salles Scarpari<sup>1</sup>; Paulo Eduardo Martins Miguel<sup>3</sup>; José Octávio Rocca<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>IAC/APTA - Centro de Cana-de-açúcar - C.P: 206, - Ribeirão Preto, SP

<sup>2</sup> Estagiário: Fafram;

<sup>3</sup>Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, Campinas, SP

*juliogarcia@iac.sp.gov.br*

### Resumo

Avaliou-se a primeira soqueira de cana-de-açúcar inoculada com bactérias fixadoras de nitrogênio no plantio, RB 867515, em área da Usina da Pedra, Serrana, SP, em Blocos Casualizados, com 7 tratamentos e 4 repetições. As parcelas foram constituídas de 5 linhas de 10 metros. Os tratamentos foram T1: 0 kg.ha<sup>-1</sup> N no plantio + 0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira; T2: 30 kg.ha<sup>-1</sup> de N no plantio + 30 kg.ha<sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira; T3: 60 kg.ha<sup>-1</sup> de N no plantio + 60 kg.ha<sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira; T4: 90 kg.ha<sup>-1</sup> de N no plantio + 90 kg.ha<sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira; T5: Inoculação Padrão Embrapa Imersão dos toletes em solução durante 1 hora no plantio + 0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira; T6: Pulverização com solução Padrão Embrapa no plantio + 0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira; T7: Pulverização com inoculante líquido no plantio + 0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira. A inoculação de bactérias diazotróficas por imersão em solução por uma hora no plantio e não fertilizada com N na soqueira, proporcionou maior rendimento de colmo e menor fibra na primeira soqueira comparado com o tratamento não fertilizado com N em ambos os ciclos.

**Palavras-chaves:** Nitrogênio, Fixação Biológica, Cana.

### Summary

It was evaluated the first ratoon of sugarcane inoculated with nitrogen fixing bacteria in the planting, variety RB 867515, localized in Serrana, SP, in a factory of sugar and alcohol called Pedra, with randomized blocks design with 7 treatments, 4 repetitions. The plots consisting of 5 lines of 10 meters. The treatments were T1: 0 kg ha<sup>-1</sup> N at planting + 0 kg ha<sup>-1</sup> N at the first ratoon; T2: 30 kg ha<sup>-1</sup> of N at planting 30 kg ha<sup>-1</sup> of N at the first ratoon; T3: 60 kg ha<sup>-1</sup> of N at planting + 60 kg ha<sup>-1</sup> of N at the first ratoon; T4: 90 kg ha<sup>-1</sup> of N at planting + 90 kg ha<sup>-1</sup> of N in the first ratoon; T5: Standard Embrapa Inoculation Immersion of the sugar cane stalks in solution for 1 hour at planting + 0 kg ha<sup>-1</sup> N at the first ratoon; T6: Spraying with Standard Embrapa solution at planting + 0 kg ha<sup>-1</sup> N at the first ratoon; T7: Spraying with liquid inoculant at planting + 0 kg ha<sup>-1</sup> N at the first ratoon. The inoculation of diazotrophics bacteria by immersion in solution for one hour at planting and not fertilized with N in ratoon gave higher yield of stem and lower fiber at the first ratoon compared to treatment not fertilized with N in both cycles.

**Keywords:** Nitrogen, Biological fixation, Cane.

### Introdução

A área cultivada com cana-de-açúcar, colhida na safra 2015/16 destinada à atividade sucroalcooleira foi de 8.654,2 mil hectares, 3,9% a menos que a safra anterior, distribuídas em todos estados produtores, sendo moídas 665,6 milhões de toneladas, com aumento de 4,9% em relação à safra 2014/15. (CONAB, 2013).

Nota-se que houve um aumento de produção em detrimento a área cultivada, muito provavelmente ao uso racional e tecnológico de todos os insumos utilizados na cadeia produtiva da cana, dentre eles os fertilizantes. Somado a isso, busca-se cada vez mais uma substituição de fontes não renováveis por fontes renováveis na nutrição e adubação na agricultura, dentre elas a cana-de-açúcar, visando maior sustentabilidade do sistema produtivo. Dentre os fertilizantes utilizados na nutrição da cana-de-açúcar destaca-se o nitrogênio, macronutriente essencial para o desenvolvimento da planta, possuindo uma demanda de aproximadamente 1 kg de N para cada tonelada de cana produzida.

Os solos brasileiros apresentam baixos níveis de nitrogênio, principalmente para as novas regiões de expansão, dependendo basicamente dos adubos nitrogenados para a fertilização do solo visando a nutrição da planta, com alto custo de produção, além de depender de fontes não renováveis para seu processamento, com maior consumo nos ciclos de soqueiras.

Uma alternativa visando uma maior sustentabilidade no que diz respeito ao uso da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar é o uso da fixação biológica de nitrogênio, por bactérias diazotróficas, que incorporam o nitrogênio presente na atmosfera, através da redução do mesmo, disponibilizando o elemento para a planta, estabelecendo uma relação de simbiose entre planta-microorganismo.

Vários trabalhos têm mostrado dados indicando a ocorrência de fixação biológica de N em cana, com estimativas de contribuição de até 210 kg ha<sup>-1</sup> ano de N. Um número considerável de bactérias com capacidade de fixar N<sub>2</sub> atmosférico, associado a cana-de-açúcar, tem sido identificado (URQUIAGA *et al.*, 1992). Bactérias diazotróficas podem associar-se naturalmente ou através de inoculação em cana-de-açúcar.

Atualmente são conhecidas mais de 140 espécies de bactérias diazotróficas, incluindo cianobactérias e actinomicetos (YOUNG, 1992). A associação entre bactérias diazotróficas e a cana-de-açúcar envolve diversos gêneros bacterianos e mecanismos singulares ainda pouco conhecidos (JAMES, 2000). A Embrapa Agrobiologia tem demonstrado que bactérias diazotróficas associadas naturalmente a cana-de-açúcar conseguem contribuir com até 60% das necessidades de N da cultura (BODDEY *et al.*, 2003).

Características ligadas ao genótipo tais como a eficiência fotossintética, exigências nutricionais e resistência às condições adversas podem apresentar influencia na eficiência da fixação de nitrogênio pelas bactérias (REIS JUNIOR *et al.* 2000).

Dados mostram que a inoculação com uma mistura de bactérias é a melhor estratégia para melhorar a associação planta-bactéria (OLIVEIRA *et al.*, 2000). Resultados semelhantes foram demonstrados na Índia em 4 variedades de cana inoculadas com uma mistura de bactérias diazotróficas e fungos micorrizicos, produzindo uma resposta equivalente a metade da dose de nitrogênio recomendado naquele país (MUTHUKUMARASAMY *et al.*, 1999).

A fixação biológica contribuiu com 170 kg. ha<sup>-1</sup> de nitrogênio para a variedade CB45-3, 150 kg. ha<sup>-1</sup> para a CB47-89 e 210 kg. ha<sup>-1</sup> para a SP 70-1143, variando entre 60 – 70% do fornecimento de nitrogênio para o desenvolvimento da planta (URQUIAGA *et al.*, 1992).

Com isso, estudar as formas de inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio em condições naturais, ou seja, a campo, permite um passo para melhor entendimento das diversas interações que ocorram entre planta – microorganismo bem como um possível efeito residual nos ciclos posteriores, sendo este o objetivo deste trabalho.

### Material e Métodos

O ensaio foi conduzido em área da Usina da Pedra, município de Serrana – SP. Os atributos físico-químicos do solo no qual o ensaio foi instalado encontra-se na (Tabela 1). A variedade de cana utilizada no experimento foi a RB 86-7515, apresentando as seguintes características: alta produtividade agrícola e rusticidade, médio teor de sacarose, perfilhamento médio, colheita entre julho a outubro, tolerante as principais doenças com intermediária resistência a broca.

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo.

pH	M.O	P	K	H	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	Argila	Areia
CaCl <sub>2</sub>	g.dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	.....mmol.c.dm <sup>-3</sup> .....			.....%.....						
4,9	13	7	0,1	1,8	0	1,6	0,4	2,1	3,9	53,84	17	81,4

DmLab: 2013.

No ciclo de cana-planta (safra12/13) e no presente estudo (safra 13/14), as adubações nitrogenadas foram reaplicadas conforme esquema a seguir, sendo as adubações com fósforo e potássio, de acordo com RAIJ *et al.*,t (1996), ou seja, 30 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 120 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

**Tratamento 1.** (0 kg.ha<sup>-1</sup> N em cana-planta) + ( 0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)

**Tratamento 2.** (30 kg.ha<sup>-1</sup> de N em cana -planta) +(30 kg.ha<sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)

**Tratamento 3.** (60 kg.ha<sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (60 kg.ha<sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)

**Tratamento 4.** (90 kg.ha<sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (90 kg.ha<sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)

**Tratamento 5.** Inoculação Padrão Embrapa (Imersão dos toletes em solução durante 1 hora em cana-planta) + (0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira).

**Tratamento 6.** (Pulverização com solução Padrão Embrapa em cana-planta) + ( 0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)

**Tratamento 7.** (Pulverização com inoculante líquido em cana-planta) + ( 0 kg.ha<sup>-1</sup> N na 1ª soqueira).

A solução Padrão Embrapa consistiu em diluir 1250 g de inoculante turfoso em 300 litros de água, visando uma solução contendo 107 células por litro de calda. Em seguida os rebolos de cana foram imersos nessa solução por 1 hora. Essa mesma solução foi utilizada no tratamento de pulverização, aplicado nos rebolos de cana-de-açúcar, por ocasião do plantio. A pulverização com inoculante líquido consiste na aplicação de solução específica, contendo os mesmos inoculantes da solução da Embrapa, sem a turfa como veículo inerte, aplicado nos rebolos de cana-de-açúcar, por ocasião do plantio.

Todos esses inoculantes possuem as seguintes estirpes: BR11335 (*Herbaspirillum seropedicae*), BR11504 (*Herbaspirillum rubrisubalbicans*), BR11281T (*Gluconacetobacter diazotrophicus*), BR11366T (*Burkholderia tropical*) and BR11145 (*Azospirillum amazonense*).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com sete tratamentos, 4 repetições, totalizando vinte e oito parcelas.

As parcelas foram constituídas por cinco linhas de cana, espaçadas de 1,5 m por 10 m de comprimento. A área total da parcela será de 75 m<sup>2</sup> e a área útil será de 45 m<sup>2</sup> correspondendo às três linhas centrais, desprezando 1 metro em cada extremidade. Na seqüência segue o croqui do ensaio.

Foram avaliados os teores de Brix, Fibra, Pureza, Pol, açúcares redutores (%) cana e ATR, e o rendimento de colmos por hectare por metodologia de biometria em todas as parcelas (área útil), no momento da colheita.

### Resultados e Discussões

Observa-se pelos valores médios expressos na (Tabela 2) que o tratamento envolvendo a inoculação por imersão de toletes antes do plantio por uma hora proporcionou valores médios de produtividade para a primeira soqueira superior ao tratamento onde não houve a fertilização nitrogenada no plantio. Entretanto, se comparado aos demais tratamentos envolvendo a inoculação por pulverização e ainda pela adubação nitrogenada no plantio, o tratamento por imersão propiciou os mesmos valores médios para produtividade da soqueira.

Sendo assim, o nitrogênio, por participar de diversos processos metabólicos da planta, participa diretamente na produtividade de um canavial. Dessa forma, ao comparar o tratamento 5 com o tratamento 1, ambos sem receber adubação nitrogenada na fertilização da soqueira, nota-se um ganho de mais 20 t.ha<sup>-1</sup>, provavelmente devido ao efeito do nitrogênio na planta, fornecido unicamente via fixação biológica de nitrogênio. Entretanto, nota-se uma similaridade entre os tratamentos envolvendo adubação nitrogenada no plantio e também na soqueira comparados ao tratamento 1, que não recebeu N em nenhuma fertilização. Um fator que pode explicar a semelhança obtida entre esses tratamentos diz respeito a variedade em questão, pois trata-se de um material estável com baixa resposta a aplicação de tecnologia, entretanto indicado para ambientes restritivos e o ambiente de produção ser desfavorável, ou seja, o solo possui características distróficas, conforme dados da (Tabela 1).

Em acordo com o obtido neste estudo, OLIVEIRA *et al.* (2000) estudaram a inoculação com uma mistura de cinco espécies de bactérias diazotróficas endofíticas em duas variedades micropropagadas de cana-de-açúcar em diferentes solos, verificando que as maiores contri-

buições da FBN foram observadas no Planossolo, chegando a 31,3% no primeiro corte da variedade SP 70-1143 e 42,7% no segundo corte da variedade SP 81-3250, tendo esta variedade aumento significativo na produtividade devido a FBN.

Na Índia foi verificada a eficiência de inoculação de *Azospirillum* e *Azobacter* em cana-de-açúcar no aumento de produtividade em cana-de-açúcar, ficando os resultados apenas como indicativo da diferença entre a testemunha não inoculada e do tratamento inoculado (cerca de 20%), de que pode ter ocorrido pela FBN (SHANKARIAH & HUNSIGI, 2001).

**Tabela 2.** Valores médios para Tonelada de Colmos por Hectare (TCH) na primeira soca.

Tratamentos	Rendimento de colmos (TCH)
T1: (0 kg.ha <sup>-1</sup> N em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	99,83 b
T2: (30 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana -planta) +(30 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	111,39 ab
T3: (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	113,93 ab
T4. (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	108,46 ab
T5: Inoculação Padrão Embrapa (Imersão dos toletes em solução durante 1 hora em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira).	120,62 a
T6: (Pulverização solução Padrão Embrapa em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	106,16 ab
T7: (Pulverização com inoculante líquido em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	110,11 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 10% de probabilidade.

Em relação as principais características tecnológicas da cana-de-açúcar (Tabelas 3, 4 e 5), nota-se que não houve diferença estatisticamente significativa em função das doses de nitrogênio e da forma de aplicação do inoculante líquido ou solução padrão Embrapa contendo as estirpes de bactérias fixadoras de N aplicadas no ciclo de cana-planta e seus efeitos residuais na primeira soqueira, conforme descrição dos tratamentos, com exceção do tratamento 1 para teor de fibra (%) cana. Neste tratamento, devido as doses de nitrogênio terem sido nulas, tanto em cana planta, como na primeira soqueira, propiciou um maior acumulo de fibra, se comparado ao tratamento 5, envolvendo inoculação por imersão prolongada, conforme pode ser analisado na (Tabela 3).

Tanto o excesso quanto a deficiência de nitrogênio têm influência na qualidade tecnológica dos colmos. Em condições de deficiência de nitrogênio, decresce o teor de umidade na planta, como consequente diminuição da qualidade do caldo, aumento no teor de fibra, diminuição na concentração de sacarose no colmo, acumulo de sacarose nas folhas e alta relação folha: colmo. Em plantas com excesso de nitrogênio, ocorre acumulo desse nutriente no colmo, decréscimo na qualidade do caldo e atraso na maturação (SILVEIRA E CRÓCOMO, 1990).

**Tabela 3.** Valores médios para teores de Fibra, Pol cana em função dos tratamentos aplicados na primeira soca.

Tratamento	Fibra (%) cana	Pol cana
T1:(0 kg.ha <sup>-1</sup> N em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	13,95 b	14,69 a
T2: (30 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana -planta) +(30 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	12,45 ab	16,50 a
T3: (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	11,82 ab	16,70 a
T4. (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	11,43 ab	16,37 a
T5: Inoculação Padrão Embrapa (Imersão dos toletes em solução durante 1 hora em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira).	12,3 a	15,80 a
T6: (Pulverização solução Padrão Embrapa em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	12,11 ab	16,75 a
T7: (Pulverização com inoculante líquido em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	12,23 ab	16,14 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a nível de 10% de probabilidade.

**Tabela 4.** Valores médios para teores de AR e Pureza (%) cana em função dos tratamentos aplicados na primeira soca.

Tratamento	AR (%)	Pureza (%)
	cana	cana
T1:(0 kg.ha <sup>-1</sup> N em cana-planta) + ( 0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	0,48 a	89,07 a
T2: (30 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana -planta) +(30 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	0,43 a	91,09 a
T3: (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	0,44 a	90,97 a
T4. (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	0,50 a	88,91 a
T5: Inoculação Padrão Embrapa (Imersão dos toletes em solução durante 1 hora em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira).	0,51 a	88,39 a
T6: (Pulverização solução Padrão Embrapa em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	0,42 a	91,54 a
T7: (Pulverização com inoculante líquido em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	0,43 a	91,16 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade.

**Tabela 5.** Valores médios para teores de Brix (%) cana e Açúcares Totais Recuperáveis em função dos tratamentos aplicados na primeira soca.

Tratamento	Brix (%)	ATR
	cana	
T1:(0 kg.ha <sup>-1</sup> N em cana-planta) + ( 0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	20,09 a	144,31 a
T2: (30 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana -planta) + (30 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	21,57 a	161,18 a
T3: (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (60 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	21,62 a	163,17 a
T4. (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N em cana-planta) + (90 kg.ha <sup>-1</sup> de N na 1ª soqueira)	21,52 a	160,58 a
T5: Inoculação Padrão Embrapa (Imersão dos toletes em solução durante 1 hora em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira).	21,23 a	155,20 a
T6: (Pulverização solução Padrão Embrapa em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	21,66 a	163,39 a
T7: (Pulverização com inoculante líquido em cana-planta) + (0 kg.ha <sup>-1</sup> N na 1ª soqueira)	20,99 a	157,70 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade.

### Conclusão

De acordo com as condições de ambiente de produção e a variedade estudada, conclui-se que houve maior rendimento de colmos na primeira soca promovido pela inoculação de bactérias diazotróficas via imersão em comparação com a testemunha não fertilizada.

### Referências Bibliográficas.

- BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; REIS, V.M. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. *Plant and Soil, the Hague*, v. 252, p.139—149, 2003.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar – safra 2015/2016, janeiro/2016.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>. Acesso em:05/04/2016.
- JAMES, E. K. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis. *Field Crops Research*, v.65, p. 93-106, 2000.



- MUTHUKUMARASAMY, R.; REVATHI, G.; LAKSHMINASIMHAN, C. Influence of nitrogen fertilization on the isolation of *Acetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum spp.* From Indian sugarcane varieties. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 29, p. 157-164, 1999.
- OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; DOBEREINER, J. I.; BALDANI, J. I.; Biological nitrogen fixation (BNF) in micropropagated sugarcane plants inoculated with different endophytic diazotrophic bacteria. In: PEDROSA, F. O.; HUNGRIA, M.; YATES, M. G.; NEWTON, W.E. (Ed.). **Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity**. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 425 p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: INSTITUTO AGRONômICO – FUNDAÇÃO IAC, 1996. 285 p.
- REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L.; DOBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plants Sciences**, v.19, p.227-247, 2000.
- REIS, V.M. et.al. Eficiência agronomica do inoculante de cana-de-açúcar aplicado em três ensaios conduzidos no Estado do Rio de Janeiro durante o primeiro ano de cultivo. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009, 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 45).
- SHANKARIAH, C.; HUNSIGI, G. Field response of sugarcane to associative N<sub>2</sub> fixers and P solubilizers. In: HOARTH, D. M. (Ed.) **Proceeding of the 24<sup>th</sup> International Society of Sugar Cane Technologists Congress, 17-21 September 2001**. The Australian Society of Sugarcane Technologists, Brisbane, p. 40-45.
- SILVEIRA, J. A. G.; CROCOMO, O. J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 2, n. 2, p. 7-15, 1990.
- URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen-fixation to sugarcane: nitrogen 15 and nitrogen balance estimate. **Soil Science of American Journal**, Palo Alto, v. 56, p. 105-114, 1992.
- YOUNG, J. P. W. Phylogenetic classification of nitrogen-fixing organisms. In: STANCEY, G.; BURRIS, R.H.; EVANS, J., (Ed.) **Biological Nitrogen Fixation**. New York: Chapman, p. 43-86, 1992.

PRAGAS

## AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE PROGÊNIES DE IRMÃOS COMPLETOS À BROCA-DA-CANA

Adriano Cirino Tomaz<sup>1</sup>, Mateus Teles Vital Gonçalves<sup>2</sup>, Guilherme Augusto de Mouras Araújo<sup>2</sup>, Alan Eurico Coutinho<sup>2</sup>,  
Bruno Portela Brasileiro<sup>4</sup>, Márcio Henrique Pereira Barbosa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estudante de Doutorado, departamento de fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa,

<sup>2</sup> Estudante de agronomia, Universidade Federal de Viçosa,

<sup>3</sup> Professor associado, departamento de fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa.

<sup>4</sup> Professor adjunto, departamento de fitotecnia e fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná

*adrianotomaz86@gmail.com*

### Resumo

A broca-da-cana *Diatraea saccharalis* Fabr. (Lepidoptera: Crambidae) é uma das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil. O uso de variedades resistentes é uma alternativa para minimizar as perdas causadas por esta praga. Programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar nos Estados Unidos da América tem obtido sucesso na seleção de variedades resistentes à esta praga. No entanto, a falta de estudo sobre parâmetros genéticos e métodos de seleção no Brasil tem dificultado o desenvolvimento de variedades resistentes por programas de melhoramento genético nacionais. O objetivo desse trabalho foi estimar parâmetros genéticos para a resistência à broca em famílias de cana-de-açúcar, na primeira fase de teste (T1) pela avaliação do índice de infestação de 46 famílias de irmãos completos. A herdabilidade para média de famílias foi mais alta do que a herdabilidade entre indivíduos, indicando que a seleção de famílias é mais eficiente do que a seleção massal. O efeito genético aditivo foi mais importante do que o efeito de dominância, indicando que a seleção de genitores potenciais pode ser feita apenas pelo efeito genético aditivo dos genitores. A seleção de genitores potenciais e de progênies mais resistentes pode aumentar a resistência de populações de cana-de-açúcar à broca-da-cana.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, pragas, melhoramento genético

### Summary

Sugarcane borer *Diatraea saccharalis* Fabr. (Lepidoptera: Crambidae) is one of the major pests of sugarcane in Brazil. The use of resistant varieties is an alternative to reduce the losses caused by this pest. Sugarcane breeding programs in United States have successfully selected varieties resistant to this pest. However, the lack of studies about genetic parameters and selection methods for sugarcane borer resistance in Brazil hinders the development of resistant varieties by Brazilian sugarcane breeding programs. Therefore, this study aimed to estimate genetic parameters and compare selection methods to sugarcane borer resistance in early stages of selection (seedling stage) by assessing infestation indice of 46 full-lib progenies. The heritability for family means was higher than heritability for individuals, indicating that selection by progeny means is more effective than mass selection. The genetic additive effect was more important than dominance effect, indicating that selection of potential genitors may be performed only by genetic additive effect of genitors. The selection of potential genitors and more resistant progenies may enhance the resistance of sugarcane populations to sugarcane borer.

**Keywords:** Sugarcane, pests, crop breeding.

### Introdução

A broca-da-cana *Diatraea saccharalis* Fabr. (Lepidoptera: Crambidae) é uma das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil estando amplamente distribuída pelo país (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2008). As principais formas de controle dessa praga atualmente empregadas no Brasil são o uso do parasitoide *Cotesia flavipes* e o uso de inseticidas químicos (BOTELHO E MACEDO, 2002, DINARDO-MIRANDA, 2008). No entanto, o desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar mais resistentes a esta praga é de grande interesse para o setor devido à redução no custo de produção e da perda de produção causadas por essa praga. Há um consenso de que o cultivo de plantas geneticamente resistentes é o meio mais viável economicamente e mais apropriado para o manejo de pragas e doenças.

Estudos sobre métodos de seleção para resistência (MILLIGAN *et al.*, 2003; WHITE, 1993a; WHITE *et al.*, 2001, KIMBENG *et al.*, 2006) e liberação de cultivares resistentes (WHITE *et al.*, 1998; 1993b; 2011) tem sido publicado, indicando a possibilidade de desenvolvimento de variedades resistentes por métodos de melhoramento genéticos tradicionais. No entanto, esses trabalhos foram realizados nos Estados Unidos, não havendo trabalhos realizados no Brasil, o que tem dificultado o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar resistentes à broca-da-cana por programas de melhoramento genético brasileiros.

O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos em famílias de cana-de-açúcar e selecionar genitores potenciais e famílias para resistência à broca-da-cana.

### Material e Métodos

As sementes de cana-de-açúcar foram obtidas de hibridações realizados na estação de florescimento e cruzamento da Serra do Ouro, localizada no município de Mucuri, no estado de Alagoas. Em março de 2014, essas sementes foram germinadas em casa-de-vegetação no Centro de Pesquisa e Melhoramento da Cana-de-Açúcar (CECA) da Universidade Federal de Viçosa, em parceria com a Rede Inter-universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucro-energético (RIDESA) (BARBOSA *et al.*, 2012), localizada no município de Oratórios, no estado de Minas Gerais, Brasil. Em dezembro de 2014 as mudas foram transplantadas em uma fazenda no município de Iturama – MG.

As famílias foram divididas em dois experimentos na mesma área, contendo 24 famílias cada, conduzidos no delineamento em blocos casualizados com 4 repetições. As famílias 943 e 1046 foram plantadas nos dois experimentos para serem usadas como controle. Cada parcela foi constituída por um sulco (14,5 metros) contendo 25 plantas (touceiras) de cada família. O espaçamento entre sulcos foi de 1,5 m e o espaçamento entre touceiras foi de 0,6 m. As plantas foram adubadas com 400 kg/ha de 04-30-16 (N-P-K). Não foi feito controle de broca-da-cana na área dos experimentos.

A avaliação da injúria por broca-da-cana foi realizada em julho de 2015. Dez touceiras por parcela foram escolhidas de forma aleatória para avaliação. Dois colmos por touceira foram colhidos e o número de entrenós totais e o número de entrenós broqueados foram contados para calcular a porcentagem de entrenós broqueados por colmo. O índice de infestação por touceira foi calculado pela média das duas touceiras. Cada família foi representada por aproximadamente 40 indivíduos (4 parcelas x 10 plantas/parcela).

Os dados de índice de infestação foram avaliados utilizando-se o software Selegen-REML/BLUP (Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos) (REZENDE, 2006). Os modelos utilizados foram:

$y = Xr + Zg + Wj + \varepsilon$ ; para seleção com base na média das famílias;

$y = Xr + Za + Wj + Td + \varepsilon$ ; para seleção de genitores potenciais,

sendo,  $y$  o vetor dos dados,  $r$  o vetor de efeito fixo de repetição,  $g$  o vetor de efeito aleatório de famílias,  $j$  o vetor de efeito aleatório de parcelas,  $a$  o vetor de efeito genético aditivo,  $d$  o vetor de efeito genético de dominância (para famílias de irmãos completos) e  $\varepsilon$  o vetor de resíduos ou erro aleatório. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência dos referidos efeitos. Os componentes de variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a significância dos efeitos foi testada pela análise de deviance. Os valores genotípicos foram estimados via melhor predição linear não viesada (BLUP) (RESENDE, 2006).

## Resultados e Discussão

A variância genotípica para efeito de progênes foi significativa (Tabela 1) indicando diferença entre média de famílias. Além do mais, a herdabilidade e acurácia para seleção pela média de progênes foi elevada, enquanto a herdabilidade a nível de indivíduos foi baixa, indicando que a seleção pela média de progênes é mais eficiente do que a seleção massal. Os resultados deste trabalho estão de acordo com WHITE *et al.* (2001), no qual a herdabilidade para média de progênes foi alta (0,76) enquanto a herdabilidade individual foi baixa (0,14) para resistência à broca-da-cana, indicando que a seleção de progênes é mais eficiente do que a seleção massal. Sendo assim, a seleção das melhores famílias pode aumentar a resistência de populações de cana-de-açúcar usadas em programas de melhoramento genético.

A variância devido a efeitos genéticos aditivos foi significativa, enquanto a variância de capacidade específica de combinação ou efeito de dominância foi não significativa, indicando que o efeito genético aditivo é mais importante do que o efeito de dominância para resistência de cana-de-açúcar à broca-da-cana, estando esses resultados de acordo com os encontrados por WHITE *et al.*, (2001). Sendo assim, a seleção de genitores potenciais pode ser realizada pelo efeito genético aditivo ou capacidade geral de combinação dos genitores, não levando em conta a capacidade específica de combinação ou efeitos de dominância.

A acurácia das estimativas dos efeitos aditivos dos genitores variou entre 0,53 e 0,86. Essa variação ocorreu devido ao diferente número de cruzamentos nos quais os genitores participaram. Os genitores representados em somente um cruzamento mostraram acurácia relativamente baixa, (< 0,70) enquanto os genitores representados em dois ou mais cruzamentos mostraram acurácias maiores que 0,70. Portanto, a seleção de genitores pelo seu efeito aditivo, deve ser realizada apenas para aqueles que estão representados em mais de dois cruzamentos. No entanto, devido à dificuldade de sincronização do florescimento dos genitores, isso nem sempre é possível. Resultados encontrados por KIMBENG *et al.*, (2006), indicam que a seleção e cruzamento entre os genitores mais resistentes pode aumentar a resistência de populações de cana-de-açúcar à broca-da-cana.

**Tabela 1.** Parâmetros genéticos obtidos via REML para seleção de progênes e genitores para resistência à broca-da-cana

Seleção com base na média de famílias	Seleção de genitores potenciais
$\sigma^2_p = 15,52^{**}$	$\sigma^2_a = 37,03^{**}$
$\sigma^2_{pr} = 16,79^{**}$	$\sigma^2_{pr} = 15,35^{**}$
$\sigma^2 = 211,47$	$\sigma^2_d = 0,35^{NS}$
$\sigma^2_f = 243,79$	$\sigma^2 = 192,92$
$h^2_{mp} = 0,77$	$\sigma^2_f = 245,64$
$Ac = 0,88$	$h^2_a = 0,151$
$h^2_g = 0,156$	$c^2_d = 0,001$
Média geral = 24,35	Média geral = 24,35

$\sigma^2_p$  = Componente de variância genotípica entre progênes de irmãos completos, equivalendo a (1/2) da variância genética aditiva mais (1/4) da variância genética de dominância, ignorando-se a epistasia,  $\sigma^2_{pr}$  = Componente de variância ambiental entre parcelas,  $\sigma^2$  = componente de variância residual dentro de parcelas,  $\sigma^2_f$  = Componente de variância fenotípica,  $h^2_{mp}$  = herdabilidade da média de progênes,  $Ac$  = acurácia da seleção de progênes,  $h^2_g$  = herdabilidade individual no sentido amplo dentro das parcelas, ou seja, dos efeitos genotípicos totais,  $\sigma^2_a$  = componente de variância genética aditiva,  $\sigma^2_d$  = componente de variância da capacidade específica de combinação ou variância genética de dominância entre famílias de irmãos completos,  $h^2_a$  = herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos. NS = não significativo, \* significativo a 5%, \*\* = significativo a 1%.

Considerando-se os genitores representados em mais de dois cruzamentos, os genitores mais promissores para formação de populações de cana-de-açúcar mais resistentes foram: RB987649, RB988137, RB928064, RB966928, RB008041 e RB027060 (Tabela 2). O uso desses genitores para cruzamentos permite a formação de populações de cana-de-açúcar mais resistentes à broca-da-cana.

**Tabela 2.** Valores genéticos de genitores e genotípicos de progênies estimados via BLUP para resistência à broca-cana.

Seleção de genitores potenciais					Seleção de famílias				
Ordem	Genitor	a	Acurácia	Cruzamentos	Ordem	fêmea	macho	u+g	n
1	RB008133	6.9375	0.5592	1	1	RB027046	RB008133	30.4052	40
2	RB027046	6.9375	0.5592	1	2	RB867515	RB008296	30.399	40
3	RB867515	6.6479	0.8562	6	3	RB867515	SP83-2847	29.6952	40
4	RB008296	6.479	0.7495	2	4	RB998132	RB998025	29.3384	40
5	RB957751	6.4478	0.7089	2	5	RB867515	RB855156	29.0852	40
6	RB965902	5.3158	0.7675	3	6	RB047121	RB965902	28.8431	40
7	SP83-2847	4.7634	0.799	4	7	RB977543	RB008296	28.6665	80
8	RB998132	3.7892	0.5589	1	8	RB957751	RB027042	28.5224	30
9	RB998025	3.7892	0.5589	1	9	RB867515	RB965518	28.3831	40
10	RB99382	2.7869	0.6527	1	10	SP83-2847	RB987935	28.2593	40
11	RB027042	2.7662	0.5743	1	11	RB855453	RB965902	28.1389	40
12	RB835054	2.6957	0.7776	2	12	SP77-5181	RB867515	28.036	40
13	RB975201	2.5417	0.7437	2	13	RB99382	RB92579	27.9382	40
14	RB987935	2.1212	0.706	2	14	RB99395	RB92579	27.8404	40
15	RB965518	2.0847	0.6558	1	15	RB987935	SP83-2847	27.7451	40
16	RB047121	2.0236	0.6218	1	16	SP83-2847	RB975201	27.6455	40
17	RB008004	1.5906	0.5317	1	17	RB965902	SP83-5073	27.5535	40
18	RB975184	1.5906	0.5317	1	18	RB92579	RB835054	27.4649	30
19	SP77-5181	1.5051	0.6558	1	19	RB835054	RB92579	27.3721	80
20	RB977543	1.4209	0.6746	1	20	RB975184	RB008004	27.2742	30
21	RB99395	1.0523	0.7584	2	21	RB957751	RB928064	27.1673	40
22	RB92579	0.9742	0.851	8	22	RB975201	RB966928	27.0574	40
23	RB855453	0.9125	0.6218	1	23	SP83-5073	RB92579	26.9472	40
24	RB947520	0.7917	0.6478	1	24	RB935907	RB947663	26.837	40
25	RB947663	0.4319	0.5592	1	25	RB961003	RB027060	26.7233	40
26	RB935907	0.4319	0.5592	1	26	RB997751	RB988082	26.6153	40
27	RB04820	0.4014	0.6478	1	27	RB951541	RB937570	26.5113	40
28	RB997751	0.0188	0.5592	1	28	RB931556	RB937570	26.4045	40
29	RB988082	0.0188	0.5592	1	29	RB947520	RB928064	26.293	40
30	RB937570	-0.5976	0.7148	2	30	RB928064	RB04820	26.1808	40
31	SP83-5073	-0.7085	0.8018	3	31	RB008041	RB92579	26.0746	40
32	RB937510	-1.3255	0.6202	1	32	RB979505	SP85-3877	25.9685	40
33	RB987933	-1.43	0.5991	1	33	RB987933	RB931556	25.8566	40
34	RB855156	-1.7963	0.7467	2	34	TUC71-7	SP83-5073	25.7512	40
35	RB979505	-2.1692	0.5589	1	35	RB027060	RB961003	25.6444	40
36	SP85-3877	-2.1692	0.5589	1	36	RB867515	RB987649	25.5362	40
37	TUC-717	-2.2336	0.625	1	37	RB92579	RB008041	25.4196	40
38	RB931556	-2.3282	0.7078	2	38	RB988137	RB937510	25.3016	36
39	RB961003	-2.4459	0.7613	3	39	RB92579	RB986419	25.1844	40
40	RB951541	-2.6206	0.7357	2	40	RB928064	RB961003	25.064	40
41	RB027060	-4.2942	0.7355	3	41	RB988137	RB99395	24.9483	34
42	RB008041	-4.5679	0.7399	2	42	RB987649	RB867515	24.8377	40
43	RB966928	-5.0588	0.7245	2	43	RB966928	RB855156	24.7289	40
44	RB986419	-5.5243	0.6562	1	44	RB988137	RB951541	24.621	40
45	RB876030	-6.5624	0.6478	1	45	RB876030	RB928064	24.4862	40
46	RB928064	-6.5631	0.8215	5	46	RB027060	RB957506	24.354	30
47	RB957506	-6.7238	0.576	1					
48	RB988137	-9.6329	0.7549	3					
49	RB987649	-10.5162	0.7393	2					

a = valor genético aditivo, u+g = valor genotípico de famílias somados à média geral,

n = número de indivíduos avaliados .

As progênies mais resistentes à broca-da-cana foram: RB027060 x RB957506, RB876030 x RB928064, RB988137 x RB951541, RB966928 x RB855156, RB987649 x RB867515, RB988137 x RB99395. A seleção de indivíduos dessas progênies pode aumentar a resistência das populações a serem utilizadas nas próximas fases de seleção para resistência à broca-da-cana.

### Conclusões

O efeito genético aditivo é mais importante do que o efeito de dominância na resistência de cana-de-açúcar à broca-da-cana. A seleção de progênies é mais eficiente do que a seleção massal para resistência à broca-da-cana. A seleção de genitores potenciais e de progênies pode aumentar a resistência de populações de cana-de-açúcar à broca-da-cana.

### Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudos e à Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucro-alcooleiro (RIDESA) pelo apoio técnico nos trabalhos.

### Referências Bibliográficas

- Barbosa, M.H.P., Resende, M.D.V., Dias, L.A.S., Barbosa, G.V.S., Oliveira, R.A., Peternelli, L.A. e Daros, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. S2:87-98. 2012.
- Botelho, P.S.M., Macedo, N. Cotesia flavipes no controle de *Diatraea saccharalis*. In: Parra, R.P., Botelho, P.S.M., Correa-Ferreira, B.S. e Bento, J.M.S. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. Manole, São Paulo, Brazil. P. 409-425. 2002.
- Dinardo-Miranda, L.L. Pragas da cana-de-açúcar. In: Dinardo-Miranda, L.L., Vasconcelos, A.C.M. e Landell, M.G. (editores). Cana-de-açúcar. **Instituto Agronômico de Campinas**, 2008. Campinas, Brazil. p. 349-404.
- Kimbeng, C.A., White, W.H., Miller, J.D. e Legendre, B.L. Sugarcane resistance to the sugarcane borer: **Response to infestation among progeny derived from resistant and susceptible parents**. **Sugar Cane Int.** 24:14–21. 2006.
- Milligan, S.B., Balzarini M. e White, W.H. Broad-sense heritabilities, genetic correlations, and selection indices for sugar-cane borer resistance and their relation to yield loss. **Crop Sci.** 43:1729-1735. 2003.
- Resende, M.D.V. O software Selegen-REML/BLUP. Documentos **EMBRAPA**, Campo Grande. 2006.
- White, W.H. Cluster analysis for assessing sugarcane borer resistance in sugarcane line trials. **Field Crops Res.** 33:159-168. 1993a.
- White, W.H., Burner, D.M., Legendre, B.L., e Miller, J.D. Registration of 12 sugarcane germplasm clones resistant to sugarcane borer: HoCP 92–678, HoCP 93–775, HoCP 93–776, US 93–15 to US 93–17, and US 96–1 to US 96–6. **Crop Sci.** 38:1726–1727. 1998.
- White, W.H., Legendre, B.L. e Miller, J.D. Progress in breeding for sugarcane borer resistance. **Sugar Cane** 5:3–7. 1996.
- White, W.H., Legendre, B.L., Miller, J.D. e Dunkelman, J.W. Registration of five sugarcane borer resistant sugarcane germplasm clones. **Crop Sci.** 33:348–349. 1993b.
- White, W.H., Miller, J.D., Milligan, S.B., Burner, D.M. e Legendre, B.L. Inheritance of sugarcane borer resistance in sugarcane derived from two measures of insect damage. **Crop Sci.** 41:1706–on the arthropod fauna of a Louisiana sugarcane field. **Environ.** 1710. 2001.

## PARÂMETROS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE CLONES DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA RESISTÊNCIA À BROCA-DA-CANA

Mateus Teles Vital Gonçalves<sup>1</sup>, Adriano Cirino Tomaz<sup>2</sup>, Márcio Henrique Pereira Barbosa<sup>3</sup>, Bruno Portela Brasileiro<sup>4</sup>, Alan Eurico Coutinho<sup>5</sup>, Guilherme Augusto de Mouras Araújo<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa,

<sup>2</sup> Estudante de Doutorado em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa

<sup>3</sup> Professor associado do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa,

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná,

<sup>5</sup> Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa,

mteles220493@gmail.com

### Resumo

A broca-da-cana *Diatraea saccharalis* Fabr. (*Lepidoptera: Crambidae*) é uma das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil. O uso de variedades resistentes é uma alternativa para minimizar as perdas causadas por esta praga. Programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar nos Estados Unidos tem obtido sucesso na seleção de variedades resistentes a esta praga. No entanto, a falta de estudo sobre parâmetros genéticos e métodos de seleção no Brasil tem dificultado o desenvolvimento de variedades resistentes por programas brasileiros de melhoramento genético. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e comparar métodos de seleção para resistência à broca pela avaliação do índice de infestação de 27 clones e três variedades de cana-de-açúcar plantados em três municípios de Minas Gerais. A variância genotípica foi significativa apenas em ambientes com altas infestações naturais, indicando que a seleção para resistência à broca-da-cana em locais com baixas infestações naturais é menos eficiente. A interação genótipo x ambiente não é importante para resistência de cana-de-açúcar à broca-da-cana. Sendo assim, a seleção de clones para resistência à broca pode ser realizada em apenas um ambiente. Os resultados deste trabalho podem auxiliar no desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar resistentes à broca-da-cana por programas de melhoramento genético.

**Palavras-chave:** Praga; melhoramento genético; interação genótipo x interação ambiente.

### Summary

Sugarcane borer *Diatraea saccharalis* Fabr. (*Lepidoptera: Crambidae*) is one of the major pests of sugarcane in Brazil. The use of resistant varieties is an alternative to reduce the losses caused by this pest. Sugarcane breeding programs in United States have successfully selected varieties resistant to this pest. However, the lack of studies about genetic parameters and selection methods for sugarcane borer resistance in Brazil hinders the development of resistant varieties by Brazilian sugarcane breeding programs. Therefore, this study aimed to estimate genetic parameters and compare selection methods to sugarcane borer resistance. The infestation index of 27 sugarcane clones and three commercial varieties planted in three counties of Minas Gerais state were assessed. The selection of sugarcane for borer resistance is only effective in locations with higher natural infestations. The genotype x environment interaction was not important for sugarcane borer resistance. Therefore, the selection for borer resistance may be performed in only one location. It is desirable in sugarcane breeding program due the high demand for man-power to assess sugarcane borer damage. The results from this study may aim the selection and development of sugarcane varieties resistant to sugarcane borer by Brazilian sugarcane programs.

**Keywords:** Pest; Breeding; interaction genotype x environment interaction.

### Introdução

A broca-da-cana *Diatraea saccharalis* Fabr. (*Lepidoptera: Crambidae*) é uma das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil estando amplamente distribuída pelo país (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2008). O dano é causado pelas lagartas que broqueiam o caule, causando a morte de grande quantidade de perfilhos em plantas jovens e grande perda de produtividade em plantas mais desenvolvidas. Além do mais, a broca-da-cana favorece a entrada de patógenos que causam a podridão vermelha, que prejudica o processo de fermentação do caldo para produção de álcool e o processo de cristalização na produção de açúcar (BOTELHO & MACEDO, 2002; DINARDO-MIRANDA, 2008; DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2012).

As principais formas de controle dessa praga atualmente empregadas no Brasil são o uso do parasitoide *Cotesia flavipes* e o uso de inseticidas químicos (DINARDO-MIRANDA, 2008). No entanto, o desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar mais resistentes a esta praga é de grande interesse para o setor devido à redução no custo de produção e da perda de produção causadas por essa praga. Há um consenso de que o cultivo de plantas geneticamente resistentes é o meio mais viável economicamente e mais apropriado para o manejo de pragas e doenças.

Estudos sobre mecanismos de resistência de cana-de-açúcar à broca-da-cana (COBURN & HENSLEY, 1972; WHITE, 1993a; WHITE *et al.*, 2006), métodos de seleção para resistência (MILLIGAN *et al.*, 2003; WHITE, 1993b; WHITE *et al.*, 2001) e liberação de cultivares resistentes (WHITE *et al.*, 1998; 1993; 2011) tem sido publicado, indicando a possibilidade de desenvolvimento de variedades resistentes por métodos de melhoramento genéticos tradicionais. No entanto, esses trabalhos foram realizados nos Estados Unidos. Os poucos estudos realizados no Brasil foram feitos para comparação da resistência de genótipos (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2012, 2013), não levando em conta parâmetros genéticos como herdabilidade, interação genótipo x ambiente, ganho de seleção entre outros, que são essenciais em processos de seleção realizados por programas de melhoramento genético. O objetivo deste trabalho foi avaliar estimar parâmetros genéticos como acurácia de seleção, interação genótipo x ambiente e ganho de seleção e comparar métodos de seleção para resistência à broca-da-cana.

## Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em Itapagipe, Iturama e Ituiutaba. Os 27 clones usados nesse trabalho foram desenvolvidos pelo programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar da Universidade Federal de Viçosa (PMGCA-UFV), em parceria com a Rede Inter-universitária para o Desenvolvimento do Setor sucro-energético (RIDESA) (BARBOSA *et al.*, 2012). As três variedades comerciais foram CTC-9, RB867515 e RB966928. Os tratos culturais foram realizados de acordo com procedimentos estabelecidos pelos produtores sem aplicação de inseticidas no local dos experimentos.

O experimento em Iturama foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso (DBC) com cinco repetições e 18 genótipos. Cada parcela foi composta por cinco sulcos de cinco metros com espaçamento de 1,5 metros entre sulcos. O experimento em Ituiutaba foi conduzido em DBC com quatro repetições e 24 genótipos. Cada parcela foi composta por quatro sulcos de 19 metros com espaçamento de 1,5 metros entre sulcos. O experimento em Itapagipe foi conduzido em DBC com quatro repetições e 18 genótipos. Cada parcela foi composta por quatro sulcos de 18 metros com espaçamento de 1,5 metros entre sulcos. No total foram avaliados 27 clones e três variedades, sendo que a maioria dos genótipos foi plantado em pelo menos dois locais.

A avaliação da injúria por broca foi feita entre 15 e 20 de julho de 2015, na primeira soqueira. Vinte plantas por parcela foram colhidas para avaliação do número de entrenós total e o número de entrenós broqueados para estimação da porcentagem de entrenós broqueados por planta. O índice de infestação da parcela foi estimado pela média das vinte plantas.

Os dados de índice de infestação foram avaliados utilizando-se o software Selegen-REML/BLUP (Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos) (REZENDE, 2006). Os modelos utilizados foram:

$y = Xr + Zg + \varepsilon$ ; para avaliação de genótipos dentro de cada ambiente,

$y = Xr + Zg + Wi + \varepsilon$ ; para avaliação de genótipos nos três ambientes,

sendo,  $y$  o vetor dos dados,  $r$  o vetor de efeito fixo de repetição,  $g$  o vetor de efeito aleatório de genótipos,  $i$  o vetor de efeito aleatório da interação genótipo x ambiente e  $\varepsilon$  o vetor de resíduos ou erro aleatório. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência dos referidos efeitos. Os componentes de variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a significância dos efeitos foi testada pela análise de deviance. Os valores genotípicos dos clones foram estimados via melhor predição linear não viesada (BLUP) (RESENDE, 2006). A eficiência da seleção com base na média de locais foi feita através da expressão apresentada por Resende (2002).

## Resultados e Discussão

Quando os genótipos foram avaliados em cada ambiente separadamente, observou-se que apenas a variância genotípica em Itapagipe não foi significativa (Tabela 1), diferentemente dos demais locais. Isso pode ter ocorrido devido à menor infestação natural por *D. saccharalis* que ocorreu naquele ambiente (índice de infestação médio de 7.91%). Estudos anteriores relatam maior dificuldade de seleção de genótipos de cana-de-açúcar para resistência à broca-da-cana em ambientes com baixas infestações, o que torna necessário que a seleção ocorra em ambientes com maiores infestações naturais ou infestação artificial (WHITE *et al.*, 1993, 2001). Em Iturama e Ituiutaba, onde as infestações naturais foram relativamente altas (13,85 e 12,85% em média, respectivamente) a variância genotípica foi significativa, indicando haver diferença na resistência dos genótipos e possibilidade de ganhos por seleção. Portanto, uma das estratégias para seleção de clones resistentes poderia ser a não aplicação de inseticidas no local de plantio dos experimentos. Desta forma, a infestação natural seria maior e permitiria melhor discriminação dos genótipos tolerantes.

Quando a intensidade de infestação dos três experimentos, foi avaliada de forma conjunta, a interação entre genótipo e ambiente (GxA) foi não significativa e a correlação genotípica entre ambientes foi alta, na ordem de 0,76 (Tabela 1), indicando que seleção realizada em apenas um ambiente será eficaz para selecionar os genótipos resistentes. Em outras palavras, a eficiência da seleção pela utilização de mais de dois ambientes é inferior a 9%, o que não justificaria neste caso, utilizar mais de um ambiente para seleção de genótipos resistentes. Isso é desejável em programas de melhoramento genético devido à grande necessidade para mão-de-obra necessária para avaliação da infestação por broca-da-cana (MILLIGAN *et al.*, 2003).

As maiores acurácia e ganho de seleção (considerando-se a intensidade de seleção de 20%) foram obtidos pela seleção apenas em Ituiutaba. Sendo assim, a avaliação de 24 genótipos com quatro repetições em um ambiente é suficiente para maximizar o ganho de seleção. Os resultados desse trabalho estão de acordo com os encontrados por MILLIGAN *et al.* (2003), onde também não houve interação genótipo x ambiente para resistência à broca. Além do mais, de acordo com os autores, a herdabilidade e o ganho de seleção em dois ambientes com duas repetições foram similares a seleção em um ambiente com quatro repetições. Em outro estudo realizado por WHITE *et al.* (2001), a interação genótipo x ano não foi significativa, indicando que a seleção para resistência à broca em um local e um ano é eficiente.



**Tabela 1.** Parâmetros genéticos obtidos via REML para resistência de genótipos de cana-de-açúcar em três ambientes

Itapagipe	Iturama	Ituiutaba	Três ambientes
$\sigma^2g = 2,22^{NS}$	$\sigma^2g = 4,93^*$	$\sigma^2g = 6,09^{**}$	$\sigma^2g = 5,86^{**}$
$\sigma^2 = 8,95$	$\sigma^2 = 17,62$	$\sigma^2 = 15,72$	$\sigma^2ga = 1,87^{NS}$
$\sigma^2p = 11,17$	$\sigma^2p = 22,55$	$\sigma^2p = 29,6$	$\sigma^2 = 14,6$
$h^2 = 0,50$	$h^2 = 0,58$	$h^2 = 0,78$	$\sigma^2p = 22,34$
$H = 0,71$	$H = 0,76$	$H = 0,88$	$h^2mg = 0,74$
Media = 7,91	Media = 13,85	Media = 12,85	Hmg = 0,86
Gs = ND	Gs = -13,87 %	Gs = -27,56 %	$c^2ga = 0,08$
			rgloc = 0,76
			Media = 11,82
			Gs = -21,21 %

$\sigma^2g$  = Componente de variância genotípica,  $\sigma^2ga$  = Componente de variância da interação genótipo x ambiente,  $\sigma^2$  = componente de variância residual,  $\sigma^2p$  = Componente de variância fenotípica,  $h^2$  = herdabilidade no sentido amplo,  $h^2mg$  = herdabilidade da média dos clones nos três ambientes,  $H$  = acurácia da seleção de genótipos,  $Hmg$  = acurácia da seleção de genótipos pela média nos três ambientes,  $c^2$  = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente,  $rgloc$  = correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes,  $Gs$  = ganho de seleção. NS = não significativo, \* significativo a 5%, \*\* = significativo a 1%.

Os genótipos mais resistentes à broca em Ituiutaba foram RB047201, RB047212, RB047409, RB047018, RB047002 e RB047226, enquanto os mais resistentes em média para os três ambientes foram RB047201, RB047212, RB047226, RB047018, RB047050, RB047055 (Tabela 2). Contudo que esses genótipos apresentem características agrônomicas desejáveis como alta produtividade, alto teor de sacarose, entre outras, esses clones podem ser indicados para regiões com altas infestações por broca-da-cana.

### Resultados e Conclusões

A seleção de genótipos para resistência à broca-da-cana deve ser realizada em ambientes com infestações naturais relativamente altas (ou índice de infestação próximo a 12,5%). A interação genótipo x ambiente é desprezível para resistência de cana-de-açúcar à broca-da-cana. Sendo assim, não há necessidade de se avaliar a resistência de genótipos de cana-de-açúcar à broca-da-cana, o que é desejável em programas de melhoramento genético devido à grande necessidade de mão-de-obra para avaliação do índice de infestação.

**Tabela 2.** Valores genotípicos preditos via BLUP para intensidade de infestação da broca-da-cana em 30 genótipos de cana-de-açúcar

Ordem	Ituiutaba		Itapagipe		Iturama		Três ambientes	
	Clone	u + g	Clone	u + g	Clone	u + g	clone	u+g+gem
1	RB057008	19.4035	RB057270	10.3983	RB057243	16.643	RB057008	16.6443
2	RB047249	18.233	RB057145	9.2712	RB047016	16.4469	RB047249	15.5088
3	RB057145	18.1248	RB867515	8.9882	RB057231	16.1673	RB057231	15.0421
4	RB047137	17.4174	RB047025	8.7125	RB057249	15.4748	RB047016	14.8776
5	RB057231	16.149	RB047409	8.5605	RB867515	15.1481	RB057145	14.4057
6	RB057169	15.4986	RB057243	8.5378	CTC-9	14.7995	RB057270	14.1221
7	RB047016	15.3597	RB047002	8.3828	RB057270	14.7893	RB057169	13.7907
8	CTC-9	14.1737	RB966928	8.2212	RB057267	14.1096	RB047137	13.692
9	RB047248	14.1528	RB047055	7.7405	RB057145	14.0619	RB057243	13.432
10	RB057246	12.6792	RB057267	7.725	RB047409	13.6459	CTC-9	13.1695
11	RB057243	12.4881	RB047137	7.7136	RB047025	13.0951	RB867515	12.4752
12	RB047086	12.4765	RB047212	7.0848	RB047201	12.7569	RB966928	11.8629
13	RB047227	11.7647	RB047248	7.0435	RB047258	12.4988	RB057246	11.7304
14	RB047228	11.5202	RB047018	6.8989	RB047002	12.2917	RB057267	11.7237
15	RB867515	11.3265	RB047226	6.8608	RB047050	12.0575	RB047025	11.7154
16	RB047050	10.8526	RB047210	6.834	RB047226	12.0398	RB047086	11.5823
17	RB047412	10.5615	RB047227	6.7901	RB047248	11.9897	RB047228	10.8834
18	RB047258	10.3005	RB047201	6.5799	RB047055	11.2621	RB047409	10.7769
19	RB047226	10.1164					RB047248	10.7138
20	RB047002	9.7865					RB047210	10.2773
21	RB047018	9.7634					RB047227	10.2678
22	RB047409	9.4111					RB047412	10.1829
23	RB047212	9.1198					RB047002	10.0876
24	RB047201	7.6389					RB047258	9.7672
25							RB047055	9.7229
26							RB047050	9.7087
27							RB047018	9.3844
28							RB047226	9.242
29							RB047212	9.2141
30							RB047201	8.6137

$g = u + g$  = valores genotípicos,  $u+g+gem$  = valor genotípico médio nos vários ambientes e capitaliza uma interação média com todos os ambientes avaliados.

### Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudos e à Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA) e as Usinas Coruripe, Bunge e BP pelo apoio técnico nos trabalhos.

### Referências Bibliográficas

- Barbosa, M.H.P., Resende, M.D.V., Dias, L.A.S., Barbosa, G.V.S., Oliveira, R.A., Peternelli, L.A. e Daros, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. S2:87-98. 2012.
- Botelho, P.S.M., Macedo, N. Cotesia flavipes no controle de Diatraea saccharalis. In: Parra, R.P., Botelho, P.S.M., Correa-Ferreira, B.S. e Bento, J.M.S. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. Manole, São Paulo, Brazil. P. 409-425. 2002.
- Coburn, G.E. e Hensley, S.D. Differential survival of Diatraea saccharalis (F.) larvae on two varieties of sugarcane. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.** 14:440-444. 1972.
- Dinardo-Miranda, L.L. Pragas da cana-de-açúcar. In: Dinardo-Miranda, L.L., Vasconcelos, A.C.M. e Landell, M.G. (editores). Cana-de-açúcar. Instituto Agrônomo de Campinas, 2008. Campinas, Brazil. p. 349-404.
- Dinardo-Miranda, L.L., Anjos, I.A., Costa, V.P. e Fracasso, J.V. Resistance of sugarcane cultivars to sugarcane borer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 47: 1-7. 2012.
- Milligan, S.B., Balzarini M. e White, W.H. Broad-sense heritabilities, genetic correlations, and selection indices for sugar-cane borer resistance and their relation to yield loss. **Crop Sci.** 43:1729-1735. 2003.
- Resende, M.D.V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: EMBRAPA, 2002. 975p.
- Resende, M.D.V. O software Selegen-REML/BLUP. **Documentos EMBRAPA**, Campo Grande. 2006.
- White, W.H. Movement and establishment of sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae) larvae on resistant and susceptible sugarcane. **Fl. Entomol.** 76:465-473. 1993a.
- White, W.H. Cluster analysis for assessing sugarcane borer resistance in sugarcane line trials. **Field Crops Res.** 33:159-168. 1993b.
- White, W.H., Tew, T.L. e Richard, E.P. Association of sugarcane pith, rind hardness, and fiber with resistance to the sugarcane borer. **J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.** 26:87-100. 2006.
- White, W.H., Burner, D.M., Legendre, B.L., e Miller, J.D. Registration of 12 sugarcane germplasm clones resistant to sugarcane borer: HoCP 92-678, HoCP 93-775, HoCP 93-776, US 93-15 to US 93-17, and US 96-1 to US 96-6. **Crop Sci.** 38:1726-1727. 1998.
- White, W.H., Legendre, B.L. e Miller, J.D. Progress in breeding for sugarcane borer resistance. **Sugar Cane** 5:3-7. 1996.
- White, W.H., Legendre, B.L., Miller, J.D. e Dunckelman, J.W. Registration of five sugarcane borer resistant sugarcane germplasm clones. **Crop Sci.** 33:348-349. 1993.
- White, W.H., Tew, T.L. e Richard, E.P. Association of sugarcane pith, rind hardness, and fiber with resistance to the sugarcane borer. **J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.** 26:87-100. 2006.
- White, W.H., Miller, J.D., Milligan, S.B., Burner, D.M. e Legendre, B.L. Inheritance of sugarcane borer resistance in sugarcane derived from two measures of insect damage. **Crop Sci.** 41:1706-on the arthropod fauna of a Louisiana sugarcane field. **Environ.** 1710. 2001.

MPB

## CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES SUBSTRATOS

Augusto Yukitaka Pessinatti Ohashi<sup>1</sup>, Mauro Alexandre Xavier<sup>2</sup>, Julio César Garcia<sup>2</sup>, Rômulo Henrique Petri<sup>3</sup>, Letícia Paula Magalhães Silva<sup>4</sup>, Regina Célia de Matos Pires<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical do Instituto Agronômico (IAC).

<sup>2</sup>Pesquisador Científico do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana/IAC.

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo da Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, 13023-030 Campinas-SP.

<sup>4</sup>Bacharela em Biotecnologia.

<sup>5</sup>Pesquisadora Científica do Centro de P&D em Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agronômico.

yuki.o.ogashi@gmail.com

### Resumo

O uso de substrato tem por finalidade favorecer a produção de plantas com qualidade. O objetivo deste experimento foi avaliar o crescimento, consumo de água e eficiência no uso da água na produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em diferentes substratos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no núcleo de produção de mudas, nas dependências do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio da Cana-de-Açúcar do IAC, em Ribeirão Preto - SP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e três repetições. Os tratamentos adotados foram diferentes substratos, dos quais 9 resultantes de combinações de torta de filtro compostada, fuligem e substrato comercial, e um substrato comercial. Foi avaliada a densidade dos substratos, a altura, massa seca da parte aérea e radicular, assim como consumo de água e eficiência no uso da água. Maiores porcentagens de fuligem aumentaram a densidade do substrato, o que prejudicou o crescimento das mudas. Os tratamentos com menores porcentagens de fuligem obtiveram maiores valores de altura e massa seca da parte aérea. A maior eficiência no uso da água foi observada nos tratamentos com menores porcentagens de fuligem e maiores de substrato comercial.

**Palavras-chave:** cultivo protegido, torta de filtro compostada, fuligem, sistema MPB.

### Summary

The substrate use aims to guarantee the production of high quality plants. The aim of this study was to evaluate the growth, water consumption and water use efficiency in pre-sprouted sugarcane seedlings production cultivated in different substrates. The experiment was carried out in a greenhouse, at the seedlings production sector of the Advanced Technological Research Center of Sugarcane Agribusiness of Agronomic Institute in Ribeirão Preto - SP. The experimental design was completely randomized, with 10 treatments and three replications. The treatments were 9 composted filter cake, boiler ashes and combinations, and one commercial substrate. It was estimated the substrates density, seedlings height and dry mass of shoots and roots, as well as water consumption and water use efficiency. Higher ashes percentages increased the density of the substrate, which affected the growth of seedlings. The treatments with lower soot percentages obtained higher seedling high values and dry mass of shoots. The more water use efficiency was observed in treatments with smaller percentages of soot and higher of commercial substrate.

**Keywords:** greenhouse crop, composted filter cake, boiler ashes, pre-sprouted system.

### Introdução

Mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar consistem em sistema de multiplicação para contribuir para a produção rápida de mudas, associando elevado padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio. Esta tecnologia é direcionada ao aumento da eficiência e ganhos econômicos na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais e, possivelmente, renovação e expansão de áreas de cana-de-açúcar (LANDELL, 2012).

A qualidade das mudas é de fundamental importância, pois mudas de qualidade têm maior percentagem de sobrevivência, potencial e velocidade de crescimento, podendo também exercer melhor controle da vegetação invasora, reduzindo os custos dos tratos culturais, conforme reportado por MORGADO *et al.* (2000).

O substrato para a produção de mudas tem por finalidade garantir o desenvolvimento de plantas com qualidade. Deve propiciar suporte necessário para as plantas e condições adequadas para absorção de água, oxigênio e nutrientes. A qualidade física do substrato consiste em característica fundamental ao cultivo lembrando que não pode ser alterada durante o processo produtivo. O substrato deve reunir características físicas e químicas que promovam, respectivamente, a retenção de umidade, aeração e disponibilidade de nutrientes, de modo que atendam às necessidades da planta (CUNHA *et al.*, 2005). A densidade tem influência na porosidade do substrato (FONTENO, 1993). A presença de poros preenchidos com ar é importante por afetar a absorção de água e de nutrientes pelas raízes, que exigem elevados teores de O<sub>2</sub> e rápida remoção de CO<sub>2</sub>. Substratos bem aerados favorecem o desenvolvimento de pêlos radiculares finos e de ramificações de raízes, o que aumenta a absorção de nutrientes (BELLÉ, 2001).

Devido à importância do setor sucro energético para o setor primário brasileiro, justifica-se a condução de pesquisas visando à qualidade de substrato para a produção de mudas mais vigorosas, sadias e a custos mais baixos (MORGADO *et al.*, 2000).

Uma forma de reduzir os custos de um substrato está na utilização de matéria prima disponível na região dos viveiros na composição do mesmo. Entretanto, há necessidade de estudar as características físicas e químicas e seus efeitos no sistema de produção. Dentre os subprodutos oriundos do setor sucroenergético tem-se a a torta de filtro, resíduo rico em fósforo e nitrogênio que pode fazer parte na composição de um substrato, reduzindo de forma significativa os custos de produção de mudas. A torta de filtro compostada pode ainda ser misturada com outros insumos para melhoria das características físico-químicas desse resíduo. A adoção de subproduto contribuirá para redução de custos de substratos, porém há necessidade de avaliar os efeitos no desenvolvimento das mudas. O objetivo deste experimento foi avaliar o crescimento, consumo de água e eficiência no uso da água de mudas pré-brotadas em cultivadas em diferentes substratos.

## Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no núcleo de produção de mudas, nas dependências do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio da Cana-de-Açúcar do IAC, em Ribeirão Preto - SP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, envolvendo 10 tratamentos assim descritos:

- T1 - 100% Substrato comercial (SC);
- T2 - 10% Fuligem (F) + 40% Torta de Filtro Compostada (TFC) + 50% (SC);
- T3 - 10% F + 50% TFC + 40% SC;
- T4 - 20% F + 50% TFC + 30 % SC;
- T5 - 30% F + 60% TFC + 10% SC;
- T6 - 20% F + 80 % TFC;
- T7 - 30% F + 70% TFC;
- T8 - 40% F + 60% TFC;
- T9 - 50% F + 50% TFC;
- T10 - 70% F + 30% TFC.

As unidades experimentais foram constituídas por bandejas com 63 mudas pré-brotadas, considerando somente as 15 mudas centrais como amostra para avaliações. Essas mudas foram formadas por minirebolos de cana plantados em tubetes de 180 ml, em três repetições. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a IACSP95-5000.

A adubação foi a mesma para todos os tratamentos, conforme descrita a seguir:

- Fosfato monoamônico (MAP) – 9% de N e 44% de  $P_2O_5$ ;
- Nitrato de Cálcio – 14 % de N;
- Cloreto de Potássio - 58% de  $K_2O$ ;
- Sulfato de amônio - 20% de N;
- Termofosfato (Yoorin®) - 16% de  $P_2O_5$  mais micronutrientes.
- Osmocote Mini Prill® (19% de N; 6%  $P_2O_5$  e 10% de  $K_2O$ ).
- Osmocote Plus® (15% de N; 9% de  $P_2O_5$  e 12% de  $K_2O$  mais micronutrientes com liberação em torno de 3-4 meses

Todos os substratos estudados foram adubados na seguinte proporção: em aproximadamente 100 litros de substrato aplicou-se 300 gramas de sulfato de amônio, 200 gramas de cloreto de potássio, 200 gramas de termofosfato e 3 a 5 gramas por litros de substrato dos fertilizantes de liberação lenta Osmocote Mini Prill e Osmocote Plus. Semanalmente foram realizadas pulverizações foliares com Fosfato Monoamônico (MAP), na quantidade de 100g e Nitrato de Cálcio, na quantidade de 150 gramas, diluídos em 10 litros de água.

A densidade dos substratos foi avaliada baseada metodologia da Instrução Normativa nº 31 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2008), utilizando-se o método da autocompactação em proveta para determinação da densidade volumétrica atual dos substratos. Posteriormente foi feita a secagem dos substratos para determinação da densidade volumétrica seca, expressa como densidade relativa à água, sendo então adimensional.

O sistema de irrigação utilizado nas três fases foi de aspersão, os quais foram avaliados quanto à uniformidade e taxa de aplicação de água para determinação da lâmina aplicada. As irrigações realizadas nas diferentes fases foram anotadas e contabilizadas para estimativa da lâmina aplicada. Com auxílio de suportes foi coletado volume de água percolado e estimado o consumo de água.

Na avaliação final do experimento (60 dias após o plantio, DAP), mediu-se a altura das plantas e coletou-se a parte aérea das mudas que foi seca em estufa à 70° C até atingir peso constante, com posterior pesagem para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA).

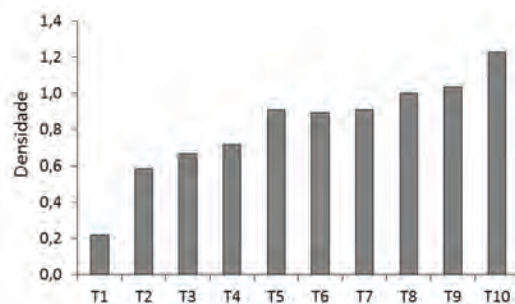
As raízes das mudas foram lavadas individualmente em água corrente em recipiente de 10 litros para remoção dos resíduos de substrato. Após este processo, o conteúdo do recipiente foi colocado em peneira nº 10 (malha de 2 mm) para separação raízes que eventualmente tenham se despreendido do minirebolo durante a lavagem, adaptando-se a metodologia descrita em Fujiwara *et al.* (1994) para cultivo de mudas em substratos. As raízes foram separadas e colocadas para secar ao ar sobre folhas de papel por 24h. Após esse período, foram encaminhadas para secagem em estufa a 65 °C, obtendo-se a massa seca radicular (MSR).

Os dados de altura, MSPA e MSR foram submetidos à análise de variância, com realização de teste F, sendo as comparações entre os tratamentos efetuadas para esquema em DIC e aplicando-se o teste de Scott-Knott a 5% de significância para altura e MSPA e 10% para sistema radicular.

## Resultados e Discussão

### Densidade volumétrica:

A densidade volumétrica dos substratos aumentou conforme a porcentagem de fuligem do substrato (Figura 1). No T1, com 100% do substrato comercial, observou-se menor valor de densidade (0,22), enquanto que o maior valor foi observado no T10 (1,23), com maior porcentagem de fuligem (70%). A mistura T2, com 50% do substrato comercial, levou ao aumento na densidade para 0,58, devido à maior densidade da torta de filtro compostada e da fuligem. Para cultivo em substratos em células (tubetes) de volume reduzido recomenda-se densidade de 0,1 a 0,3 (Fermino, 2002) e alguns autores referem-se a valores comuns de densidade de substratos para cultivo em estufa 0,15 (BERJÓN *et al.*, 2004). Neste contexto verificou-se que apenas o T1 com adoção do subsubstrato comercial apresentou valores adequados e ainda que com a redução em volume do SC houve aumento da densidade.

**Figura 1.** Densidade volumétrica (base seca, adimensional) para os diferentes substratos utilizados no experimento.**Biometria:**

Os valores médios para altura de plantas indicaram que o substrato comercial (T1) proporcionou o maior crescimento, seguido pelo cultivo nos substratos que continham SC na composição na proporção de 50, 40 e 30% (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios para altura de plantas (cm) aos 60 dias após o transplantio. As letras indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

Tratamento	Altura de Plantas aos 60 DAP
T1 - 100% Substrato comercial (SC)	19,56 a
T2 - 10% F+ 40% TFC+ 50%SC	16,06 b
T3 - 10% F+ 50% TFC+ 40%SC	16,30 b
T4 - 20% F+ 50% TFC+ 30%SC	16,96 b
T5 - 30% F+ 60% TFC+ 10%SC	13,56 c
T6 - 20% F+ 80% TFC	14,73 c
T7 - 30% F+ 70% TFC	12,00 c
T8 - 40% F+ 60% TFC	12,86 c
T9 - 50% F+ 50% TFC	12,43 c
T10 - 70% F+ 30% TFC	9,93 d

Nas misturas com somente 10% de SC (T5) e nas concentrações em que a torta de filtro compostada foi misturada a fuligem na proporção de 50 a 80% em volume (T6 a T9), os valores para altura de planta foram menores quando comparados aos tratamentos T1 a T4. Ainda, uso de 30% de volume de torta de filtro compostada com 70% de fuligem, houve uma diminuição acentuada na altura da muda pré-brotada de cana-de-açúcar.

A altura de plantas provavelmente está relacionada ao aspecto físico dos substratos, dentre outros parâmetros. Assim, observou-se que as mudas cultivadas nos substratos com menores valores de densidade favoreceram a altura das plantas (Figura 1 e Tabela 1). De acordo com Kämpf (2000), quanto mais elevada a densidade, mais difícil o cultivo em recipiente. Segundo o mesmo autor, são considerados aceitáveis os valores de densidade seca de 100 a 300 kg m<sup>-3</sup> (d entre 0,1 e 0,3) para propagação em células e bandejas, 200 a 400 kg m<sup>-3</sup> (d entre 0,2 e 0,4) para vasos de até 15 cm de altura, 300 a 500 kg m<sup>-3</sup> (d entre 0,3 e 0,5) para vasos de 20 a 30 cm de altura e 500 a 800 kg m<sup>-3</sup> (d entre 0,5 e 0,8) para vasos maiores. Dessa forma, observa-se que os valores de densidade volumétrica do substrato T1 alcançou valores adequados e dentre os demais substratos os que mais se aproximaram foram o T2 e T3.

Da mesma forma que o observado para altura de plantas, houve efeito dos substratos na MSPA. Analisando os valores médios para massa seca da parte aérea (Tabela 2), observou-se que o tratamento com SC (T1) e a mistura do T4 foram os que proporcionaram maiores valores, seguidos das mudas cultivadas em T2 e T3. Notou-se que os maiores valores ocorreram nos substratos com menor densidade de forma similar ao observado em relação a altura (Tabela 1), indicando que esta é uma importante característica física e que deve ter atuado como fator limitante para o crescimento das mudas.

**Tabela 2.** Valores médios para Massa Seca da Parte Aérea (g). As letras indicam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott a 5 % de significância.

Tratamento	Massa Seca da Parte Aérea (g)
T1 - 100% BP	2,71 a
T2 - 10% F+ 40% TFC+ 50%BP	2,18 b
T3 - 10% F+ 50% TFC+ 40%BP	2,34 b
T4 - 20% F+ 50% TFC+ 30%BP	2,51 a
T5 - 30% F+ 60% TFC+ 10%BP	1,78 c
T6 - 20% F+ 80% TFC	1,95 c
T7 - 30% F+ 70% TFC	1,61 d
T8 - 40% F+ 60% TFC	1,59 d
T9 - 50% F+ 50% TFC	1,77 c
T10 - 70% F+ 30% TFC	1,46 d

Para a MSSR (Tabela 3), verificou-se maior massa de raízes nas mudas cultivadas no T1, ou seja, 100% SC. Para este parâmetro, houve clara distinção entre o T1 e os demais tratamentos. A densidade tem influência na porosidade do substrato (FONTENO, 1993). A presença de poros preenchidos com ar é importante por afetar a absorção de água e de nutrientes pelas raízes, que exigem elevados teores de O<sub>2</sub> e rápida remoção de CO<sub>2</sub>. Substratos bem aerados permitem o bom desenvolvimento de pêlos radiculares finos e de ramificações de raízes, o que aumenta a absorção de nutrientes (BELLÉ, 2001). Assim, verificou-se efeito deletério no sistema radicular do aumento da densidade

do substrato em relação ao T1 ( $d = 0,22$ ), porém, para densidade maior que aquela observada para o T2 ( $d = 0,58$ ) não houve diferença entre os tratamentos.

**Tabela 3.** Valores médios para Massa Seca Radicular. As letras indicam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott a 10% de significância.

Tratamento	Massa Seca Radicular (g)
T1 - 100% BP	0,600 a
T2 - 10% F+ 40% TFC+ 50%BP	0,383 b
T3 - 10% F+ 50% TFC+ 40%BP	0,380 b
T4 - 20% F+ 50% TFC+ 30%BP	0,403 b
T5 - 30% F+ 60% TFC+ 10%BP	0,397 b
T6 - 20% F+ 80% TFC	0,367 b
T7 - 30% F+ 70% TFC	0,317 b
T8 - 40% F+ 60% TFC	0,407 b
T9 - 50% F+ 50% TFC	0,420 b
T10 - 70% F+ 30% TFC	0,343 b

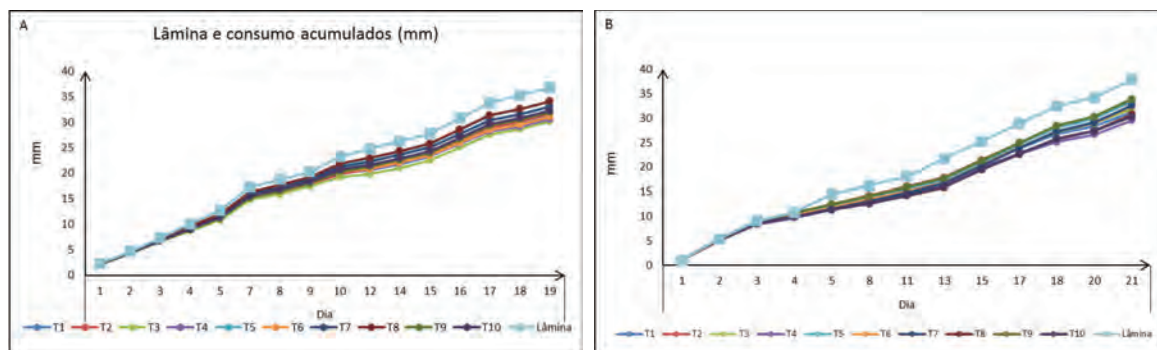
Morgado *et al.* (2000) utilizaram como substrato diferentes proporções de bagaço de cana e TFC. Os maiores valores de MSPA e MSR foram observados na proporção de 70% bagaço de cana e 30% de TFC. Quando a proporção de TFC foi elevada a 40%, houve diminuição na massa seca, tanto de raiz quanto parte aérea. No presente experimento, os tratamentos com maior proporção de fuligem e TFC propiciaram menores valores de MSPA, porém quando ainda havia substrato comercial na proporção, a diminuição nos valores de MSPA foi menos expressiva do que na ausência de SC (Tabela 2). Para a MSR essa estratificação não foi observada, pois apenas o T1 diferiu dos demais. Salienta-se que o experimento de Morgado *et al.* (2000) foi conduzido em condições diferentes e o período conduzido no substrato foi mais longo (100 dias), o que pode acarretar a resultados diferentes.

#### Lâmina de irrigação consumida, percolada e eficiência do uso da água

O consumo de água acumulado durante o período observado, bem como a lâmina acumulada aplicada, encontra-se na (Figura 2) para a fase de aclimação 1 (A) e aclimação 2 (B). Observa-se na (Figura 2) que o consumo acumulado de água foi similar entre os tratamentos e entre as fases de aclimação 1 e 2. A (Tabela 4) apresenta os valores totais de lâmina consumida e percolada na aclimação fase 1 e 2 em todos os tratamentos. Em média houve o consumo de 72,7 mm, sendo o maior e o menor valor observado de 70,4 mm (T5) e 63 mm (T4), respectivamente. No T4 também ocorreu a maior lâmina percolada.

Nota-se que na fase 2 há maior distanciamento entre as curvas da lâmina aplicada e consumida (Figura 2, Tabela 4), o que pode ser explicado tanto pelo fato de na fase 2 as mudas estarem sujeitas a condições mais severas de radiação e vento. Com o aumento no estresse hídrico, ocorre a diminuição nas trocas gasosas pelo fechamento dos estômatos (RIBEIRO *et al.*, 2013), o que também reduz a evapotranspiração. Outro fator relacionado a esta diferença pode ser a ocorrência de precipitações naturais.

**Figura 2.** Lâminas acumuladas consumidas (mm) na aclimação fase 1 (A) e 2 (B) por cada tratamento, assim como a lâmina acumulada aplicada (mm).



**Tabela 4.** Lâminas totais consumidas (mm) e percoladas (mm) por cada tratamento na aclimação fase 1 e fase 2 e lâmina total aplicada (mm).

Tratamentos	Lâmina consumida (mm)			Lâmina percolada (mm)
	Fase 1	Fase 2	Total	
T1	34,1	31,2	65,3	10,8
T2	34,6	33,4	68,0	8,1
T3	33,0	31,9	64,9	11,2
T4	33,4	29,6	63,0	13,1
T5	36,9	33,5	70,4	5,7
T6	33,8	32,5	66,3	9,8
T7	35,8	32,6	68,4	7,7
T8	36,9	30,8	67,7	8,4
T9	34,8	33,9	68,7	7,4
T10	35,1	30,3	65,4	10,7
Lâmina aplicada (mm)	38,2	37,9	72,7	-

A (Tabela 5) apresenta os valores de massa seca da parte aérea, radicular e total das mudas, o volume consumido e a eficiência do uso da água (EUA) nos diferentes tratamentos. De acordo com os resultados obtidos, os três maiores valores de EUA considerando a matéria seca total das mudas foram observados no cultivo com os substratos T3, T1 e T4, seguidos em ordem decrescente por T2, T6, T9, T5, T8, T7, e T10. No entanto, considerando a EUA com enfoque no desenvolvimento radicular, verificou-se o melhor desempenho com o cultivo no T1. A EUA é preocupação crescente no ambiente agrícola e vem sendo estudada para o cultivo da cana-de-açúcar (FARIAS *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2011). No entanto, o estudo da EUA para produção de mudas de cana-de-açúcar é inédito e de grande importância para o uso racional da água neste sistema produtivo com promoção de sustentabilidade ambiental.

**Tabela 5.** Valores de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total das mudas (MS total), em gramas, volume consumido por muda (VC, em litros) e eficiência no uso da água da parte aérea (EUA PA), radicular (EUA R) e total (EUA Total), em gramas de massa seca total da muda por litro de água consumido.

Tratamentos	MSPA	MSR	MS Total	VC	EUA PA	EUA R	EUA Total
	(g)			(L)	(g L <sup>-1</sup> )		
T1	2,71	0,600	3,716	0,317	8,55	1,89	10,44
T2	2,18	0,383	2,581	0,330	6,61	1,16	7,77
T3	2,34	0,380	2,720	0,315	7,43	1,21	8,63
T4	2,51	0,403	2,115	0,306	8,20	1,32	9,52
T5	1,78	0,397	2,457	0,341	5,22	1,16	6,38
T6	1,95	0,367	2,248	0,322	6,06	1,14	7,20
T7	1,61	0,317	2,274	0,332	4,85	0,95	5,80
T8	1,59	0,407	2,094	0,328	4,85	1,24	6,09
T9	1,77	0,420	1,863	0,333	5,32	1,26	6,58
T10	1,46	0,343	1,474	0,317	4,61	1,08	5,69

### Conclusões

Os maiores valores de massa seca da parte aérea ocorreram no cultivo com o substrato comercial, utilizado como controle, e o substrato com 20% fuligem + 50% torta de filtro compostada + 30% de substrato comercial. Considerando-se este parâmetro, excetuando-se o substrato comercial, os substratos com menor porcentagem de fuligem apresentaram os maiores valores de matéria seca da parte aérea. O desenvolvimento radicular das mudas a matéria seca foi favorecido pelo cultivo no substrato comercial.

A maior eficiência do uso da água (EUA) foi observada nos tratamentos com o substrato comercial e com misturas desse substrato com 10% de fuligem + 50% de torta de filtro compostada ou a mistura com 20% de fuligem + 50% de torta de filtro compostada. Considerando-se a EUA com enfoque na produção radicular o uso do substrato comercial, utilizado como controle, foi o que alcançou o maior valor. O crescimento das mudas foi favorecido pelo cultivo nos substratos com menores valores de densidade.

### Agradecimentos

À Usina São Martinho pelo apoio financeiro e à Hidrosense e a Pessl Instruments.

### Referências bibliográficas

- BELLÉ, S. Escolha do substrato. In: KÄMPF, A.N. (coord). Manutenção de plantas ornamentais para interiores, Rigel. 2 edição. 2001. 112p.
- BERJÓN, M.A.; MURRAY, P. N.; BENEDITO, C.C. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: GAVILÁN, M. U., ed. **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid, Mundi-Prensa, 2004. p. 113-159.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Secretaria de Defesa Agropecuária**. Instrução Normativa N.º 31, de 23 de outubro de 2008. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução Normativa SDA n.º 17, de 21 de maio de 2007. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 out. 2008. Seção 1, p.20.
- CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, Viçosa: MG, v.29, n.4, p.507-516, 2005.
- FARIAS, C. D. A.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.3, 494-506, 2008.
- FERMINO, M. H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: FURLANI, A.M.C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p.29-37.
- FONTEÑO, W. C. Problems & considerations in determining physical properties of horticultural substrates. Substrates in Horticulture. **Acta Horticulture, Wageningen**, v. 342, p.197-204, 1993.
- FUJIWARA, M.; KURACHI, S. A. H.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SAKAI, E. **A técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas: Instituto Agronômico, 1994 (Boletim Técnico).
- KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba, 2000. 254 p.
- LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIAO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: Documentos IAC, Instituto Agronômico, v.109, 16p. 2012 (Boletim Técnico).
- MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J. G. de A.; LELES, P. S. dos S.; BARROSO, D. G. **Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar**. Scientia Agricola, v. 57, n. 4, p. 709-712, 2000.
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; NETO, D. E. S.; DA ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46 n.6, 617-625, 2011.
- RIBEIRO, R.V.; MACHADO, R.S.; MACHADO, E.C.; MACHADO, D.F.S.P.; MAGALHÃES FILHO, J.R.; LANDEL, M.G.A. Revealing drought-resistance and productive patterns in sugarcane genotypes by evaluating both physiological responses and stalk yield. **Experimental Agriculture**. v. 49, p.212-224, 2013.



## AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA E NUTRICIONAL DE MUDAS PRÉ-BROTADAS (MPB) DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS EM DIFERENTES SUBSTRATOS

Paulo Henrique Pizzi de Santi<sup>1,3</sup>, Ana Lúcia Scavazza<sup>1,3</sup>, Ana Laura Belloni<sup>1,3</sup>, Marcio Roberto Soares<sup>1,3</sup>, José Carlos Casagrande<sup>1,3</sup>, Simone Daniela Sartório<sup>1</sup>, Kauê de Sousa Soares Rocha<sup>1,3</sup>, Jéssica Aparecida Lara Lavorenti<sup>1,3</sup>, César Augusto Santana<sup>1,3</sup>, Josimara Aparecida Ferreira<sup>1,3</sup>, Ana Cláudia Silva Zina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias (UFSCar-CCA, campus de Araras), Araras, SP;

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP-FCAV), Jaboticabal, SP;

<sup>3</sup> GEMASO – Grupo de Estudo e Pesquisa em Manejo do Solo.

phpizzi@hotmail.com

### Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de substratos nas características morfológicas e nutricionais de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar. Minirrebolos das variedades RB92579, RB966928 e RB867515 foram cultivados em areia, em areia+solução nutritiva e em três substratos comerciais (S1, S2 e S3). O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 5x3, com cinco repetições. Aos 70 dias após o plantio, avaliaram-se a altura, o diâmetro ( $\emptyset$ ) do colmo, a massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e a eficiência de utilização de nitrogênio (EUN), fósforo (EUP) e potássio (EUK) das mudas. Houve interação significativa entre os substratos e as variedades para todas as variáveis estudadas, exceto para EUP e EUK, dificultando generalizações sobre qual substrato promoveu melhor desenvolvimento das MPBs. O IQD indicou que o S1 proporcionou maior equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas de RB92579 e RB966928, sendo necessários estudos em campo para atestar se este indicador é um bom parâmetro para mensurar a qualidade das MPBs. A EUN foi maior para mudas de RB92579 e de RB 867515 cultivadas nos substratos comerciais. A EUP e a EUK foram maiores nos tratamentos com areia e areia+solução, evidenciando a adaptação ao estresse nutricional e a importância da reserva do tolete para a sobrevivência das MPBs.

**Palavras-chave:** mudas pré-brotadas; biometria; nutrição de plantas.

### Summary

The objective of this study was to assess the performance of substrates on morphological and nutritional characteristics of pre-sprouted seedlings of sugarcane. Minicuttings of three sugarcane varieties (RB92579, RB966928, and RB867515) were grown in sand, in sand+nutrient solution, and in three commercial substrates (S1, S2, and S3). The experimental design was completely randomized in 5x3 factorial scheme with five replications. At 70 days after planting, we evaluated the height, diameter ( $\emptyset$ ) of the stem, dry weight of shoot (DWS) and root (DWR), Dickson Quality Index (DQI) and the nitrogen (NUE), phosphorus (PUE), and potassium (KUE) use efficiency of the pre-sprouted seedlings. There were significant interactions between substrates and sugarcane varieties for all variables, except for PUE and KUE, making it difficult to generalize about which substrate provided better development of pre-sprouted seedlings. The DQI index indicated that the S1 provided a more balanced distribution of the biomass of plants for RB92579 and RB966928, requiring field studies to verify whether this indicator is a good parameter to measure the quality of pre-sprouted seedlings. The NUE was higher for RB92579 and for RB867515 seedlings that grown on commercial substrates. The PUE and KUE were higher in treatments with sand and sand+solution, showing the adaptation to nutritional stress and the importance of seedpiece reserve for the survival of pre-sprouted seedlings of sugarcane.

**Keywords:** pre-sprouted seedlings; biometrics; plant nutrition

### Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) ocupa atualmente cerca de 11 milhões de hectares agricultáveis do Brasil. A produção nacional chegou a 632 milhões de toneladas na safra 2014/2015, produzindo 28,4 milhões de m<sup>3</sup> de etanol e 35,5 milhões de toneladas de açúcar (UNICA, 2016). O setor sucroenergético tem buscado inovações tecnológicas em seus processos agrícolas, principalmente quanto ao plantio e a colheita mecanizada, visando alcançar qualidade da matéria-prima, longevidade do canavial e, sobretudo, altas produtividades (LANDELL et al., 2012).

O plantio convencional mecanizado da cana-de-açúcar vem apresentando problemas relacionados à alta incidência de danos às gemas, exigindo uma quantidade de colmos-semente superior a 20 t ha<sup>-1</sup> para evitar prejuízos na produtividade, sendo um gasto excessivo de colmos que poderiam ser destinados à indústria. Além disso, este tipo de plantio tende a aumentar a difusão de pragas e doenças (LANDELL et al., 2012). O sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB), desenvolvido pelo Programa Cana do Instituto Agrônomo (IAC), permite obter canaviais de excelente padrão clonal, com maior uniformidade e com número reduzido de mudas, além de diminuir os riscos de falhas e de propagação de pragas e doenças, reduzindo a competição intraespecífica comum em canaviais plantados com excesso de gemas por metro linear (LANDELL et al., 2012; XAVIER et al., 2014).

O substrato pode atuar diretamente em vários fatores que determinam o sucesso da brotação das gemas no sistema MPB, uma vez que desempenha importante função no estabelecimento do sistema radicular e no suprimento de água, oxigênio e nutrientes, influenciando no vigor e na sanidade das plantas. Além do baixo custo, um substrato adequado deve apresentar características físicas e químicas importantes para um bom desenvolvimento das mudas, tais como uniformidade na composição, baixo índice salino, elevada capacidade de troca de cátions (CTC), baixa densidade, boa capacidade de retenção de água e ausência de pragas, doenças e de sementes de plantas invasoras (XAVIER et al., 2014). Apesar da reconhecida importância do substrato no sistema de produção de mudas, a maioria dos estudos é direcionada ao cultivo de mudas de plantas ornamentais, frutíferas, silvícolas e olerícolas. Assim, pelo fato do sistema de produção de MPB de cana-de-açúcar ser uma prática recente e inovadora, a quantidade de informações a respeito da influência dos substratos na germinação dos mini-toletes e no desenvolvimento inicial das mudas ainda é incipiente. Da mesma forma, ainda não estão estabelecidos os melhores parâmetros biométricos para atestar o desenvolvimento das MPBs. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes substratos nas características morfológicas e na eficiência nutricional (NPK) de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido nas dependências do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar (PMGCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), situado no município de Araras-SP, no período de outubro de 2015 a janeiro de 2016. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, em esquema fatorial  $5 \times 3$ , com cinco repetições, totalizando 75 caixas plásticas de brotação com 20 mudas cada. Os tratamentos consistiram de três variedades (RB966928, RB867515 e RB92579), com ciclo de maturação, precoce, média tardia e média tardia, respectivamente, cultivadas em três substratos comerciais (S1, S2 e S3), em areia (A) e em areia+solução nutritiva (A+S) adaptada para as necessidades de cana-planta (RAIJ *et al.*, 1997), contendo as seguintes concentrações ( $\text{g L}^{-1}$ ): N – 3,7;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 8,8;  $\text{K}_2\text{O}$  – 7,4; Ca – 29,4; Mg – 9,4;  $\text{SO}_4$  – 0,8. No tratamento areia+solução nutritiva, uma alíquota de 10 mL de solução por planta foi fornecida semanalmente.

De acordo com os fabricantes, os substratos apresentam a seguinte composição: S1 - areia, calcários calcítico e dolomítico, carvão vegetal, casca de pinus, nitrato de amônio, sulfato ferroso, superfosfato simples e vermiculita; S2 - casca de coco, casca de pinus e vermiculita; S3 - areia, casca de pinus, nitrato de amônio, rocha calcária, superfosfato simples e vermiculita. A (Tabela 1) contém algumas características químicas e físicas dos substratos comerciais.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas dos substratos comerciais utilizados no cultivo de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.

Substrato	<sup>1</sup> pH	C N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O CaO MgO SO <sub>4</sub>								<sup>2</sup> CTC <sub>t</sub>	<sup>3</sup> CE	<sup>4</sup> Dens.	<sup>5</sup> Umid.	<sup>6</sup> CRA
		%												
S1	5,6	34,2	0,8	3,1	1,9	8,8	1,5	1,3	208,2	0,7	310	44	140	
S2	4,7	31,2	0,9	0,7	1,2	1,0	0,2	2,9	84,4	0,8	328	58	146	
S3	5,1	34,3	0,8	0,5	1,0	1,1	0,2	0,8	78,5	0,6	315	55	132	

<sup>1</sup>pH medido em água (relação substrato:água 1:2,5); <sup>2</sup>capacidade de troca de cátions total; <sup>3</sup>condutividade elétrica (relação substrato:água 1:5); <sup>4</sup>densidade; <sup>5</sup>umidade; <sup>6</sup>capacidade de retenção de água.

Colmos de cada variedade foram selecionados em viveiros primários. Um sistema de guilhotina de lâmina dupla foi utilizado para corte e preparação de minirrebolos de 3 cm. Para controle fitossanitário, os minirrebolos foram submetidos à termoterapia, a 52°C por 30 minutos, e à imersão em calda do fungicida Comet®, por 10 minutos. Os minirrebolos foram distribuídos em caixas plásticas de brotação, cobertos com os substratos e mantidos em casa-de-vegetação climatizada por 15 dias, sob controle rigoroso de temperatura e de umidade e molhamento suficiente para manter o processo de pré-brotação. Após esse período, as plântulas foram individualizadas em recipientes plásticos de 180 mL, contendo os diferentes substratos, e transferidas para viveiro telado, onde permaneceram por 15 dias. A irrigação foi definida de acordo com o desenvolvimento das plantas e com as condições de umidade do substrato. Em seguida, as mudas de cana-de-açúcar foram conduzidas em pátio de aclimação, sobre bancadas a pleno sol, onde cumpriram a segunda fase de aclimação por 40 dias. Durante esta fase, o controle de irrigação foi feito com pelo menos 4 turnos de rega. As plantas cultivadas nos substratos comerciais receberam fertirrigação semanal, composta por 770 mL de água, 1,00 g de nitrato de cálcio (30 % de N), 0,31 g de fosfato monoamônico (MAP, 9% de N e 48% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 0,15 g de sulfato de amônio (20% de N), distribuída em cada caixa de brotação. Operações de poda, normalmente realizadas nas fases I e II de aclimação, não foram executadas de forma a manter a biomassa para aferição no final do experimento.

Aos 70 dias após o plantio as mudas foram avaliadas, considerando as seguintes variáveis: altura de muda (cm), diâmetro do colmo ( $\emptyset$ ) (mm), matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) (g). Posteriormente, a parte aérea foi moída para determinação dos teores de N, P e K, conforme metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). A partir dos resultados, calculou-se o índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD), segundo metodologia proposta por Dickson *et al.* (1960), através da relação  $(\text{MSPA} + \text{MSR}) / (\text{RAD} + \text{RPAR})$ , em que: RAD representa a relação altura de muda/diâmetro do colmo e RPAR representa a relação MSPA/MSR. A eficiência de utilização dos nutrientes foi calculada pelo índice proposto por Siddiqi e Glass (1981), definido pela expressão  $\text{EU} = \text{MSPA}/\text{teor de N}$ ; P; K da parte aérea. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F, foram desdobrados para comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### Resultados e Discussão

Apesar do efeito isolado dos fatores variedade e substrato terem sido significativos, verificou-se que a variação de todos os parâmetros biométricos dependeu da interação entre a variedade e o tipo de substrato em que a muda se desenvolve. Não ocorreram efeitos de interação para as variáveis EUP e EUK (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análise de variância de parâmetros biométricos, de índice de qualidade da muda e de eficiência nutricional de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes substratos.

Tratamento	Altura	$\emptyset$ colmo	MSPA	MSR	IQD	EUN	EUP	EUK	
	(cm)	(mm)	(g planta <sup>-1</sup> )	(g planta <sup>-1</sup> )					kg kg <sup>-1</sup>
Teste F	Substrato (S)	727,64**	215,13**	350,51**	6,60**	10,69**	102,08**	16,61**	16,95**
	Variedade (V)	13,37**	31,75**	82,96**	3,83*	1,31 <sup>ns</sup>	70,84**	14,76**	6,62**
	S x V	6,62**	44,08**	6,10**	5,58**	3,86**	5,26**	1,05 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,80%	5,22%	6,83%	30,62%	27,20%	10,44%	39,04%	52,64%	

$\emptyset$  - diâmetro; MSPA - massa seca da parte aérea; MSR - massa seca das raízes; IQD - índice de qualidade de Dickson; EUN - eficiência de utilização do nitrogênio; EUP - eficiência de utilização do fósforo; EUK - eficiência de utilização do potássio; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; ns: não significativo; \*significativo a 5%; \*\*significativo a 1%.

Todos os parâmetros biométricos das mudas cultivadas em areia como substrato foram significativamente menores, mesmo com o fornecimento de solução nutritiva. O tratamento A+S proporcionou médias muito aquém do que seriam esperadas (Tabela 3), uma vez que as mudas pré-brotadas foram nutridas semanalmente com teores de nutrientes considerados adequados à necessidade de cana-planta. No entanto, a ocorrência de chuvas intensas durante o segundo período de aclimação das mudas (precipitação acumulada de 572 mm) pode ter causado a lixiviação dos nutrientes, considerando a baixa capacidade de retenção de água do substrato.

Embora os substratos comerciais tenham sido fundamentais para o desenvolvimento das mudas, suas interações com as variedades dificultaram a seleção do melhor substrato para o cultivo de MPBs. Para a variedade RB92579, o substrato S2 resultou em mudas com maior altura e MSPA. O substrato S3 resultou em maiores médias de Ø de colmo e de MSPA das mudas da RB966928. O substrato S1 resultou nas maiores médias de Ø de colmo e de MSPA da RB 867515. A variedade RB966928 apresentou o menor desenvolvimento e pareceu indiferente à qualidade do substrato, uma vez que a altura e a MSR não apresentaram valores estatisticamente diferentes, enquanto o Ø de colmo foi maior nas mudas cultivadas no S3, considerado o substrato com maiores restrições em termos nutricionais, principalmente pelos baixos teores de P, K, Ca, Mg e S.

**Tabela 3.** Parâmetros morfológicos, eficiência de utilização de n-p-k e índice de qualidade de dickson (IQD) de mudas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos.

Substratos	Altura (cm)	Ø colmo (mm)	MSPA g planta <sup>-1</sup>	MSR g planta <sup>-1</sup>	IQD	EUN kg kg <sup>-1</sup>	EUP	EUK
<b>RB92579</b>								
A	10,88 cB	4,73 cB	2,22 bA	12,24 bcA	5,83 bcA	0,31 bA	3,45	0,43
S1	18,61 bAB	7,93 bB	4,22 aA	19,38 aA	9,22 aA	0,48 aA	2,62	0,23
S2	20,12 aA	7,47 bA	4,28 aA	16,87 abA	7,19 abA	0,50 aA	1,64	0,17
S3	19,46 abAB	10,16 aA	4,28 aA	7,82 cB	4,93 bcA	0,47 aA	1,88	0,16
A+S	11,83 cA	5,32 cB	1,88 bAB	7,38 cA	3,74 cA	0,23 cA	2,82	0,26
<b>Média</b>	<b>16,18 a</b>	<b>7,12 a</b>	<b>3,38 a</b>	<b>12,74 a</b>	<b>6,18 a</b>	<b>0,40 a</b>	<b>2,48 a</b>	<b>0,25 a</b>
<b>RB966928</b>								
A	10,41 bB	4,97 dB	1,82 cB	10,33 aA	6,31 abA	0,23 cdB	2,07	0,33
S1	19,13 aA	6,78 bC	3,18 bB	10,74 aB	7,52 aAB	0,29 bcC	0,77	0,04
S2	18,23 aB	6,98 bA	3,15 bC	11,94 aAB	7,18 aA	0,31 bC	0,71	0,05
S3	18,60 aB	7,78 aB	3,62 aB	12,31 aAB	4,00 bA	0,39 aB	0,99	0,08
A+S	10,54 bB	6,06 cA	1,62 cB	6,97 aA	4,34 bA	0,17 dB	2,08	0,22
<b>Média</b>	<b>15,38 b</b>	<b>6,51 b</b>	<b>2,68 b</b>	<b>12,66 ab</b>	<b>5,87 a</b>	<b>0,28 c</b>	<b>1,32 b</b>	<b>0,14 b</b>
<b>RB867515</b>								
A	12,11 cA	6,63 cA	2,39 cA	12,64 abA	6,31 abA	0,30 bA	3,54	0,30
S1	18,14 bB	9,60 aA	4,33 aA	9,15 abB	7,52 aAB	0,42 aB	1,37	0,10
S2	18,70 abB	7,22 bcA	3,84 bB	8,39 abB	7,18 aA	0,39 aB	1,24	0,13
S3	19,58 aA	7,42 bB	3,97 abA	14,18 aA	4,00 bA	0,42 aB	1,37	0,11
A+S	11,98 cA	5,60 dAB	2,08 cA	7,51 bA	4,34 bA	0,23 cA	3,06	0,32
<b>Média</b>	<b>16,10 a</b>	<b>7,29 a</b>	<b>3,32 a</b>	<b>10,37 b</b>	<b>5,87 a</b>	<b>0,35 b</b>	<b>2,12 a</b>	<b>0,19 ab</b>
<b>Média dos Substratos</b>								
A	<b>11,13 B</b>	<b>5,44 C</b>	<b>2,14 B</b>	<b>11,74 A</b>	<b>6,51 AB</b>	<b>0,28 B</b>	<b>3,02 A</b>	<b>0,35 A</b>
S1	<b>18,63 A</b>	<b>8,10 A</b>	<b>3,91 A</b>	<b>13,09 A</b>	<b>7,48 A</b>	<b>0,40 A</b>	<b>1,58 B</b>	<b>0,12 B</b>
S2	<b>19,02 A</b>	<b>7,22 B</b>	<b>3,76 A</b>	<b>12,40 A</b>	<b>6,13 AB</b>	<b>0,40 A</b>	<b>1,20 B</b>	<b>0,12 B</b>
S3	<b>19,21 A</b>	<b>8,45 A</b>	<b>3,96 A</b>	<b>11,43 A</b>	<b>5,05 BC</b>	<b>0,43 A</b>	<b>1,41 B</b>	<b>0,12 B</b>
A+S	<b>11,45 B</b>	<b>5,66 C</b>	<b>1,86 C</b>	<b>7,29 B</b>	<b>4,01 C</b>	<b>0,21 C</b>	<b>2,65 A</b>	<b>0,27 A</b>

Comparação de médias pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ): letras minúsculas comparam substratos dentro de cada variedade e média das variedades; letras maiúsculas comparam variedades dentro de cada substrato e média dos substratos.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD), bem aceito pela comunidade científica para mudas florestais, de frutíferas e de café, pode ser considerado um bom indicador da qualidade de mudas, por considerar em seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa. Quanto maior este índice, melhor é a qualidade da muda formada (FONSECA, 2000). Os valores médios deste índice foram influenciados pela interação entre os tipos de substratos e as variedades estudadas (Tabela 2). Para as mudas de RB966928 e RB867515, os substratos S1 e S2 promoveram maiores valores de IQD. Para RB92579, os maiores valores de IQD foram observados em plantas cultivadas apenas em S1 (Tabela 3). É importante salientar que este indicador deve ser correlacionado com o comportamento das mudas após o transplante no campo, para criação de faixas adequadas de padrões morfológicos que orientem na determinação de uma muda de qualidade.

A eficiência da utilização de determinado nutriente se refere à habilidade intrínseca de cada variedade em produzir biomassa por unidade de nutriente (ABICHEQUER, 1995). Dos macronutrientes primários, apenas para o nitrogênio ocorreu interação significativa entre as varie-

dades e os substratos estudados (Tabela 2). As variedades RB92579 e RB867515 foram mais eficientes na utilização do nitrogênio quando foram cultivadas nos três substratos comerciais, comprovando a importância do aporte deste elemento para o adequado desenvolvimento das mudas (Tabela 3). No entanto, a RB966928 apresentou maior acúmulo de biomassa por kg de N absorvido apenas quando se desenvolveu no S3, apesar deste apresentar teor de N semelhante aos demais substratos comerciais, demonstrando que algumas características dos meios de cultivo, sobretudo o pH ou CE, podem influenciar na capacidade de absorção e de utilização dos nutrientes (ABICHEQUER, 1995).

Quanto à EUP e EUK (Tabela 3), notou-se que as plantas cultivadas em areia foram as mais eficientes na utilização destes nutrientes. Este fato corroborou ABICHEQUER (1995), que constatou que o aumento da eficiência de utilização de nutrientes se dá quando a planta é cultivada em condições de déficit nutricional. Assim, a utilização mais eficiente dos nutrientes constitui-se em um mecanismo de adaptação ao estresse nutricional.

O cultivo das mudas em substrato inerte, com completa restrição nutricional, permitiu a observação do comportamento das mudas no que se refere ao uso das reservas do minirrebolo. Neste sentido, a reserva do tolete foi fundamental para a sobrevivência das plantas cultivadas em meio com ausência de nutrientes.

No plantio convencional, a estrutura dos colmos-semente tem tamanho que pode variar de 30 a 50 cm, permitindo o uso de reservas durante 60 dias (CARNEIRO *et al.*, 1995). Uma característica típica do sistema de produção de MPB é a drástica redução do material de reserva, sendo improvável que a muda tenha desenvolvimento vigoroso apenas às custas da reserva de um minirrebolo de 3 cm. Isso induz a muda a emitir seu sistema radicular com maior antecedência. Nestas condições, em que a muda passa a depender da absorção de nutrientes pelas raízes e não mais pelas reservas do minirrebolo, a oferta de nutrientes pelo substrato, principalmente de nitrogênio, é determinante para a sobrevivência, vigor e qualidade da muda.

### Conclusões

A interação complexa entre variedade de cana-de-açúcar e os substratos não permitiu concluir sobre o melhor substrato para de produção de mudas pré-brotadas. Contudo, o Índice de Qualidade de Dickson apontou que o S1 proporcionou o equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas de RB92579 e RB966928. Estudos sobre o comportamento das mudas em condições de campo são imprescindíveis para determinar os padrões morfológicos para serem buscados na fase de viveiro.

A eficiência em utilização do N foi maior quando as mudas de RB92579 e RB 867515 foram cultivadas nos substratos comerciais. A eficiência de utilização de P e K foram maiores quando as mudas foram cultivadas em areia e areia+solução, evidenciando a adaptação ao estresse nutricional e a importância da reserva do tolete para a sobrevivência das MPBs.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração dos profissionais do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar da Universidade Federal de São Carlos (PMGCA-UFSCar), do Programa de Avaliação da Fertilidade do Solo e do Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA/CCA/UFSCar).

### Referências bibliográficas

- ABICHEQUER, A.D. **Eficiência de absorção e utilização de fósforo por variedades de trigo**. 1995.80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v.36, p. 10-13, 1960.
- CARNEIRO, A.E.V.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola**, v.52, p.199-209,1995. DOI: 10.1590/ S0103-90161995000200001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq,1997.212p.
- FONSECA, E.P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, *Cedrela fissilis* Veli. e *Aspidosperma polyneuron* Mull Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. 2000. 113 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- LANDELL, M.G. de A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M.A.; ANJOS, I.A. dos; DINARDO-MIRANDA, L.L.; SCARPARI, M.S.; GARCIA, J.C.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, D.N. da; MENDONÇA, J.R. de; KANTHACK, R.A.D.; CAMPOS, M.F. de; BRANCALIAO, S.R.; PETRI, R.H.; MIGUEL P.E.M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, 2012. 17p. (IAC. Documentos, 109).
- RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Boletim Técnico 100: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas-SP, n.100, v.2, 1997, p.285.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, p. 289-302, 1981.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Dados econômicos do setor sucroenergético**. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/index.php?idioma=1>. Acesso em: 12 fev. 2016.
- XAVIER, M.A.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; MENDONÇA, J.R.; DINARDO-MIRANDA, L.L.; SCARPARI, M.S.; GARCIA, J.C.; ANJOS, I.A.; AZANIA, C.A.M.; BRANCALIAO, S.R.; KANTHACK, R.A.D.; ADFERRI, G.; SILVA, D.N.; HBIDÓIA, M.A.P.; CAMPOS, M.F.; PERRUCCO, D.; MATSUO, R.S.; NEVES, J.C.T.; CASSANELI JUNIOR, J.R.; PERRUCCO, L.; PETRI, R.H.; SILVA, T.N.; SILVA, V.H.P.; THOMAZINHO JUNIOR, J.R.; MIGUEL, P.E.N.; LOREZANTO, C.M. **Fatores de Desuniformidade e Kit de Pré-Brotação IAC para Sistema de Multiplicação de Cana-de-Açúcar-Mudas-pré-brotadas (MPB)**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014.22p. (Documentos IAC,113).

## CANA-DE-AÇÚCAR PARA A PRODUÇÃO DE MATERIAL DE PROPAGAÇÃO NOS SISTEMAS DE MUDAS PRÉ-BROTADAS (MPB) E TRADICIONAL

Mário Pércio Campana<sup>1</sup>, Mauro Alexandre Xavier<sup>2</sup>, Gabriela Aferri<sup>3,\*</sup>, Dilermando Perecin<sup>4</sup>, Paulo Eduardo Miguel<sup>2</sup>, Hector Roque Carregari<sup>2</sup>, Marcos Guimarães de Andrade Landell<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agr. Aposentado, Profissional Externo, Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana, Programa Cana IAC, Ribeirão Preto - SP

<sup>2</sup> Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Instituto Agrônomo, Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana, Ribeirão Preto - SP

<sup>3</sup> Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Centro Oeste, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Jaú - SP.

<sup>3</sup> UNESP Campus Jaboticabal,

*gabriela@apta.sp.gov.br*

### Resumo

O objetivo deste ensaio foi avaliar duas formas de plantio de cana-de-açúcar, em MPB ou toletes, com quatro espaçamentos entre mudas (0,25, 0,50, 0,75 ou 1,00m) e duas densidades de gemas em toletes (com 15 ou 30 gemas/m), para a formação de viveiros de mudas das cultivares RB867515, IAC91-1099 e IACSP95-5000. As cultivares foram plantadas em toletes de três gemas ou MPB, em parcelas de cinco sulcos de 15m de comprimento. Os perfilhos foram contados aos 150 e 240 dias. Antes da colheita foi medida a altura de colmos e contadas as gemas. O perfilhamento da IAC91-1099 foi superior, seguida pela IACSP95-5000 e a RB867515. As maiores densidades de plantio (30 gemas/m, 0,25 e 0,50m entre MPB) tiveram o maior número de perfilhos por metro aos 150 dias. A cultivar RB867515 teve maior altura de colmos que as cultivares IAC91-1099 e IACSP95-5000, que não diferiram entre si. As cultivares produziram quantidades semelhantes de gemas/ha e o plantio em toletes ou MPB, não influenciou esta característica. O plantio de cana-de-açúcar para a formação de viveiros pode ser favorecido pelo uso do sistema de MPB. O espaçamento de MPB a 0,75m produziu a melhor relação entre mudas plantadas e gemas produzidas.

**Palavras-chave:** gemas, perfilho, plantio, cultivares

### Summary

In the present work, two types of sugarcane planting systems (pre-sprouting plantlets and billets) with four spacing between plantlets (0.25, 0.50, 0.75 or 1.00 meter) and billets at two buds density (15 or 30 buds/meter) were evaluated to obtain nurseries of the cultivars RB867515, IAC91-1099 and IACSP95-5000. Cultivars were planted with billets of three buds and pre-sprouting plantlets (PSP) in plots of 5 cane lines with 15 meters length. The tillers were counted at 150 and 240 days. The stalk height and the number of buds per stalk were evaluated before harvest. IAC911099 showed the highest tillering followed by IACSP955000 and RB867515. The highest planting densities (30 buds/m, 0.25 and 0.50 m between PSP) showed the greatest number of tillering by meter at 150 days. The stalk height of RB867515 was higher than IAC91-1099 and IACSP95-5000 cultivars, which not differed statistically between them. The cultivars produced similar amounts of buds/ha and the planting system by billets or PSP did not influence this trait. The sugarcane planting for nursery can be favored by the use of the PSP system. The PSP spacing of 0.75m generated the best relation between planting plantlets and buds produced.

**Keywords:** buds, tiller, planting, cultivars

### Introdução

O plantio de cana-de-açúcar tem seguido a tendência da máxima mecanização em todas as fases de produção da cultura, no sentido de melhorar o rendimento econômico das operações e atender a expansão da área cultivada.

Neste processo, as inovações devem seguir na manutenção dos princípios básicos para o bom preparo e estabelecimento da cultura associadas aos menores custos operacionais e impactos ao solo, considerando sempre o processo de melhoria contínua no plantio da cana-de-açúcar (BARROS E MILAN, 2010; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2010).

Os esforços empenhados em uso de máquinas e melhoria de eficiência de seu uso, com equipamentos de agricultura de precisão, têm sido limitados pelo sistema de colheita e transporte da cana muda dentro do sistema mecanizado de plantio como um todo (BAIO E MORA-TELLI, 2011).

Quando a planta é o enfoque central da inovação, podemos citar o sistema de multiplicação por meio de mudas pré-brotadas (MPB) como uma alternativa importante para a redução dos problemas inerentes aos sistemas de plantio convencionais e incremento na adoção de novas cultivares melhoradas (LANDELL *et al.*, 2012).

A formação de viveiros neste novo sistema de multiplicação tem em vista manter as condições sanitárias e de autenticidade varietal, buscando maior eficiência no uso dos recursos vegetais e do solo. Neste sentido, foram investigadas duas formas de plantio de cana-de-açúcar, em MPB ou toletes, com diferentes espaçamentos entre MPB e densidade de gemas em toletes, para a formação de viveiros de mudas de três cultivares comerciais.

### Material e Métodos

O experimento foi instalado na Unidade de Pesquisa “Hélio de Moraes”/APTA, no município de Jaú, em um latossolo vermelho escuro eutrófico de textura argilosa.

O solo foi preparado em sistema convencional de gradagem e sulcação para plantio de cana-de-açúcar, adotando-se o espaçamento de 1,5m entre sulcos, com adubação de 500 kg do fertilizante 05-20-20 por hectare. As cultivares de cana-de-açúcar estudadas foram RB867515, IAC91-1099 e IACSP95-5000.

O plantio foi realizado em maio de 2013 com duas formas de propagação: toletes, forma tradicional, ou mudas pré-brotadas, plantadas manualmente, em parcelas de 112,5m<sup>2</sup> compostas por cinco linhas de 15m de comprimento. Os colmos foram cortados em toletes com três gemas cada e distribuídos nos sulcos de plantio nas densidades de 15 ou 30 gemas por metro linear. As MPB de cana-de-açúcar, produzidas no Centro de Cana do IAC, foram plantadas em espaçamentos de 0,25, 0,50, 0,75 ou 1,00m entre mudas na linha.

O número de colmos por metro linear foi avaliado aos 150 e 240 dias após o plantio, contando-se o número total de perfilhos em cada parcela. A altura dos colmos foi tomada como a medida média da altura em cada uma das cinco linhas da parcela.

No momento da colheita foram amostrados os colmos sequenciais em dois metros lineares de cada linha da parcela, totalizando dez metros, e contados o número de gemas nos colmos para estimativa da quantidade de gemas por hectare.

O delineamento empregado foi o de blocos ao acaso, com duas repetições, em arranjo fatorial de espaçamento de plantio e cultivar (5x3). A análise dos dados foi realizada com auxílio do pacote estatístico SAS® (SAS Institute INC., Cary, NC), com comparação de médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, considerando-se as diferenças a 5% de probabilidade.

### Resultados e Discussão

Não houve interação entre os fatores cultivar e espaçamento para as avaliações de perfilhos aos 150 ou 240 dias após plantio, altura dos perfilhos e gemas por hectare (Tabela 1). Portanto, os dados foram apresentados em função dos fatores principais: cultivares, tipo de plantio e espaçamento.

**Tabela 1.** Características de perfilhamento, altura de colmo e produção de gemas para as cultivares, tipo de plantio e espaçamento.

Item	Característica			
	Perfilhos/m aos 150 DAP*	Perfilhos/m aos 240 DAP*	Altura, cm	Gemas/ha
<b>Interação Cultivar X Espaçamento</b>				
p-valor**	0,2647	0,0599	0,1872	0,2918
CV***	6,14	5,57	6,41	19,71
<b>Cultivar</b>				
RB86 7515	12,57 <sup>c</sup>	10,14 <sup>c</sup>	250,19 <sup>a</sup>	1.021.009
IAC91 1099	14,93 <sup>a</sup>	13,87 <sup>a</sup>	206,75 <sup>b</sup>	1.017.606
IACSP95 5000	13,86 <sup>b</sup>	12,28 <sup>b</sup>	213,50 <sup>b</sup>	1.018.633
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,9992
<b>Tipo</b>				
Tolete	14,08	12,65 <sup>a</sup>	234,08 <sup>a</sup>	993.363
MPB	13,49	11,54 <sup>b</sup>	212,88 <sup>b</sup>	1.044.803
p-valor	0,0559	<0,0001	0,0003	0,4988
<b>Espaçamento</b>				
15 gemas/m	13,5 <sup>bc</sup>	12,33 <sup>b</sup>	230,50	858.875 <sup>b</sup>
30 gemas/m	14,67 <sup>a</sup>	13,17 <sup>a</sup>	237,67	1.127.850 <sup>a</sup>
0,25 m	14,75 <sup>a</sup>	13,02 <sup>a</sup>	217,00	1.128.035 <sup>a</sup>
0,50 m	13,87 <sup>ab</sup>	11,87 <sup>b</sup>	218,17	1.156.921 <sup>a</sup>
0,75 m	12,63 <sup>c</sup>	10,77 <sup>c</sup>	218,83	1.041.303 <sup>ab</sup>
1,00 m	12,70 <sup>c</sup>	10,52 <sup>c</sup>	197,5	851.952 <sup>b</sup>
p-valor	0,0003	<0,0001	0,0616	0,0299

a, b Médias seguidas de letras distintas na coluna, diferem entre si. \*DAP: dias após plantio. \*\*p-valor: probabilidade. \*\*\*CV: coeficiente de variação.

### Perfilhamento

As cultivares foram diferentes quanto ao perfilhamento inicial e final, sendo que a IAC91-1099 foi superior, seguida pela cultivar IACSP95-5000, posteriormente, pela cultivar RB867515. A capacidade de perfilhamento é uma das características intrínsecas à cultivar (OLIVEIRA *et al.*, 2007), como pode ser observado desde a fase inicial da emissão de perfilhos até o estabelecimento da população de colmos, que mantiveram as diferenças observadas entre as cultivares.

O tipo de plantio não influenciou o perfilhamento aos 150 dias, indicando que o estímulo ao desenvolvimento inicial de perfilhos age de maneira semelhante nas plantas originárias de toletes ou MPB. Aos 240 dias, o plantio em tolete teve maior quantidade de perfilhos por metro que o plantio em MPB, que deve ter ocorrido devido ao maior número de gemas por metro, tanto com 15 como com 30 gemas/m.

Neste caso, é interessante notar que a diferença no número de colmos entre os tipos de plantio (12,65 perfilhos/m para plantio com 30 gemas/m, em tolete, e 11,54 perfilhos/m para plantio de MPB no espaçamento de 0,25m) não foi proporcional à necessidade de gemas para estabelecimento das populações.

As maiores densidades de plantio em tolete (30 gemas/m) e os menores espaçamentos em MPB (0,25 e 0,50m) tiveram o maior número de perfilhos por metro aos 150 dias. A maior quantidade de gemas ou mudas empregadas no plantio redundou em maior quantidade inicial de perfilhos, pela condição disponível para a emissão destes. Os espaçamentos de MPB a 0,75 ou 1,00m entre as mudas não diferiu do plantio tradicional com 15 gemas/m, demonstrando a capacidade das cultivares em ocupar o espaço disponível para o seu desenvolvimento.

Aos 240 dias após o plantio, o estabelecimento das populações de colmos foi afetado mais diretamente pelo espaçamento e densidade de gemas. Os plantios em MPB a 0,25m e convencional com 30 gemas/m tiveram as maiores quantidades de perfilho por metro, quando comparados aos demais tratamentos, aproximadamente um colmo/m a mais para o dobro de toletes no plantio convencional ou 2,5 colmos/m a mais para o quádruplo de MPB no plantio a 0,25m. Estas relações desfavorecem o plantio adensado em decorrência do custo de implantação destas áreas.

O plantio em MPB a 0,50m entre mudas produziu quantidade de colmos/m semelhante ao plantio convencional com 15 gemas/m e superior aos plantios em MPB a 0,75 ou 1,00m, que não diferiram entre si. O uso dos diferentes espaçamentos pode atender a demandas distintas. Se há necessidade de economia de material propagativo, espaçamentos até 0,75m podem produzir quantidades desejáveis de colmos. No entanto, se há necessidade do maior número de colmos finais, independentemente do custo e gasto de mudas iniciais, o adensamento do plantio aumenta os colmos finais.

### Altura

A cultivar RB867515 teve maior altura de colmos que as cultivares IAC91- 1099 e IACSP95-5000, que não diferiram entre si. Esta característica teve comportamento inverso ao perfilhamento, sendo intrínseca ao genótipo e inversa ao perfilhamento. O plantio em toletes teve maior altura de colmos que o plantio em MPB.

O espaçamento de plantio em MPB ou a densidade de gemas/m não influenciaram a altura dos colmos, embora tenham influenciado o perfilhamento. As diferenças entre as cultivares podem ter sido fator de maior variação que os espaçamentos para esta característica.

### Produção de gemas

As três cultivares estudadas produziram quantidades semelhantes de gemas por hectare. O tipo de plantio em toletes ou em MPB não influenciou a produção de gemas por hectare.

Os espaçamentos mais adensados, sendo eles 30 gemas/m, MPB a 0,25 e a 0,50m, produziram maior quantidade de gemas por hectare. O plantio em MPB a 0,75m não diferiu dos demais plantios em MPB e dos plantios em toletes. Se o objetivo da multiplicação de um material for a máxima produção de gemas, independentemente do custo da operação, o uso de MPB plantadas a 0,50m entre plantas produzirá a maior quantidade de gemas por hectare.

O plantio convencional com 15 gemas produziu quantidade semelhante de gemas/ha ao plantio em MPB a 1,00m e a 0,75m. Isto representa no mínimo, uma economia de dez vezes a quantidade de mudas para o estabelecimento do viveiro, sabendo que não há germinação de 100% das gemas coletadas dos colmos.

Considerando-se a economia de mudas e os gastos com o plantio, os espaçamentos maiores de MPB e a menor densidade de gemas no plantio podem ser alternativas interessantes para a multiplicação de uma cultivar.

### Conclusões

O plantio de cana-de-açúcar para a formação de viveiros pode ser favorecido pelo uso do sistema de MPB por representar menor consumo de mudas para a produção de gemas que o plantio convencional, além de acelerar a multiplicação de novos genótipos. O espaçamento de MPB a 0,75m produziu a melhor relação entre mudas plantadas e gemas produzidas.

### Referências Bibliográficas

BAIO, F.H.R. E MORATELLI, R.F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.367-375, 2011.

BARROS, FF. E MILAN, M. **Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar**. Bragantia, Campinas, v.69, n.1, p.221-229, 2010.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. **Campinas: Instituto Agrônomo**, 2012. 16 p.; (Documentos IAC, N. 109).

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; SILVA, D.K.T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n.2, p.71-76, 2007.

SILVA JUNIOR, C.A.; CARVALHO, L.A.; MEURER, I.; LIBARDI, P.L.; SILVA, M.A.C.; OLIVEIRA, E.C.A. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian, Dourados**, v.3, n.8, p.111-118, 2010.

## AVALIAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS (MPB) DE CANA-DE-AÇÚCAR.

Mauro Alexandre Xavier<sup>1</sup>; Júlio César Garcia<sup>1</sup>; Marcos Guimarães de Andrade Landell<sup>1</sup>; Rômulo Henrique Petri<sup>2</sup>; Leticia Paula Magalhães Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IAC/APTA - Centro de Cana-de-açúcar - Ribeirão Preto, SP

<sup>2</sup>FUNDAG – Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola – Campinas, SP

*mxavier@iac.sp.gov.br*

### Resumo

O cultivo de mudas em ambientes controlados nas fases de brotação e aclimações empregam substratos como suporte para a planta. Os substratos podem ter diferentes fontes de matéria-prima e de acordo com a composição, as características variam quanto à granulometria, densidade e química. Tendo em vista a necessidade de cada cultura, no presente trabalho foram realizadas avaliações para avaliar o substrato que proporcione a produção de mudas pré-brotadas (MPB) de melhor qualidade. Para isso, foram avaliados quatro substratos: padrão com 1mm de granulometria, granulometria 5,0 mm, granulometria 6,5 mm e granulometria 12 mm. As análises consistiram em determinações de altura, massa fresca e seca de parte aérea e massa fresca e seca de raiz. Com os resultados obtidos nesse trabalho conclui-se que o substrato padrão e o de granulometria 6,5 mm proporcionaram os melhores resultados para as fases de produção de MPB.

**Palavras-chave:** Características físicas, granulometria, cana.

### Summary

The seedlings grown in controlled environments in the stages of budding and climate adaptation employ substrates as support for the plant. The substrates may have different sources of raw material and according to the composition, the characteristics vary in particle size, density and chemistry. Given the need of each culture, in this study were carried out evaluations to assess the substrate that provides the production of pre-sprouted seedlings (PSS) of better quality. For this, were evaluated four substrates: a standard substrate, a particle size of 5.0 mm, a particle size of 6.5 mm and a particle size of 12 mm substrate. The analysis consisted of height determinations, fresh and dry weight of shoot and root. With the results obtained in this work can be concluded that the standard substrate and the particle size of 6.5 mm provided the best results for PSS production phases.

**Keywords:** Physical characteristics, granulometry, cane

### Introdução

O cultivo de mudas em ambientes controlados nas fases de brotação e aclimações exigem cuidados na produção que proporcionem a máxima adaptação da planta ao tratamento proposto, bem como promovam maior vigor e sanidade para a cultura.

Esses ambientes objetivam contribuir de maneira sustentável com a geração de lavouras canavieiras mais produtivas (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2010), e para o cultivo das mudas são utilizados substratos. O termo substrato aplica-se a todo material sólido, mineral ou orgânico, natural, de síntese ou residual, que permita a ancoragem do sistema radicular, desempenhando o papel de suporte para a planta (MINAMI, 2010).

Os substratos podem ter em sua composição: turfa, casca de árvores, fibra de coco, argilas expandidas (vermiculita), casca de arroz, areia, subprodutos da madeira, solo mineral, resíduos da agroindústria (bagaço de cana, vinhaça, torta de filtro), etc.

De acordo com a composição as características intrínsecas ao substrato variam, sendo elas: características físicas (porosidade, granulometria, densidade), características químicas (pH e capacidade de troca de cátions) e características biológicas.

As partículas da matéria-prima determinam a geometria do espaço poroso através de sua granulometria, definindo a densidade, a porosidade total e o tamanho dos poros (GRUSZYNSKI, 2002). A dimensão dos poros é importante para estabelecer o quanto o substrato é capaz de regular o fornecimento de água e ar às plantas. Os poros são classificados principalmente como macroporos, aqueles que retêm ar e microporos, os quais retêm água.

Além da porosidade, outros pontos de controle importantes nos substratos são o pH e a capacidade de troca de cátions (CTC). O pH interfere na disponibilidade dos nutrientes para a planta e a CTC auxilia na regulação do fornecimento desses nutrientes, mais especificamente os de carga positiva.

Além dessas características, o conhecimento biológico dos substratos também é relevante. Algumas cascas de árvores e serragens contêm fitotoxinas que podem ser controladas através da compostagem. Os substratos podem conter compostos e microrganismos antagonísticos que podem auxiliar na supressão de patógenos.

Tendo em vista que cada cultura requer níveis específicos de cada um desses parâmetros apresentados, torna-se necessário a formulação de diferentes tipos de substrato para cada cultivo.

Culturas como as hortaliças e mudas florestais, como o eucalipto, já possuem formulações comerciais específicas devido a sua forma de produção tradicionalmente feita em viveiros. No entanto a produção de mudas de cana-de-açúcar em viveiro é recente, não possuindo produtos desenvolvidos especificamente para esse manejo, o que justifica estudos nessa linha.

No presente trabalho foram testados quatro tipos de substrato, um padrão recomendado para hortaliças e três de diferentes granulometrias.



## Material e Métodos

O ensaio foi conduzido no núcleo de produção de mudas do Centro de Cana-de-Açúcar do IAC, em Ribeirão Preto - SP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado.

Foram avaliados quatro tratamentos em quatro repetições envolvendo diferentes substratos: o Tratamento 1 foi composto por um substrato padrão a base de casca de pinus e fibra de coco com granulometria de 1mm; Tratamentos 2, 3 e 4 compostos por substratos a base de casca de pinus e vermiculita, com granulometrias de 5, 6,5 e 12 mm respectivamente.

Para a instalação do ensaio e dos tratamentos, o plantio das gemas foi feito em caixas plásticas forradas com 3 L de substrato. Cada tratamento foi constituído de 8 caixas contendo 90 gemas em cada.

Após a colocação dos minirrebolos com as gemas voltadas para cima, cada caixa, devidamente identificada, recebeu cobertura com mais 3 L do mesmo substrato. Após o plantio, as caixas foram encaminhadas para casa de vegetação com umidade e temperatura controladas e turnos de rega totalizando 4 mm/dia, permanecendo por 15 dias neste ambiente. Os tratamentos foram avaliados diariamente fazendo-se contagem de brotos emergidos até completarem 15 dias após o plantio (DAP).

Após a fase de brotação as mudas foram transplantadas para bandejas com tubetes plásticos, contendo substratos incorporados com nutrientes, os quais foram mantidos em casa de vegetação por um período de 21 dias. Nesse período a irrigação foi definida de acordo com o desenvolvimento das plantas com média de 8 mm/dia. Para isolar o efeito nutricional e avaliar somente os substratos, a adubação foi comum para todos os tratamentos, sendo utilizados os seguintes adubos:

- Fosfato monoamônico (MAP) – 9% de N e 44% de  $P_2O_5$ ;
- Nitrato de Cálcio – 14 % de N;
- Cloreto de Potássio - 58% de  $K_2O$ ;
- Sulfato de amônio - 20% de N;
- Termofosfato- 16% de  $P_2O_5$  mais micronutrientes;
- Fertilizante de liberação controlada I (19% de N; 6%  $P_2O_5$  e 10% de  $K_2O$ );
- Fertilizante de liberação controlada II (15% de N; 9% de  $P_2O_5$  e 12% de  $K_2O$ ) mais micronutrientes com liberação em torno de 3-4 meses.

Para cada volume de 100 litros dos substratos foram acrescentados 300 gramas de sulfato de amônio, 200 gramas de cloreto de potássio, 200 gramas de termofosfato e 3 a 5 gramas por litros dos fertilizantes de liberação controlada I e II (CAMPINAS, 2013).

A cada semana foram realizadas pulverizações foliares com Fosfato Monoamônico (MAP), na quantidade de 100 g e Nitrato de Cálcio, na quantidade de 150 gramas, ambos diluídos em 10 litros de água (CAMPINAS, 2013).

Ao final dessa etapa, conhecida por “aclimação fase 1”, foi realizada a primeira avaliação do experimento. Uma amostra de 15 plantas foi retirada da parte central das bandejas, desconsiderando-se 2 linhas de cada lado (bordadura), sendo cada bandeja uma repetição dos respectivos tratamentos. Foram realizadas as medidas de altura, massa fresca e seca de parte aérea e de raiz.

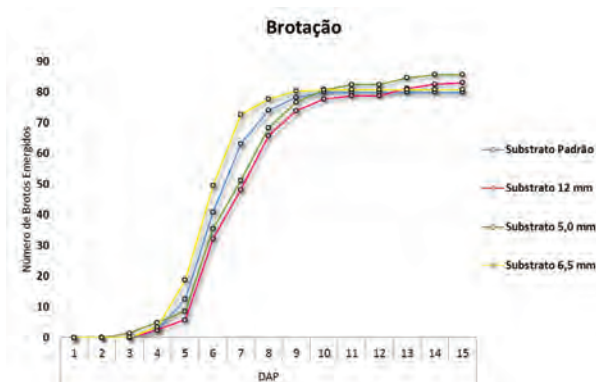
Após a etapa de aclimação 1 as plantas restantes foram encaminhadas para a “fase de aclimação 2”, a pleno sol. Nessa etapa permaneceram os tratamentos por mais 21 dias, recebendo adubação foliar e turnos de rega totalizando 4 mm/dia. Ao completarem 58 DAP, finalizou-se o processo de produção e foram coletadas novas amostras, seguindo os protocolos da primeira avaliação.

Os dados coletados nas fases de aclimações foram submetidos à análise de variância, com realização de teste F, sendo as comparações entre os tratamentos efetuadas para esquema em DIC.

## Resultados e Discussão

Depois de concretizadas as avaliações e a partir das contagens de brotos emergidos realizadas durante os primeiros 15 dias, obteve-se o gráfico apresentado na (Figura 1).

**Figura 1.** Dados de brotação dos quatro substratos avaliados.



Com base nos resultados para a fase de brotação pode-se verificar que todos os substratos apresentaram a mesma propensão, todos os tratamentos tiveram brotação superior a 75%. Nota-se também um pico de brotação entre o quinto e o sétimo dias após o plantio, com tendências à estabilização após esse período.

No que diz respeito à altura de plantas aos 35 e 56 dias após o plantio, os dados médios são apresentados na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios para altura de plantas (cm) aos 35 e 56 dias após o plantio.

35 DAP		56 DAP	
Tratamentos	Médias (cm)	Tratamentos	Médias (cm)
1	15.275000 a	1	23.350000 b
2	11.650000 c	2	21.125000 c
3	13.875000 b	3	24.700000 a
4	9.025000 d	4	16.100000 d

Para os dois períodos avaliados, todos os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas entre si, sendo que aos 35 DAP o substrato 1 se destacou. Já aos 56 DAP o substrato 3 apresentou o melhor resultado em relação ao crescimento das mudas.

Embora o substrato padrão tenha possibilitado um maior crescimento inicial, aos 35 DAP, o substrato 3 (6,5 mm) aos 56 DAP, apresentou valores também superiores para os parâmetros altura de plantas, massa fresca e seca de parte aérea e massa fresca e seca de raízes, tal como mostrado nas tabelas 2, 3, 4 e 5.

**Tabela 2.** Valores médios para massa fresca de parte aérea (gramas) aos 35 e 56 dias após o plantio.

35 DAP		56 DAP	
Tratamentos	Médias (g)	Tratamentos	Médias (g)
1	129.087500 a	1	301.592500 a
2	90.612500 b	2	163.470000 b
3	99.737500 b	3	332.910000 a
4	57.012500 c	4	148.077500 b

**Tabela 3.** Valores médios para massa fresca de raízes (gramas) aos 35 e 56 dias após o plantio.

35 DAP		56 DAP	
Tratamentos	Médias (g)	Tratamentos	Médias (g)
1	7.812500 a	1	44.480000 b
2	9.857500 a	2	86.180000 a
3	8.267500 a	3	68.302500 a
4	8.002500 a	4	43.070000 b

**Tabela 4.** Análise de médias para massa seca de parte aérea (gramas) aos 35 e 56 dias após o plantio.

35 DAP		56 DAP	
Tratamentos	Médias (g)	Tratamentos	Médias (g)
1	20.305000 a	1	67.280000 a
2	15.282500 c	2	43.450000 b
3	17.495000 b	3	69.100000 a
4	10.362500 d	4	33.752500 c

Vale ressaltar que o tratamento 4, substrato com granulometria de 12 mm, proporcionou os menores valores para massa seca e fresca de raiz e parte aérea, sugerindo não ser uma boa opção de substrato para mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

Em relação à massa seca de raiz (MSR), os valores médios são apresentados na tabela 5.

**Tabela 5.** Análise de médias para massa seca de raiz (gramas) aos 35 e 56 dias após o plantio.

35 DAP		56 DAP	
Tratamentos	Médias (g)	Tratamentos	Médias (g)
1	3.550000 a	1	18.540000 a
2	2.545000 b	2	15.297500 b
3	2.840000 b	3	22.337500 a
4	2.010000 c	4	12.162500 b

Em resumo, nota-se que na primeira etapa após a repicagem das mudas, em que as mesmas permaneceram dentro da casa de vegetação na aclimação fase 1, o tratamento que se destacou foi o padrão, estando provavelmente associado a menor densidade (Tabela 6). Na segunda avaliação, após o período de rustificação das plantas, portanto ao final do processo de produção, o tratamento 3 também se destacou, equiparando-se ao 1.

**Tabela 6.** Valores de densidade (g/kg) dos quatro substratos avaliados.

Substratos	Densidade (g/kg)
Padrão	479,6
Granulometria 5,0 mm	647,4
Granulometria 6,5 mm	630,4
Granulometria 12 mm	637,1

**Conclusão**

Considerando-se os parâmetros avaliados e as características de cada tratamento, os substratos 1 e 3 (substrato com granulometria 6,5 mm) apresentaram os melhores resultados para produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

**Referências bibliográficas**

- CAMPINAS (Município). Instituto Agrônomo. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas, 2013. 16 p.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-Açúcar**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. 882 p.
- GRUSZYNSKI, C. **Resíduo agro-industrial “Casca de Tungue” como componente de substratos para planta**. 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- MINAMI, K. **Substrato para plantas**. Abisolo. Piracicaba, 2010. Disponível em: <[www.abisolo.com.br/site\\_2013/index.php/substrato](http://www.abisolo.com.br/site_2013/index.php/substrato)>. Acesso em: fevereiro, 2015.

## PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE N NO SISTEMA DE PLANTIO COM MUDAS PRÉ-BROTADAS

\*Soares, J.R.; \*Montezano, Z.F.; \*Cantarella, H.; \*\*Vitti, A.C.; \*\*Rossetto, R.; \*Pinto, L.R.N.;

\*Degaspari, I.A.M ; \*Gonzaga, L.C.

\*IAC, Campinas - SP

\*\*APTA, Piracicaba - SP

### Resumo

Na cultura de cana-de-açúcar tem sido estudado recentemente o sistema de plantio com mudas pré-brotadas (MPB). Um aspecto importante e pouco abordado é sobre a exigência de nitrogênio deste sistema. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade da cultura de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de nitrogênio em sistema de MPB. O experimento foi realizado em dois ciclos de cana com a variedade IACSP95-5000, cana planta e cana soca, em uma área da APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) em Piracicaba-SP. O esquema experimental foi um fatorial duplo, com quatro doses de N (0, 30, 60 e 90 kg/ha em cana planta e 0, 60, 120 e 180 kg/ha em cana soca) e duas fontes, ureia e nitrocálcio. O delineamento foi de blocos ao acaso com quatro repetições. No ciclo de cana planta não houve resposta à adução nitrogenada. Por outro lado, no cultivo de cana soca ocorreu resposta à dose de N aplicado, atingindo o máximo de produção de colmos próximo à dose de 120 kg/ha de N. Não houve diferenças entre as fontes de N, ureia e nitrocálcio.

**Palavras-chave:** ureia, nitrocálcio, mudas pré-brotadas, balanço de N

### Summary

The system pre-sprouted seedling (MPB) is the object of interest for sugarcane farmer. An important and poorly discussed issue is the nitrogen requirement of this system. The aim of this study was to evaluate the productivity of sugarcane crop as affected by sources and rates of nitrogen in MPB system. The experiment was conducted in two cycles of sugarcane with the variety IACSP95-5000, plant cane and ratoon cane, in an area of APTA (Regional Agency for Agribusiness Technology) in Piracicaba-SP. The experimental design was a double factorial with four nitrogen rates (0, 30, 60 and 90 kg/ha in plant cane and 0, 60, 120 and 180 kg/ha in ratoon cane) and two N sources, urea and calcium ammonium nitrate. The design was a randomized block with four replications. In plant cane cycle there was no response to nitrogen fertilization. On the other hand, in the ratoon cane cycle occurred response to the rate of N applied, reaching the maximum production of stalk near to 120 kg/ha of N. There were no differences between N sources, urea and calcium ammonium nitrate.

**Keywords:** urea, nitrocalcium, pre-sprouted seedlings, N balance

### Introdução

A cultura cana de açúcar no Brasil tem grande importância econômica e há uma estimativa de área cultivada e destinada à atividade sucroalcooleira de aproximadamente 9 milhões de hectares durante a safra 2015/16, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor, com cerca de 51%. A estimativa de produção total à indústria é de 655 milhões de toneladas (CONAB, 2015).

Na reforma do canavial de cana-de-açúcar o sistema de formação de mudas é por meio da utilização da cana picada e através de plantio mecanizado. Devido às falhas de plantio, a quantidade de cana utilizada chega a 20 t/ha (LANDELL *et al.*, 2012). Recentemente tem sido estudado um novo método para plantio, o sistema de muda pré-brotada (MPB). Esse sistema tem como vantagens reduzir o volume de mudas no plantio, produzir mudas de melhor qualidade e mais saudáveis, livres de doenças e patógenos (LANDELL *et al.*, 2012).

Um aspecto importante e pouco abordado é sobre a exigência de nitrogênio desse sistema MPB em relação ao comum. Considerando que no plantio de cana picada são colocados 20 t/ha de colmo, a quantidade de N adicionado nos colmos é em torno de 20 kg/ha. Esse N contido nos colmos somado com a mineralização de N devido ao revolvimento do solo na reforma dos canaviais podem ser os motivos pelos quais não são encontradas respostas ao N no ciclo de cana planta. CANTARELLA *et al.* (2007) em estudo com 70 experimentos, concluíram que menos da metade dos experimentos com cana-planta responderam à aplicação de N. Por outro lado, no cultivo de cana-soca tem sido reportadas respostas à adubação nitrogenada (PENATTI, 2013; VITTI & TRIVELIN, 2011). Esse aspecto é pouco abordado no sistema MPB e merece atenção, visto que no sistema MPB a cultura da cana-de-açúcar possa necessitar maior quantidade de N do que no plantio convencional.

A ureia (UR) é a fonte de nitrogênio mais utilizada na agricultura mundial, porém quando aplicada na superfície dos solos podem ocorrer elevadas perdas de N por volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>), que em condições de campo com várias culturas apontam para médias de 20 a 30% do N aplicado, podendo atingir até 70% (CANTARELLA *et al.*, 2007; LARA CABEZAS *et al.*, 1997).

Essa perda de N pode resultar em queda de produtividade. VITTI *et al.* (2007) reportaram perda de 37% do N aplicado por volatilização de NH<sub>3</sub> pela aplicação de ureia na superfície do solo no cultivo de cana-de-açúcar; essa perda reduziu a produtividade de colmos quando comparado com a outra fonte de N, que foi o sulfato de amônio. Dados semelhantes foram mostrados por Costa *et al.* (2003).

Entretanto a perda de N por volatilização de NH<sub>3</sub> pode ser bem baixa dependendo das condições climáticas. CANTARELLA *et al.* (2008) mostraram volatilização de NH<sub>3</sub> de 1 a 25 % do N aplicado pela aplicação de ureia no cultivo de cana-de-açúcar. Os valores mais baixos foram encontrados quando elevadas precipitações ocorreram nos primeiros dias após a aplicação de ureia. Deste modo se torna necessário

avaliar a eficiência de fontes de N durante vários ciclos para avaliar em quais situações a aplicação de ureia pode limitar a produtividade da cultura. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade da cultura de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de nitrogênio em sistema de MPB.

### Material e Métodos

Neste estudo foram avaliados os efeitos de fonte e dose de N na produtividade de cana-de-açúcar. Este estudo foi realizado em uma área da APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) em Piracicaba-SP (22°41'02" S, 47°38'44" O). Foi plantada a variedade IACSP95-5000, utilizando mudas pré-brotadas.

O esquema experimental foi um fatorial duplo, com quatro doses de N (0, 30, 60 e 90 kg/ha em cana planta e 0, 60, 120 e 180 kg/ha em cana soca) e duas fontes, ureia (UR) e nitrocálcio (NC). O delineamento foi de blocos ao acaso, sendo feitas quatro repetições. O tratamento controle não foi repetido para as duas fontes, assim o total de parcelas foi de 28. As parcelas foram feitas com 15 m de comprimento e 5 linhas de cana-de-açúcar espaçadas a 1,5 m.

O fertilizante nitrocálcio (NC) foi fornecido pela empresa Yara (Yara International ASA) e contém 27% de N na forma de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  (1:1), além de 4% de cálcio e 2% de magnésio, pela adição de calcário. Para efeito das avaliações de formas de N, foi empregada ureia como fonte de N na forma de amida e o NC na forma de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . Os fertilizantes foram aplicados no sulco do plantio.

A correção da acidez do solo e a adubação de base com P, K, S e micronutrientes foi feita considerando as características atuais de fertilidade, analisada no início do experimento. Assim foram colocados 2 t/ha de calcário dolomítico, 150 kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Superfosfato simples), 140 kg/ha de K<sub>2</sub>O (K<sub>2</sub>C), 10 kg/ha de Zn (Sulfato de zinco), 1 kg/ha de B (Ácido bórico) e 0,5 kg/ha de Mo (Molibdato de sódio). No ciclo de cana soca foram repetidas as quantidades, exceto o calcário que não foi adicionado. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006) e analisado quanto às propriedades químicas e físicas (Tabela 1) antes do plantio.

O plantio das mudas pré-brotadas foi feito manualmente com auxílio de matrizes com espaçamento de 0,6 m entre plantas na mesma linha. O experimento foi instalado em março de 2013. A colheita da cana planta foi feita em novembro de 2014, e da cana soca em setembro de 2015. A palha foi mantida no solo no ciclo de cana soca. Os dados pluviométricos foram obtidos da estação meteorológica instalada na APTA a 50 m de distância da área experimental.

**Tabela 1.** Propriedades da camada de 0-20 cm do Latossolo Vermelho na área experimental de Piracicaba†.

pH CaCl <sub>2</sub>	C-org	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V%	Argila	Silte	Areia
	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>					%	g/kg <sup>1</sup>		
4,9	11	15	0,8	28	14	31	74	58	519	146	335

† pH CaCl<sub>2</sub>: CaCl<sub>2</sub> 0,0125mol/L<sub>1</sub>; C-org: carbono orgânico: oxi-redução.; P, K, Ca, Mg: extraído com resina de troca iônica; H + A<sub>1</sub>: solução tampão a pH 7,0; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por base; Textura: método da pipeta.

Antes da colheita foi feito a biometria para determinar a exportação de nitrogênio, sendo colhido 2 m linear da linha central de cada parcela (Landell et al., 2005). As amostras foram separadas em colmos, folhas secas e ponteiros e trituradas em picadeira. As amostras do colmo, ponteiro e folhas secas foram pesadas, secas em estufa e moídas em moinho tipo Wiley para posterior análise de N total (Bataglia et al., 1983). O N total exportado foi feito considerando a colheita da parcela total e o teor de N nos colmos.

No período de maior crescimento das plantas, no verão, a folha +1 foi amostrada. Foram coletadas 12 subamostras por parcela, retirada a nervura central e separado o terço médio das folhas, para posterior análise de N total (RAIJ et al., 1997).

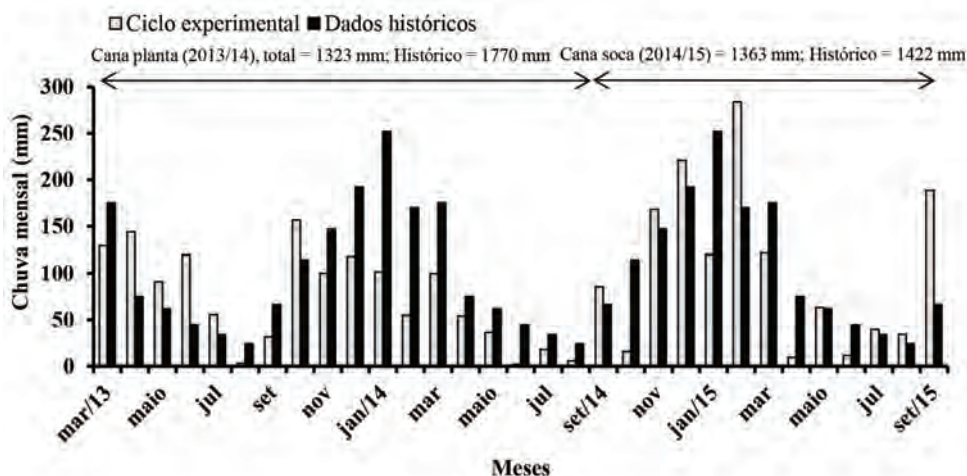
A produtividade de colmos foi determinada pela colheita manual inteira da parcela. A colheita feita por cortadores de cana da usina próxima à APTA. No momento da colheita foram retiradas as folhas secas e cortados os ponteiros. Para pesagem dos colmos foi utilizado uma célula de carga conectada à garra de um trator.

Os dados da produtividade de colmos, N na folha e N exportado foram checados quanto à distribuição normal dos resíduos pelo teste Shapiro-Wilk, submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando o fatorial 4 x 2 (4 doses e 2 fontes), em que os dados do tratamento controle (Sem N) foi utilizado para as duas fontes. O efeito de fontes foi comparado pelo teste t (LSD) a 5% e o efeito de dose por regressão linear, quadrática ou exponencial ( $p \leq 0,05$ ). Foi utilizado o software SISVAR® (FERREIRA, 2000).

### Resultados e Discussão

O cultivo de cana planta ocorreu no período de março de 2013 á novembro de 2014, o qual foi bem seco na primavera-verão. O acumulado de chuva foi de aproximadamente 1300 mm nesse período, enquanto que na média histórica de 10 anos para esse período é em torno de 1800 mm (Figura 1). No ciclo de cana soca (Nov/2014 á Set/15) o volume de chuva ficou próxima à média histórica.

**Figura 1.** Chuva mensal durante o período do experimento e a média histórica (de 1993 até 2013). Ciclo cana planta 2013/14 e cana soca 2014/15.

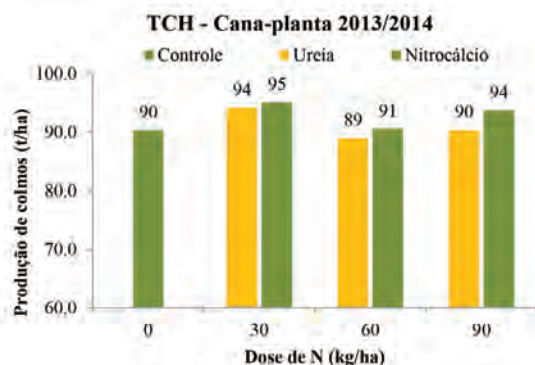


O volume de chuva no ciclo de cana planta foi 500 mm inferior ao histórico para região. A falta de água ocorreu principalmente no período de verão, em que de dezembro a março o volume de chuva foi de 400 mm e o histórico foi de 800 mm. É nesse período que ocorre o maior crescimento da cultura, assim provavelmente essa falta de água afetou o desenvolvimento da planta.

Nesse ciclo de cana planta não houve resposta à aplicação de N e a produtividade de colmos foi relativamente baixa. Assim, não teve efeito de dose do N aplicado e nem diferença das fontes de N, ureia e nitrocálcio (Figura 2 e Tabela 2). Os fertilizantes foram aplicados no sulco do plantio e incorporados, deste modo não era esperada diferença entre as fontes de N. Entretanto não houve resposta à aplicação de N, o que não era previsto. Provavelmente a falta de água no ciclo limitou o desenvolvimento da planta e assim não teve resposta à adição de N (Figura 1). O teor de N na folha independente da dose e fonte de N estava abaixo da faixa adequada (Tabela 2), que é de 18 a 25 g/kg (Raj et al., 1997).

Outro aspecto importante é o balanço de N neste ciclo de cana planta, a diferença entre o N aplicado e o exportado pelos colmos. Mesmo com a limitação de água e produtividade em torno de 90 kg/ha de colmos, o balanço de N foi negativo, exceto para a dose de 90 kg/ha de N com a fonte nitrocálcio (Tabela 2). Isso mostra a importância da aplicação de N para repor o que a planta está extraíndo do solo. Mesmo em ciclo que não há resposta é fundamental repor os nutrientes extraídos para não afetar os ciclos posteriores.

**Figura 2.** Produtividade de colmos (TCH) em função de doses de N pela aplicação de ureia e nitrocálcio no cultivo de cana planta.



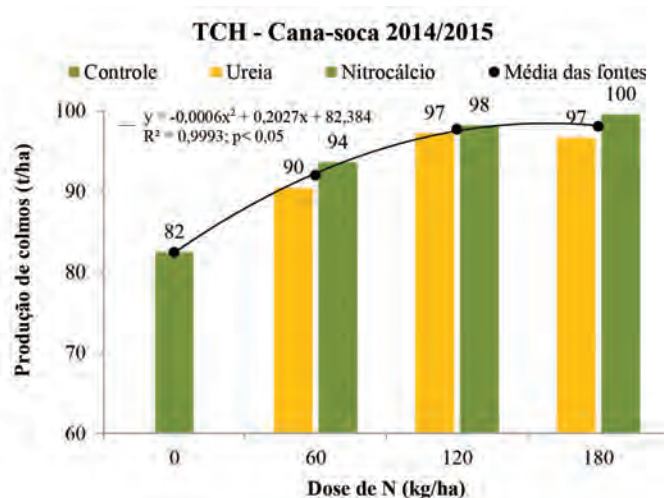
**Tabela 2.** Produtividade de colmos (TCH), N na folha, N exportado e balanço de N em função de doses de N pela aplicação de ureia e nitrocálcio no cultivo de cana planta e cana soca.

Tratamento†	N na folha (g/kg)		TCH (t/ha)		N exportado colmos (kg/ha)		Balanço de N (kg/ha)	
	Planta	Soca	Planta	Soca	Planta	Soca	Planta	Soca
Controle	14	19	90	82	67	47	-67	-47
Ureia 1	15	18	94	90	94	69	-64	-9
Ureia 2	14	16	89	97	81	101	-21	19
Ureia 3	15	18	90	97	99	114	-9	66
NC 1	14	18	95	94	95	87	-65	-27
NC 2	14	19	91	98	62	111	-2	9
NC 3	14	18	94	100	83	99	7	81
Efeito dose	ns	ns	ns	*	ns	*	-	-
Efeito fonte	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-

† NC: Nitrocálcio, Doses 1, 2 3 correspondem a 30, 60 e 90 kg/ha de N na cana planta e 60, 120 e 180 na cana soca, respectivamente. \* significativo estatisticamente,  $p < 0,05$ ; ns: não significativo.

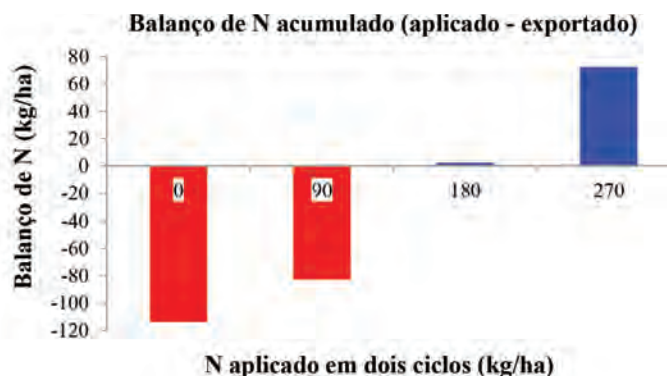
Por outro lado, a cultura respondeu à aplicação de N no cultivo de cana soca (Figura 3 e Tabela 2). O aumento da dose de N aumentou a produtividade de colmos. No tratamento controle (Sem N) a produtividade foi de 82 kg/ha. Com a aplicação de N a produtividade aumentou de forma quadrática, atingindo 97 e 98 kg/ha de colmos pela aplicação de ureia e nitrocálcio na dose de 120 kg/ha de N, respectivamente (Figura 3 e Tabela 2). Pouca alteração ocorreu na produtividade de colmos aumentando a dose de N para 180 kg/ha.

Neste ciclo de cana soca não houve diferença entre as fontes ureia e nitrocálcio (Figura 3 e Tabela 2). Esse dado foi inesperado, visto que os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo, e nessas condições a ureia está sujeita a elevadas perdas de N por volatilização de amônia. Essa perda de N pela ureia poderia reduzir a produtividade da cultura, o que não ocorreu. A volatilização de amônia não foi medida neste experimento, porém possivelmente essa perda de N não foi elevada o suficiente para resultar em perdas de produtividade, assim não houve diferença entre as fontes de N aplicadas.

**Figura 3.** Produtividade de colmos (TCH) em função de doses de N pela aplicação de ureia e nitrocálcio no cultivo de cana soca.

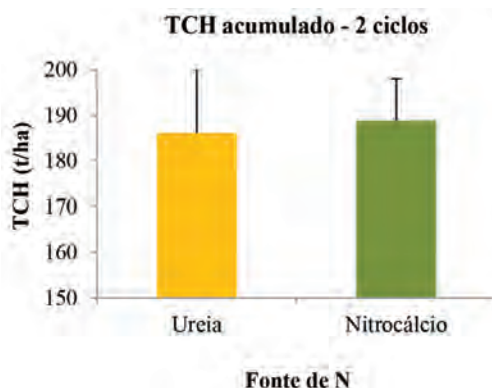
O balanço de N no ciclo de cana soca foi negativo nas doses de 0 e 60 kg/ha de N e positivo nas doses de 120 e 180 kg/ha (Tabela 2). Considerando o acumulado, cana planta somado com cana soca, o balanço de N (Figura 4) passa a ser positivo na dose acumulada de N de 180 kg/ha (60 kg/ha na cana planta + 120 kg/ha na cana soca).

**Figura 4.** Balanço de N acumulado de dois ciclos (N exportado – N aplicado) em função de doses de N pela aplicação de ureia e nitrocálcio no cultivo de cana planta + cana soca.



A dose recomendada de N (RAIJ *et al.*, 1997) é de 60 a 90 kg/ha em cana planta e em torno de 120 kg/ha em cana soca. Assim os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo com a recomendação, como a produtividade, exportação e balanço do N. Considerando essa dose recomendada não houve diferença entre as fontes de N testadas, ureia e nitrocálcio; a produtividade acumulada dos dois ciclos, cana planta mais a soca, foi próxima a 190 kg/ha de colmos para ambas as fontes de N (Figura 5).

**Figura 5.** Produtividade de colmos acumulado de dois ciclos (TCH) pela aplicação de ureia e nitrocálcio. Dose de N: 60 e 120 kg/ha no cultivo de cana planta e cana soca, respectivamente.



### Conclusões

No ciclo de cana planta não houve resposta à aplicação de N, independentemente da fonte utilizada. Para a cana soca a produtividade teve aumento quadrático em relação à dose de N aplicada, porém não houve diferença entre as fontes de N, ureia e nitrocálcio. O balanço de N, o que foi aplicado menos o exportado, foi positivo a partir da dose média recomendada, 60 kg/ha de N em cana planta e 120 kg/ha em cana soca.

### Referências Bibliográficas:

- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Methods of plant chemical analysis**. Campinas: Instituto Agronomico, 1983. p. 48.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. p. 375-470. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do Solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2007. 1017p.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397-401, 2008.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. e; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p.355-412.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Monitoramento da Produção Brasileira de Cana-de-açúcar**. Relatório técnico. Safra 2015-2016 – v. 1 – Brasília: Conab, 2013, disponível em: <http://www.conab.gov.br> Quadrimestral Recebeu numeração a partir de abr./2014. Acessado em 23/03/2016.
- COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:631-637, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 360p.



- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4.0. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45, São Carlos. **Anais...** São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.
- LANDELL, M. G. A.; PINTO, L. R.; CRESTE, S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; SILVA, M. A. Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção. **Encarte do Informações Agrônomicas**, v. 110, p. 18–24, 2005.
- LANDELL, M. G. DE A. et al. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Documentos **IAC**, v. 109, p. 16, 2012.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 489-496, 1997.
- PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência**. 1. ed. Itua, SP, Brazil: Editora Ottoni, 347p. 2013.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: **Instituto Agrônomico**, 1997. 285p.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. **Adubação nitrogenada melhora vigor das soqueiras de cana-de-açúcar refletindo em produtividade nos ciclos agrícolas subsequentes**. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 95, p. 1–8, 2011.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:491-498, 2007.

## PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FASES INICIAIS DE SELEÇÃO DE PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO UTILIZANDO O MÉTODO DE MULTIPLICAÇÃO POR MUDAS PRÉ-BROTADAS

\*M. A. Xavier; \*M. G. A. Landell; \*M. P. Campana; \*G. Aferrri; \*\*D. Perecin

\* CENTRO DE CANA-DE-AÇÚCAR – INSTITUTO AGRONÔMICO – RIBEIRÃO PRETO, SP  
\*\* UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – FCAV – UNESP – JABOTICABAL, SP

*mxavier@iac.sp.gov.br*

### Resumo

As instituições de P&D e o setor sucroenergético diagnosticaram a necessidade de resgatar os benefícios da utilização de material de propagação de alta qualidade, “muda”. Nessa visão foi e continua em constante desenvolvimento pelo Programa Cana do Instituto Agronômico o sistema de multiplicação identificado como mudas pré-brotadas – MPB. O sistema foi apresentado aos produtores em 2012 e com isso inúmeros projetos foram implantados e ampliados nesses últimos anos, a partir de uma plataforma de ampla cooperação. Esse conjunto de ações poderá no médio prazo estruturar uma base tecnológica que represente ganhos econômicos e qualitativos em todo o processo de produção e etapas do melhoramento da cana-de-açúcar. O objetivo desse estudo foi aplicar o MPB em uma fase inicial do processo de desenvolvimento, FS2, e propor a ampliação do tamanho das amostras que compõem as unidades experimentais. Com essa prática foi possível garantir um padrão de uniformidade na instalação do campo experimental e ampliou-se a área de amostragem em 400%. A produtividade agrícola dos clones e o delineamento estatístico empregado contribuíram para a precisão experimental. Dessa forma é possível utilizar tais informações para identificar clones parentais que poderão abastecer mais rapidamente as coleções de trabalho em estação de hibridação de cana-de-açúcar, acelerando a seleção recorrente como estratégia dos programas de melhoramento.

**Palavras-chave:** colmos, produtividade, TCH.

### Summary

The R&D institutions and the sugar-energy sector diagnosed the need to rescue the benefits of using high quality propagating material, “seedling”. In this view it was and is developed by the Cana Program of the Agronomic Institute the multiplication system identified as pre-sprouted seedlings – MPB. The system was presented to producers in 2012 and from that numerous projects were implemented and expanded in recent years. These actions may in the medium term structure a technological base that represents economic and qualitative gains at the production process and stages of improvement of sugarcane. The aim was to apply the MPB at an early stage of the development process, Selection Phase 2 (FS2), and propose the expansion of the size of the samples that make up the experimental units. This practice was possible to ensure a standard of uniformity in the installation of the experimental field and has expanded the sampling area at 400%. Agricultural productivity of clones and statistical design employee contributed to the experimental accuracy. This way you can use such information to identify parental clones that can supply more quickly to working collections in sugarcane hybridization station, accelerating the recurrent selection as a strategy of breeding programs.

**Keywords:** stems, productivity, TCH.

### Introdução

A utilização da multiplicação a partir de mudas pré-brotadas – MPB é hoje uma tendência dentro do sistema de produção de cana-de-açúcar no Brasil. As MPBs apresentam potencial de promover benefícios diretos e indiretos, como por exemplo, a transferência dos ganhos tecnológicos, genéticos e econômicos originados pela multiplicação rápida de cultivares melhoradas.

Tais produtos, fruto do trabalho de todos os programas de melhoramento em atividade no Brasil atualmente, IAC, CTC e RIDESA, podem ser alcançados com maiores benefícios com o sistema de multiplicação por MPB que promovem taxas de propagação superiores a 1:70 e redução de mais de 80% no consumo de colmo semente.

Somados a esses dois indicadores temos no processo de produção de MPB, a utilização de protocolos que incluem as práticas de tratamento térmico, rouguing e os diagnósticos das principais doenças. Tais práticas fazem com que haja naturalmente ao menos o resgate dos benefícios da utilização de “mudas de qualidade”.

A aplicação de sistemas simples, como MPB e demais PBs, significa uma nova oportunidade de iniciar o processo de produção de cana-de-açúcar sobre uma base de uniformidade espacial mais equilibrada, atendendo às necessidades do produtor e as exigências fisiológicas da cana-de-açúcar, independentemente do tamanho ou escala de produção.

Apesar de toda a simplicidade do processo de produção, o uso de mudas pré-brotadas introduz uma mudança de conceito em relação à operação de plantio. Ou seja, substitui-se a distribuição de gemas de forma aleatória nos sulcos por plantas, que originarão unidades biológicas ao final do ciclo de crescimento. Esse ajuste, aplicado na fase inicial do processo de produção agrícola abre a perspectiva de novos desdobramentos nos manejos culturais e consequente agregação de ganhos ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar.

Nesse sentido, poderá haver a inserção dessa cultura milenar a novos níveis de produtividade unindo o sistema de MPB, como elemento facilitador para a multiplicação rápida de novas cultivares, ao conceito de ajuste na gestão da população de colmos e maior uniformidade do canalial.

Considera-se também que seu uso, associado aos métodos de seleção poderão representar um modelo inovador de avaliação de progênies e poderá auxiliar no aumento da precisão da experimentação agrônômica, inclusive nas fases iniciais de um programa de melhoramento.

Para a multiplicação acelerada de variedades de interesse podem ser utilizadas técnicas como MEIOSI, plantio gema a gema, produção de mudas pré-brotadas, entre outros métodos de plantio que possibilitem a obtenção de taxas significativamente superiores às convencionais (PAVANI *et al.*, 2014), o que justifica e indica a utilização da MPB inclusive nas fases iniciais do melhoramento de cana-de-açúcar.

O objetivo dos programas de melhoramento são identificar, selecionar e multiplicar genótipos superiores em uma população. Um programa de desenvolvimento e caracterização de novas cultivares de cana-de-açúcar, basicamente é subdividido em quatro etapas: hibridação, seleção na população segregante, seleções clonais e validação final (Figura 1).

**Figura 1.** Etapas de um programa de melhoramento genético de cana- de-açúcar.



A hibridação permite ampliação da variabilidade genética e consequentemente o início dos processos de seleção. A partir dessa etapa, resumidamente, ocorrem várias etapas de seleção clonal, portanto, a multiplicação doravante, sempre será por propagação vegetativa.

Na primeira seleção, as plantas são a unidade biológica e são únicas, o que naturalmente restringe o número de colmos semente a serem utilizados para a multiplicação. Esse fato dificulta a instalação de experimentos com repetições nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de uma nova cultivar.

Nesse sentido, o sistema de MPB está sendo empregado e validado pelo Programa Cana do Instituto Agrônomo como uma oportunidade e estratégia que possibilita instalar o primeiro campo clonal, fase de seleção 2 ou FS2 com uso de delineamento estatístico, repetições e amostras maiores do que da forma tradicional, ou seja, o método convencional de multiplicação que utiliza o colmo semente.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área do Centro de Cana do Instituto Agrônomo no município de Ribeirão Preto.

Para esse projeto piloto foram utilizadas plantas selecionadas da série de hibridação 2012 do projeto de melhoramento do programa cana IAC. A estratégia de seleção adotada no campo de seleção FS1 foi a de priorizar a seleção a partir de um número mínimo de 17 colmos/unidade biológica, o que permitiu a produção de no mínimo 80 MPBs finais, número suficiente para estabelecer o plantio de 40 metros lineares (0,50m entre plantas) no campo de FS2. As MPBs foram produzidas de acordo com (LANDELL *et al.*, 2012).

Foram mensurados a produtividade e o parâmetro biométrico número de colmos. Os tratamentos foram representados por trinta e quatro clones, réplicas biológicas em fase de experimentação e duas cultivares padrões, IACSP95-5000 e IACSP95-5094, todos plantados em sistema de MPB. As unidades experimentais foram constituídas por parcelas de quatro linhas de cinco metros e o delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados com duas repetições.

O espaçamento entre plantas foi de 0,50 metros e entre linhas de 1,50 metros. As avaliações finais para número de colmos e peso de parcelas foram realizadas aos 252 dias após o plantio, momento em que foi estimada a produtividade agrícola, TCH. As análises dos dados foram realizadas através do programa estatístico CAIANA® (IAC, Ribeirão Preto).

### Resultados e Discussão

Atributo biométrico: A estimativa de produtividade a partir de amostras de peso de parcelas é mais precisa que as medidas utilizadas para estimar indiretamente a produtividade da cana-de-açúcar (TCH biométrico) realizadas com número de colmos, diâmetro e altura quando mensurados de forma associada.

Nesse sentido, o levantamento e a identificação da produtividade no início das fases de desenvolvimento varietal permitem a identificação de clones superiores de forma mais rápida e com maior precisão. O grau e a qualidade dessa caracterização é o que possibilitará também a utilização desses clones como parentais, o que é chamado de seleção recorrente.

Para TCH foram onze clones com produtividade maior do que o melhor padrão, IACSP95-5094 (Tabela 1). Esses indicadores sinalizam o potencial desse grupo de clones para seguir nos processos de seleção e também abastecer coleções de trabalho ou banco de germoplasma em estações de hibridação.

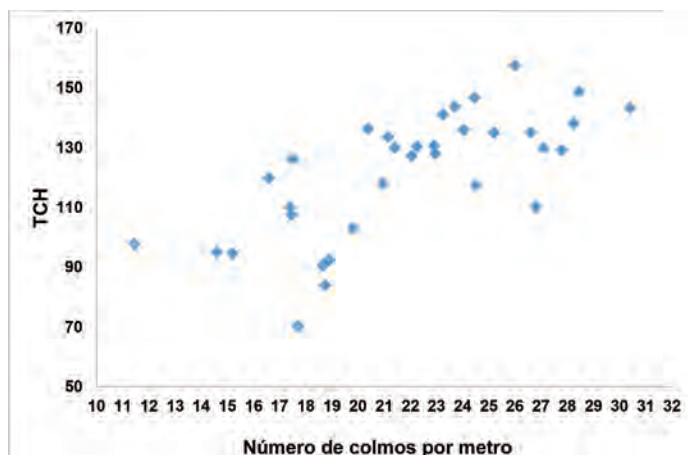
**Tabela 1.** Médias De Produtividade (TCH) E Número de Colmos \*or Metro Linear aos 252 DA\*, Em Ribeirão

Clones	Colmos	TCH
IAC122184	26,00	157,5
IAC122167	28,45	148,9
IAC122182	24,45	146,8
IAC122163	23,70	143,8
IAC122187	30,40	143,4
IAC122170	23,25	141,1
IAC122168	28,25	138,1
IAC122164	20,40	136,3
IAC122195	24,05	136,0
IAC122175	26,60	135,2
IAC122198	25,20	135,0
IACSP955094	18,40	133,9
IAC122160	21,15	133,6
IAC122188	22,90	130,6
IAC122199	22,25	130,3
IAC122201	21,40	130,1
IAC122174	27,10	129,9
IAC122177	27,80	129,2
IACSP955000	16,10	128,9
IAC122169	22,95	128,1
IAC122178	22,05	127,2
IAC122203	17,50	126,2
IAC122166	16,60	119,9
IAC122176	20,95	118,2
IAC122172	24,50	117,5
IAC122186	26,80	110,2
IAC122181	17,40	110,1
IAC122185	17,45	107,7
IAC122165	19,80	103,0
IAC122179	11,45	97,9
IAC122200	14,60	95,1
IAC122183	15,20	94,6
IAC122159	18,90	92,5
IAC122202	18,65	90,5
IAC122196	18,75	84,1
IAC122197	17,70	70,4
<b>P</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>
<b>Médias Padrão</b>	<b>17,25</b>	<b>131,4</b>
<b>DMS (10%)</b>	<b>6,16</b>	<b>47,1</b>
<b>CV, %</b>	<b>7,33</b>	<b>9,94</b>

O número de colmos por metro linear observado neste estudo apresentou uma correlação forte (0,71) com a produtividade da cana-de-açúcar (Figura 2). Esse resultado está em concordância com os verificados por ZACARIAS (1977) em clones de terceira fase de seleção em cana-de-açúcar no qual encontrou correlações para NC x TCH (0,57).

Os autores MARIOTTI (1977) e ZACARIAS (1977) constataram que o número de colmos foi o caráter que mais contribuiu para a produção de cana por área. PEDROZO *et al.*; (2008) avaliando 130 clones na fase T2, observaram que a produção estimada de colmos apresentou elevada correlação genotípica com toneladas de colmos por hectare, podendo ser empregada na seleção indireta. Além da forte correlação

**Figura 2.** Dispersão das observações de número de colmos em função da produtividade (TCH).



Na forma tradicional, com o “colmo semente” distribuído diretamente na linha de plantio, seria possível o plantio de apenas 8 metros lineares de cada material genético. Portanto, com o emprego da MPB para a multiplicação do material selecionado na FS1 para a FS2 há um aumento de 400% em área experimental, o que insere a MPB como uma aliada e facilitadora das atividades desenvolvidas pelo profissional que atua no melhoramento de cana-de-açúcar.

Ressalta-se dessa forma, a dupla aptidão da MPB nos programas de melhoramento genético, podendo ser empregada tanto nas fases iniciais de seleção de materiais promissores quanto na etapa imediatamente pós-caracterização e validação final.

### Conclusão

O uso do sistema de multiplicação por MPB na fase de seleção clonal FS2 indicou que o número de colmos por metro linear é um critério indireto de seleção, apresentando forte correlação (0,71) com a produtividade agrícola.

### Referências Bibliográfica

- PAVANI, A. A., ZAVAGLIA, A.; ARRIGONE, E.B.; STINGEL, E.; CASAGRANDE, M.; ROZ, T. Boletim técnico: **Viveiros. Piracicaba: CTC**, n.03. 2014.
- LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M.A.; ANJOS, I.A.; DINARDO-MIRANDA, L.L.; SCARPARI, M.S.; GARCIA, J.C.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, D.N.; MENDONCA, J.R.; KANTACK, R.A.D.; CAMPOS, M.F.; BRANCALIAO, S.R.; PETRI, R.H.; MIGUEL, P.E.M. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Campinas: **Documentos IAC**, Instituto Agrônomo, v.109, 16p. 2012 (Boletim Técnico).
- MARIOTTI, J.A. Sugarcane clonal selection research in Argentina. A review of experimental results. **Proceedings of the XVI Congress**. São Paulo, Brasil. p.121-136. 1977.
- PEDROZO, C.A. *et al.* Eficiência da seleção em fases iniciais do melhoramento da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 55, n. 1, p. 001, 2008.
- ZACARIAS, C.A.B. Estimção de parâmetros genéticos e fenotípicos em clones de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e suas implicações no melhoramento. Piracicaba, SP. ESALQ/USP. **Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento)** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 82p. 1977.

**MUDAS PRÉ-BROTADAS (MPB) E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR**

\*M. A. Xavier; \*M. G. A. Landell; \*G. Aferrri; \*M. A. P. Bidoia; \*R. H. Petri; \*H. R. Carregari; \*D. N. Silva;  
\*\* L. G. Teixeira; \*\*\* D. Perecin

\* CENTRO DE CANA-DE-AÇÚCAR – INSTITUTO AGRONÔMICO: RIBEIRÃO PRETO - SP

\*\* GRUPO SÃO MARTINHO – USINA SÃO MARTINHO: PRADÓPOLIS – SP

\*\*\* UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP: JABOTICABAL - SP

*mxavier@iac.sp.gov.br*

**Resumo**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade de três cultivares em três espaçamentos de plantio em MPB e duas distribuições de gemas. Foram utilizadas parcelas de quatro linhas de quinze metros. As cultivares foram escolhidas unicamente em função do padrão de perfilhamento. A produtividade TCH não diferiu entre tipo de plantio, espaçamentos de MPB ou quantidade de gemas por metro de sulco e entre as variedades. Também não foi verificada interação entre variedade e tipo de plantio. A quantidade de colmos por metro linear foi diferente ( $P < 0,0001$ ) entre as variedades, como era esperado, devido ao perfil de cada cultivar. A IAC91-1099 teve a maior média por metro (16,1 colmo/m), seguida da IACSP95-5000 (15,1 colmo/m) e o menor valor foi observado para a RB867515 (12,0 colmos/m). O conhecimento e caracterização do número de colmos pode ser um dos critérios para indicação do espaçamento mais adequado para o sistema MPB. No presente estudo, o maior valor para número de colmos observado para a IAC91-1099 pode estar associado à produtividade 8,0% superior a RB867515, o que também foi observado para a IACSP95-5000 que teve 12,3% a mais de TCH. A diferença entre a IAC91-1099 e a IACSP95-5000 foi de 3,8%.

**Palavras-chave:** Colmos, espaçamento, variedades.

**Summary**

This study aimed to evaluate the yield of three cultivars in three planting space in Pre-Sprouted Seedlings (MPB) and two distributions of gems. Were used plots of four lines of fifteen meters. The cultivars were chosen solely on the basis of tillering pattern. Tons of Sugarcane per Hectare (TCH) productivity did not differ between type of planting, MPB spacings or amount of groove meter by gems and between varieties. It was also not verified interaction between variety and type of planting, however, the number of stems per meter was different ( $P = < 0.0001$ ) between the varieties, as expected, due to the profile of each cultivar. The IAC91-1099 had the highest average per meter (16.1 stems/m), followed by IACSP95-5000 (15.1 stems/m) and the lowest value was observed for RB867515 (12.0 stems/m). The knowledge and characterization of stem number can be one of the criteria for indicating the most appropriate spacing for MPB system. In the present study, the highest for number of stems observed for IAC91-1099 may be associated with productivity 8.0% higher than RB867515, which was also observed for the IACSP95-5000 had 12.3% more TCH. The difference between IAC91-1099 and IACSP95-5000 was 3.8%.

**Keywords:** stems, spacing, varieties.

**Introdução**

A produtividade da cana-de-açúcar é dependente de uma série de fatores, bióticos e abióticos que associados aos manejos podem limitar ou aproximar o potencial biológico do efetivamente realizado. Nesse sentido a escolha das cultivares, espaçamentos, nutrição e os modelos de multiplicação a serem adotados são importantes para o sucesso do setor agrícola e influenciam o resultado econômico dentro de uma unidade de processamento industrial.

Nos últimos dez anos o setor sucroenergético nacional assistiu a uma intensa expansão da área de plantio, na ordem de 56%. Isso significou concentrar em dez anos mais da metade do crescimento efetivado ao longo do histórico dos demais 500 anos de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. Com esses indicadores, o Brasil continua sendo o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (FAO, 2014), com uma área cultivada estimada de 9,1 milhões de hectares para a safra 2014/2015.

O estado de São Paulo é o maior produtor com área correspondente a 51,7% desse total (CONAB, 2014). Porém, o crescimento em área cultivada não é suficiente para garantir o sucesso de um segmento importante do agronegócio brasileiro. A expansão em área necessita ser estruturada a partir de uma visão que priorize a adoção de novos pacotes fitotécnicos, o que inclui a atualização varietal.

Atualmente no Brasil são utilizados em média doze anos para o desenvolvimento, caracterização e validação de pacotes de cultivares, porém é inegável o ativo biológico que os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar e suas equipes têm oferecido ao setor de produção e processamento.

A disponibilização constante de novos materiais torna a atualização do plantel varietal uma questão de planejamento técnico e operacional. Nesse sentido, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de multiplicações aceleradas podem transferir o ganho genético para o setor de produção, tornando-se cada vez mais importante.

Passado o período de forte expansão horizontal é chegada a hora de retomar princípios. Qualificando processos, dinamizando técnicas e rompendo paradigmas adotados na base do sistema de produção de cana. Nesse sentido, o Programa Cana do Instituto Agronômico apresentou em 2012 o sistema de multiplicação denominado mudas pré-brotadas – MPB -, cuja principal característica é sua simplicidade (LANDELL *et al.*, 2012).

A utilização do MPB e dos demais sistemas de pré-brotados (PBs) transforma o conceito de plantio empregado há séculos nos canaviais. No caso, retira-se o colmo semente da linha de cultivo e introduz-se uma planta (MPB). Essa prática aparentemente simples torna o plantio de cana mais leve, pois há uma intensa redução na quantidade de material de propagação. Tal redução chega hoje a 80 % e poderá ser ainda maior em função de estudos de arranjo espacial e população inicial de plantas.

#### Material e Métodos

O campo experimental foi instalado na Usina São Martinho, no município de Pradópolis. Foram utilizadas as variedades RB867515, IAC91-1099 e IACSP95-5000 em dois sistemas de plantio: com colmo semente ou com mudas pré-brotadas (MPB). No sistema tradicional as gemas foram distribuídas nos sulcos na proporção de 15 gemas por metro, simulando o plantio manual, ou com 30 gemas por metro, simulando o plantio mecanizado. No sistema de MPB as mudas foram plantadas com 0,25m, 0,50m ou 0,75m entre plantas. Nos dois sistemas o espaçamento entre linhas foi de 1,50m.

O preparo de solo, plantio e tratos culturais seguiram as recomendações tradicionais para a cultura. As parcelas eram compostas por quatro linhas com 15m de comprimento em duas repetições, com número variável de plantas de acordo com os tratamentos. O delineamento empregado foi em blocos casualizados, considerando como bloco a área onde estava cada repetição, em arranjo fatorial onde as variações foram variedade (três) e espaçamento de plantio (cinco: dois para colmo e três para MPB).

As avaliações foram realizadas no segundo ciclo de cultivo, soca com 330 dias após o corte. Foram contados o número total de colmos industrializáveis em cada parcela e realizada a média de colmos por metro. O corte das parcelas foi manual e toda a cana foi pesada para estimar a produção de toneladas de colmo por hectare (TCH).

Os dados foram analisados com auxílio do programa estatístico SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC) e as médias foram comparadas pelo teste T, considerando significativas as diferenças a 10% de probabilidade. Foi testada a interação entre os fatores variedade de cana e espaçamento de plantio.

#### Resultados e Discussão

A produtividade TCH (Tabela 1) não diferiu entre tipo de plantio ( $P=0,1559$ ), entre os espaçamentos de MPB ou quantidade de gemas por metro de sulco ( $P=0,5565$ ) e entre as variedades ( $P=0,1564$ ). Também não foi verificada interação entre variedade e tipo de plantio ( $P=0,7673$ ).

**Tabela 1.** Médias Da População De Colmos (Colmo/M) E Produtividade (Tch) Da Cana Em Diferentes Tipos De Plantio E Variedades.

Tratamento	Colmo/m	TCH
RB867515 15 gemas/m	12,42 <sup>dc</sup>	87,41
RB867515 30 gemas/m	12,71 <sup>dc</sup>	101,62
RB867515 MPB 0,25 m	11,55 <sup>c</sup>	98,86
RB867515 MPB 0,50 m	11,26 <sup>c</sup>	88,89
RB867515 MPB 0,75 m	12,02 <sup>c</sup>	99,47
IAC91-1099 15 gemas/m	16,46 <sup>ab</sup>	108,01
IAC91-1099 30 gemas/m	16,7 <sup>a</sup>	100,75
IAC91-1099 MPB 0,25 m	16,17 <sup>ab</sup>	104,11
IAC91-1099 MPB 0,50 m	15,75 <sup>a-c</sup>	94,82
IAC91-1099 MPB 0,75 m	15,54 <sup>a-c</sup>	106,87
IACSP95-5000 15 gemas/m	16,27 <sup>ab</sup>	107,33
IACSP95-5000 30 gemas/m	14,82 <sup>bc</sup>	118,58
IACSP95-5000 MPB 0,25 m	13,97 <sup>cd</sup>	107,40
IACSP95-5000 MPB 0,50 m	14,88 <sup>a-c</sup>	100,30
IACSP95-5000 MPB 0,75 m	15,83 <sup>a-c</sup>	101,39
CV	6,19	9,54
P	<0,0001	0,3184

<sup>ab</sup> Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste T a 10%.

Os valores médios observados para TCH foi de 94,5 e 95,7 t/ha para a RB867515 plantada em colmo ou MPB, respectivamente; bem como de 104,4 e 101,9 t/ha para IAC91-1099 e 113,0 e 103,0 t/ha para IACSP95-5000. O aumento no número de gemas ou de MPB não incrementou a produtividade da cana-de-açúcar, representando apenas aumento de insumos para implantação do canavial.

Para número de colmos por metro linear (Tabela 1), não houve diferença entre tipo de plantio ( $P=0,3652$ ), em colmo ou MPB, e não houve interação entre variedade e tipo de plantio ( $P=0,5296$ ). Entretanto, a quantidade de colmos por metro foi diferente ( $P=<0,0001$ ) entre as variedades, como era esperado, devido ao perfil de cada cultivar. A IAC91-1099 teve a maior média de colmos por metro (16,1 colmos/m), seguida da IACSP95-5000 (15,1 colmos/m) e o menor valor foi observado para a RB867515 (12,0 colmos/m).

O número de colmos é um dos componentes que determinam a produtividade e, no presente estudo, o maior valor observado para a IAC91-1099 pode estar associado à produtividade 8,0% superior à RB867515 que teve o menor número de colmos por metro, o que também foi observado para a IACSP95-5000 que teve 12,3% de TCH a mais que a RB867515. A diferença entre a IAC91-1099 e a IACSP95-5000 foi de 3,8%.

A distribuição de gemas (15 ou 30) no sulco de plantio não alterou a quantidade de colmos por metro (Tabela 2) e também não influenciou a produtividade. Os plantios com 30 gemas por metro ou 4 MPBs por metro tiveram maior número de colmos por metro quando comparados aos plantios com 15 gemas por metro ou com espaçamento de 0,75m entre plantas na linha. É interessante notar que essas variações não se traduziram em aumento ou perda de produtividade.

**Tabela 2.** Médias da população de colmos (Colmo/m) e produtividade (TCH) da cana em diferentes tipos de plantio, independente da variedade.

Espaçamento	Tipo de plantio	Colmo/m	TCH
15 gemas/m	Manual	13,96 <sup>b</sup>	94,67
30 gemas/m	Mecânico	14,46 <sup>ab</sup>	102,58
0,25 m entre MPB	MPB	15,05 <sup>a</sup>	100,92
0,50 m entre MPB	MPB	14,76 <sup>ab</sup>	106,98
0,75 m entre MPB	MPB	13,90 <sup>b</sup>	103,46
CV		6,13	9,43
P		0,0895	0,5563

<sup>a,b</sup> Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste T a 10%.

O menor número de gemas representado pelo plantio com 15 gemas por metro ou com MPB a 0,75m entre plantas ainda está dentro de valores interessantes para a cultura, proporcionando populações de mais de 90.000 colmos por hectare, com economia de mudas.

### Conclusão

O aumento do número de gemas distribuídos na linha de plantio não promove aumento de produtividade e população de colmos finais.

Utilização de maiores espaçamentos, 0,75m entre MPBs pode ser uma estratégia para minimizar custos no plantio do grupo de variedades de cana-de-açúcar avaliados nesse estudo.

### Referências Bibliográficas

- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2014/2015, primeiro levantamento. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_04\\_15\\_15\\_44\\_37\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_14.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_15_15_44_37_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_14.pdf). Acesso em: maio de 2014.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/dRdefault.aspx>. Acesso em: maio de 2014.
- LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 2013. 16p. (Documentos IAC, 109).
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT 9.2 user's guide. SAS Institute, Cary, NC, USA, 2008.



## FERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA FORMAÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Julio César Garcia<sup>1</sup>; Renata Mastrantonio de Souza<sup>2</sup>; Augusto Yukitaka Pessinatti Ohashi<sup>3</sup>; Letícia Paula Magalhães Silva<sup>4</sup>; Regina Célia de Matos Pires<sup>5</sup>; Mauro Alexandre Xavier<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Pesquisador Científico do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana/IAC.

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo – Bolsista da Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, Campinas - SP

<sup>3</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical do Instituto Agronômico (IAC).

<sup>4</sup>Bacharela em Biotecnologia.

<sup>5</sup>Pesquisadora Científica do Centro de P&D em Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agronômico.

juliogarcia@iac.sp.gov.br

### Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de fontes de fertilizantes de liberação controlada no desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Cana-IAC, em Ribeirão Preto - SP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, envolvendo 2 fontes de fertilizantes de liberação controlada (Fonte I e Fonte II), 4 doses (3, 6, 9 e 12 kg. m<sup>-3</sup>) e uma testemunha composta por fertilização convencional. De acordo com os resultados pode-se concluir que os fertilizantes de liberação controlada não influenciaram o desenvolvimento inicial em altura de MPB de cana-de-açúcar. A Fonte II proporcionou maiores valores de Peso Fresco de Raiz e Parte Aérea de MPB de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** Liberação Lenta, Eficiência de Adubação, Salinidade.

### Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of release fertilizer sources controlled development of pre sprouted seedlings of cane sugar. The test was conducted in a greenhouse in the center cane – IAC in Ribeirão Preto - SP. The experimental design was completely randomized, involving two sources of controlled release fertilizer (Fonte I and Fonte II), four levels (3, 6, 9 e 12 kg. m<sup>-3</sup>) and a witness comprised of conventional fertilization. According to the results it can be concluded that the controlled release fertilizer not influenced initial height MPB sugar cane. The source II provided the largest fresh weight values of root and shoot of sugar cane MPB.

**Keywords:** Slow Liberation, Efficiency of Fertilization, Salinity.

### Introdução

Mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar é um sistema de multiplicação que poderá contribuir para a produção rápida de mudas, associando elevado padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio. É uma nova tecnologia desenvolvida pelo Programa Cana do Instituto Agronômico de Campinas, direcionado a aumentar a eficiência e ganhos econômicos na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais e, possivelmente, renovação e expansão de áreas de cana-de-açúcar (LANDELL, 2013).

A adubação visa fornecer à planta todos os elementos essenciais, sem os quais a planta não completa seu ciclo vital. A prática de adubação, além de se constituir em um dos fatores indispensáveis para o desenvolvimento de mudas, se manejada de forma correta pode acelerar consideravelmente seu crescimento, reduzindo custos de produção e possibilitando menor período de tempo nos viveiros (MALAVOLTA, 1980).

Um dos principais cuidados nutricionais que se deve tomar em relação ao desenvolvimento de mudas em viveiros diz respeito à salinidade, que indica o aumento do potencial osmótico de uma solução, produzido por determinados fertilizantes em comparação com nitrato de sódio (índice salino = 100). Deve-se evitar a utilização de fertilizantes de alta salinidade, pois a concentração excessiva de sais nas raízes resultará em morte dos tecidos radiculares com consequentes prejuízos ao desenvolvimento das plantas e à perda de mudas nos viveiros (RAIJ *Et al.*, 1996).

Nos fertilizantes de liberação lenta, a existência de uma resina orgânica ao redor dos granulos controla a saída dos nutrientes para o meio, após a adubação, a umidade penetra na resina que envolve o fertilizante, solubilizando os nutrientes em seu interior. Em função da diferença de concentração entre a solução do meio e do interior dos granulos, os nutrientes vão sendo liberados de forma gradual. Essa liberação é diretamente proporcional a temperatura e a umidade do substrato, sendo mais rápida na medida em que a temperatura e umidade se elevam (SGARBI *et al.*, 1999).

Mudas de café e de eucalipto fertilizadas com adubos de liberação lenta tiveram maior produção de biomassa aérea e radicular em relação as adubadas com fertilizantes convencionais (ANDRADE NETO *et al.*, 1999; SGARBI *et al.*, 1999). MENDONÇA *et al.*, (2008) recomendam um fertilizante de liberação lenta para a formação de mudas de tamarindeiro. Por outro lado, não foram observadas diferenças de crescimento da laranjeira `Valência` no primeiro ano de plantio, quando esta foi submetida a adubação nitrogenada via fertilizantes solúveis ou via fertilizantes de liberação lenta (GIRARDI; MOURAO FILHO, 2004).

As principais vantagens dos fertilizantes de liberação lenta, segundo SHAVIV (2001), são: fornecimento regular e contínuo de nutrientes para as plantas; menor frequência de aplicações em solos; redução de perdas de nutriente devida à lixiviação, imobilização e, ainda, volatilização; eliminação de danos causados a raízes pela alta concentração de sais; maior praticidade no manuseio dos fertilizantes; contribuição à redução da poluição ambiental pelo NO<sup>-3</sup>, atribuindo valor ecológico à atividade agrícola (menor contaminação de águas subterrâneas e superficiais), e redução nos custos de produção.

Um exemplo desse tipo de fertilizante é a fonte I (SGARBI *et al.*, 1999). Este fertilizante de liberação controlada (15-10-10) é um fertilizante que, além de conter 15% de N, 10% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 10% de K<sub>2</sub>O, apresenta ainda em sua formulação 3,8% de Ca, 1,5% de Mg, 3,0% de S, 0,02% de B, 0,05% de Cu, 0,5% de Fe, 0,1% de Mn, 0,004% de Mo e 0,05% de Zn. Pelo fato desta fonte I permitir a disponibilidade contínua de nutrientes para as mudas, durante um maior tempo, existe menor possibilidade de ocorrer deficiência de nutrientes durante o período de formação das mesmas, o que dispensaria aplicações parceladas de outras fontes, reduzindo, assim, os custos operacionais na formação da muda. É um fertilizante indicado tanto para produção de mudas de diversas frutíferas, quanto para plantas ornamentais e oleráceas (BRITTON *et al.*, 1998; PILL e BISCHOFF, 1998).

DUTRA *et al.*, (1994) compararam fertirrigação com adubo de liberação lenta Fonte I sobre citrange 'Carrizo' (P. trifoliata x C. sinensis) durante um ano. Plantas tratadas com fertilizante de liberação lenta alcançaram maior diâmetro da copa e menor peso de matéria seca do sistema radicular, ocorrendo o oposto nas plantas fertirrigadas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi comparar duas fontes de fertilizantes de liberação controlada na qualidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

### Material e Métodos

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, nas dependências do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio da Cana-de-Açúcar do IAC, em Ribeirão Preto - SP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, envolvendo 9 tratamentos assim descritos:

	N(g/m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/m <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> )	Produto
T1	570	180	300	Fonte I
T2	1.140	360	600	Fonte I
T3	2.280	720	1.200	Fonte I
T4	4.560	1.440	2.400	Fonte I
T5	570	180	300	Fonte II
T6	1.140	360	600	Fonte II
T7	2.280	720	1.200	Fonte II
T8	4.560	1.440	2.400	Fonte II
T9	1500	360	1200	Convencional

As unidades experimentais foram constituídas por 10 mudas pré-brotadas formadas através de minirebolos de cana plantados em tubetes de 180 ml, sendo cada conjunto deste uma parcela, combinadas em cinco repetições. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a IACSP95-5000. O substrato utilizado foi o tropstrato, constituído basicamente por casca de pinus e fibra de coco, cuja análise química pode ser observada na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química do substrato utilizado o ensaio.

Determinação	Unidade	Resultados	Metodologia
Nitrogênio - N *	g.kg <sup>-1</sup>	4,8	SM, método 4500-N <sub>org</sub> C.
Fósforo - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	g.kg <sup>-1</sup>	2,2	SM, método 4500-P C.
Potássio - K <sub>2</sub> O *	g.kg <sup>-1</sup>	3,4	SM, método 3111-K B.
Cálcio - CaO *	g.kg <sup>-1</sup>	13,1	SM, método 3111-Ca D.
Magnésio - MgO *	g.kg <sup>-1</sup>	6,8	SM, método 3111-Mg B.
Enxofre - S *	g.kg <sup>-1</sup>	1,4	SM, método 4500-SO <sub>2</sub> E.
Umidade	g.Kg <sup>-1</sup>	570,7	MAPA, método U65, Cap. III.C.1.
Matéria Orgânica *	g.kg <sup>-1</sup>	774,1	MAPA, método C. Org., Cap.III.D.10.
Carbono Orgânico *	g.kg <sup>-1</sup>	449,0	MAPA, método C. Org., Cap.III.D.10.
Relação C/N	—	93 : 1	MAPA, método C/N, Cap.III.D.13.
Nitrogênio - N **	g.kg <sup>-1</sup>	2,1	SM, método 4500-N <sub>org</sub> C.
Fósforo - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> **	g.kg <sup>-1</sup>	1,0	SM, método 4500-P C.
Potássio - K <sub>2</sub> O **	g.kg <sup>-1</sup>	1,4	SM, método 3111-K B.
Cálcio - CaO **	g.kg <sup>-1</sup>	5,6	SM, método 3111-Ca D.
Magnésio - MgO **	g.kg <sup>-1</sup>	2,5	SM, método 3111-Mg B.
Enxofre - S **	g.kg <sup>-1</sup>	0,6	SM, método 4500-SO <sub>2</sub> E.
Densidade	g.Kg <sup>-1</sup>	479,6	—

As gemas foram plantadas em caixas de germinação no dia 08/05/2015, transplantadas no dia 19/05/2015 e a avaliação final se deu no dia 13/05/2015.

### Parâmetros avaliados:

Peso fresco da parte aérea e raiz

Por ocasião da avaliação final do ensaio, foi realizado o corte das plantas junto ao coleto, separando raiz e parte aérea, para obtenção do peso fresco da parte aérea. Após extração de todo o substrato via lavagem, foi realizado a pesagem das raízes para obtenção do peso fresco

**Peso fresco e seco de raiz.**

Por ocasião da avaliação final do ensaio, será realizada a pesagem das raízes em seu estado natural para obtenção do peso fresco de raiz, e após secagem em estufa de circulação de ar forçada à 70° C até atingir peso constante, será realizada a pesagem para obtenção do peso seco de raiz

**Altura de plantas.**

Foram realizadas medições de altura de plantas aos 15, 30 e 52 dias após aplicação dos tratamentos, ocasião da avaliação final do ensaio.

**Análises estatísticas:**

Os dados foram submetidos à análise de variância, com realização de teste F, sendo as comparações entre os tratamentos efetuadas para esquema em DIC.

**Resultados e Discussões.**

Conforme os valores médios apresentados na tabela 2 referente aos valores médios para altura de plantas, observa-se que aos 15 dias após o plantio, as melhores médias foram proporcionadas pelos tratamentos 1, 2, 3 e 5, ou seja, envolvendo 3, 6 e 9 kg/m<sup>3</sup> da fonte I e 3 kg/m<sup>3</sup> da fonte II. Os demais tratamentos foram inferiores e iguais entre si.

**Tabela 2.** Valores médios para altura de plantas.

Tratamento	Altura de plantas aos 15 dias	Altura de plantas aos 30 dias	Altura de plantas aos 50 dias
T1	7,87 a	10,90 a	12,75 b
T2	7,91 a	11,46 a	13,16 b
T3	7,88 a	12,71 a	15,24 a
T4	7,29 b	10,69 a	14,92 a
T5	7,92 a	12,23 a	15,68 a
T6	7,50 b	11,95 a	15,52 a
T7	7,18 b	11,25 a	14,72 a
T8	6,96 b	8,55 b	12,75 b
T9	7,18 b	10,72 a	15,44 a

Sendo assim, como o desenvolvimento inicial de plantas foram semelhantes para os tratamentos 1 e 5, infere-se que sejam os mais eficientes do ponto de vista econômico, uma vez que os custos dos fertilizantes de liberação controlada utilizados em viveiros são elevados (R\$ 12.000,00/ t) Fonte I e (R\$3.000,00/t) Fonte II, o seu uso em menor quantidade proporcionando desenvolvimento inicial similar torna-se interessante, por diminuir os custos de produção.

Aos 30 dias após o plantio observa-se que a altura de plantas foi similar para a maioria dos tratamentos, indicando forte efeito ambiental, uma vez que o material foi retirado da estufa e colocado em condição ambiente, coincidindo com os meses mais frios do ano, onde a planta tende a diminuir o metabolismo e consequentemente o seu crescimento.

Em contrapartida, DUTRA *et al.* (1994) compararam fertirrigação com adubo de liberação lenta (Fonte I) sobre citrange 'Carrizo' (*P. trifoliata* x *C. sinensis*) durante um ano, e observaram que plantas tratadas com fertilizante de liberação lenta alcançaram maior diâmetro da copa.

Aos 50 dias após o plantio, observa-se de acordo com os valores médios apresentados na (Tabela 3) que as menores doses de fonte I utilizada e a maior da fonte II proporcionaram as menores alturas de plantas comparados com os demais tratamentos.

Em relação ao peso fresco da parte aérea, conforme análise dos dados dos valores médios expressos na tabela 3, os tratamentos envolvendo as duas menores doses do fertilizante de liberação controlada (Fonte II) proporcionaram os maiores valores em comparação aos demais tratamentos, tendo comportamento intermediário para o parâmetro em questão as doses os tratamentos 3, 7 e 4, ou seja, envolvendo as duas maiores doses do fertilizante Fonte I e a dose intermediária de 2.280 g/m<sup>3</sup> de N, 720 g/m<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 1.200 g/m<sup>3</sup> de K<sub>2</sub>O do fertilizante Fonte II.

Não existe na literatura resultado de trabalhos que relacionam a resposta de fertilizantes de liberação controlada em mudas de cana-de-açúcar. Dessa forma, torna-se necessário relacionar os resultados do presente trabalho com outras culturas

Sendo assim, semelhantemente ao alcançado no presente estudo, Andrade Neto *et al.*, 1999 e Sgarbi *et al.*, 1999, avaliando mudas de café e de eucalipto fertilizadas com adubos de liberação lenta tiveram maior produção de biomassa aérea e radicular em relação as adubadas com fertilizantes convencionais. Mendonça *et al.*, (2008) recomendam um fertilizante de liberação lenta para a formação de mudas de tamarindeiro. Por outro lado, não foram observadas diferenças de crescimento da laranjeira 'Valência' no primeiro ano de plantio, quando esta foi submetida a adubação nitrogenada via fertilizantes solúveis ou via fertilizantes de liberação lenta (GIRARDI; MOURAO FILHO,

2004), também com resultado semelhante alcançado para mudas de cana-de-açúcar (MPB), devido ao comportamento observado pela testemunha em relação a outras doses dos fertilizantes avaliadas.

**Tabela 3.** Valores médios para Peso Fresco Parte Aérea e Peso Fresco Raiz.

Tratamento	Peso Fresco Parte aérea (g)	Peso Fresco Raiz (g)
T1	116,67 c	28,25 d
T2	121,24 c	26,56 d
T3	148,15 b	40,58 c
T4	142,60 b	38,81 c
T5	168,13 a	50,78 b
T6	164,10 a	60,27 a
T7	139,44 b	60,84 a
T8	120,20 c	18,96 d
T9	151,08 b	25,65 d

Em relação ao peso fresco de raiz, os maiores rendimentos foram obtidos com os tratamentos envolvendo as doses intermediárias do fertilizante de liberação controlada denominado fonte II, seguidos da menor dose do mesmo fertilizante, evidenciando ser um excelente condicionador para formação de raízes em doses intermediárias. Os tratamentos envolvendo o fertilizante denominado fonte I nas maiores dosagens também promoveram uma boa média para peso fresco de raiz, entretanto, com valores intermediários, mas superiores aos demais tratamentos, ou seja, a testemunha e alta dose de Fonte II e baixas doses de Fonte I, indicando que ao se optar por utilizar fertilizante de liberação controlada como opção para fertilização de MPB, utilizar doses intermediárias, conforme descrição dos tratamentos.

### Conclusões

Os fertilizantes de liberação controlada não influenciaram o desenvolvimento inicial em altura de MPB de cana-de-açúcar.

O fertilizante de liberação denominado como fonte II proporcionou maiores valores de Peso Fresco de Raiz e Parte Aérea de MPB de cana-de-açúcar.

### Referências Bibliográficas

- BRITTON, W.; HOLCOMB, E. J.; BEATTIE, D. J. Selecting the optimum slow-release fertilizer of five cultivars of tissue-cultured Hosta. HortTechnology, Alexandria, v. 8, p. 203-206, 1998.
- CHITOLINA, J.C. Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos. Uréia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16p.
- LARANJA, Cordeirópolis, v.24, n.2, p.507-518, 2003
- DUTRA, P.V.; ABAD, M.; PONS, J.; JUAN, M.; ALNELA, V. & AGUSTI, M. Influência de substratos de cultivo, sistemas de fertilización y contenedores sobre la producción de plantanes de cítricos. Levante Agrícola, p.24-32, 1994.
- OERTLI, J.J. Controlled-release fertilizers. Fertilizer Research, The Hague, v.1, p.103-123, 1980.
- PILL, W. G.; BISCHOFF, D. J. Resin-coated, controlled-release fertilizer as a pre plant alternative to nitrogen enrichment of stem core in soilless media containing ground stem core of kenak (*Hibiscus cannabinus* L.). Journal Horticultural Science & Biotechnological, [S.l.], v. 73, p. 73-79, 1998.
- SGARBI, F.; SILVEIRA, R. V. A.; HIGASHI, E. N.; PAULA, T. A. e; MOREIRA, A.; RIBEIRO, F. A. Influência da aplicação de fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de um clone de *Eucalyptus urophylla*. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, 2., 1999, Piracicaba. Anais... Piracicaba: IPEF-ESALQ, 1999. p. 120-125.
- SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. Advances in Agronomy, v.71, p.1-49, 2001.
- SHAVIV, A. Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: agronomic efficiency and environmental significance. Proc. Int. Fertil. Soc., York, UK, n.41, p.1-35, 1999.
- ZEKRI, M. & KOO, R.C.J. Evaluation of controlled-release fertilizers for young citrus trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci., v.116, n.6, p.987-990. 1991b. BOCKMAN, O.C. & OLFS, H.W. Fertilizers, agronomy and N2O. Nutr. Cycl.Agroecosyst., v.52, p.165-170, 1998.

## INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA DO DOSEL, ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DISTÂNCIA ENTRE MUDAS PRÉ-BROTADAS NA PRODUTIVIDADE AGROTECNOLOGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Fábio Cesar da Silva<sup>1,6</sup>, Santiago Vianna Cuadra<sup>2</sup>, Gustavo Rodrigues<sup>1</sup>, Ariovaldo Luchiari Junior<sup>1</sup>, Pedro Luiz De Freitas<sup>3</sup>, Hamilton Cesar Pavan Rossetto<sup>4</sup>, Guilherme Hipolito<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador doutor da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas SP

<sup>2</sup> Meteorologista, Pesquisador doutor da Embrapa Clima Temperado, Pelotas RS

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador doutor da Embrapa Solos, Rio de Janeiro – SP

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo e sócio-proprietário da PHD Cana, em Lençóis Paulista – SP

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo e coordenador do Projeto Agmusa, BASF do Brasil, Santo Antonio de Posse - SP

<sup>6</sup> Professor Doutor, da Fatec Piracicaba e Coordenador regional da Inova Paula Souza, Campinas – SP

*fabio.silva@embrapa.br*

### Resumo

Foram avaliados os efeitos de diferentes arranjos de plantas (espaçamento e população de mudas pré brotadas) na produtividade de cana de açúcar, bem como em outros aspectos agrônômicos. Para tanto, um experimento foi planejado e executado pela EMBRAPA, em parceria com as empresas BASF e PHD Cana/Grupo Zilor, implantado em meados de setembro de 2014. Foram considerados o delineamento experimental de blocos ao acaso em parcelas subdivididas em esquema fatorial (variedade x preparo do solo/espaçamento), foi estudado a influência do fator variedade na interceptação de luz diferenciada em função da arquitetura de folha (prostradas/ CTC 9001 ou eretas/ CTC 9003), sendo cada parcela foi subdividida em 4 sub-parcelas cujos tratamentos são densidades na linha de plantio com mudas MPB: 40, 60 e 80 cm entre mudas. A recomendação da distância entre mudas foram os de 0,55 e 0,70 m, mas a principal informação é a capacidade de suporte do ambiente em receber uma população acima de 100 mil colmos na colheita, sendo a população ideal de MPB variável com as variedades de distintas arquiteturas de folhas que chegaram as populações: 11500 a 13000 plantas para folhas mais prostradas (CTC 9001) e de 15000 para folhas mais eretas (CTC 9003). Em relação ao preparo do solo, foram obtidos maiores valores de produtividade os tratamentos sob o sistema Penta em relação ao sistema convencional.

**Palavras-chave:** multiplicação vegetal, espaçamento entre plantas, mudas pré-brotadas, viveiro.

### Summary

It was evaluated the effects of different plant arrangements (row spacing and population of pre-sprouted seedlings) in sugarcane productivity as well as other agronomic aspects. Therefore, an experiment was planned and executed by EMBRAPA with the partnership of BASF, PHD Cana / Zilor Group. The experiment was implanted in mid-September 2014, using the experimental design of randomized blocks with split-plots in a factorial system (variety x soil tillage / row spacing). The influence of the factor variety in intercepting light expressed by leaf architecture (prostrated / CTC 9001 or upright / CTC 9003) was studied. Each plot was divided into 4 subplots whose treatments were the densities of pre-sprouted seedlings in planting seedling lines: 40, 60 and 80 cm. The recommendation of the distance between plants was of 0.70 m. The main information is the carrying capacity of the environment in receiving a population over 100,000 stems by harvest time. The ideal population of pre-sprouted seedlings varies for different leaf architecture, achieving populations of 11,500-13,000 plants for prostrated leaf variety (CTC 9001) and of 15,000 for more erect leaf variety (CTC 9003). Regarding the preparation of the soil, they were obtained greatest yields treatments under the dual system switched to the conventional system, with or without thorough preparation.

**Keywords:** Sugarcane, inter-row spacing, pre-sprouted seedlings, yield.

### Introdução

No Brasil, a expansão da bioenergia, em especial da agroindústria sucroalcooleira, tem levado a cultura de cana-de-açúcar para áreas não tradicionais voltada à pecuária que começa na região de Araçatuba – Estado de São Paulo, e se difunde para o triângulo mineiros estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, atraídas pelo relevo plano, apto à mecanização (CARVALHO *et al.*, 2015). Hoje, a Política Governamental não possui suporte de financiamento bancário oficial para a cultura. Sua expansão, no entanto, requer a formulação de planos de uso sustentável da terra tendo como base o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol (MANZATTO *et al.*, 2009), ferramenta fundamental para garantir a minimização do risco de sinistro no sistema de produção propostos e em uso e a maximização da produtividade agrotecnológica em harmonia com a biodiversidade.

Portanto, a sustentabilidade da produção da cana de açúcar requer uma análise de um agrossistema que é muito complexo, o que engloba, dentre outros fatores, a maximização da produção agrícola com a redução dos insumos e aporte de capital. Por exemplo, a escolha de variedades mais adequadas ao ambiente de produção e o manejo podem impactar a produtividade agrícola. Um exemplo seria a possível adoção de tecnologia de mudas pré-brotadas. Entretanto, por ser tratar de um modo de produção relativamente novo, faz-se necessário conhecer o desempenho do sistema em diferentes arranjos de espaçamento e considerando diferentes variedades, o que poderia afetar a radiação fotossinteticamente ativa (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> entre 400 e 700 nm) absorvida (SINGELS *et al.*, 2005; BARBIERI *et al.*, 2015) e, consequentemente, a produtividade.

Diversos trabalhos (CAMPBELL, 1986; NOBEL *et al.*, 1993; PARK *et al.*, 2005) já demonstraram que há uma influência da arquitetura do dossel no crescimento e na produtividade das plantas, isto é, através da relação da quantidade de radiação solar absorvida pelo dossel.

Dentro desse contexto, a Embrapa em parceria com as empresas BASF e PhD Cana/Grupo Zilor instalaram um experimento à campo cujo objetivo é avaliar os efeitos de diferentes arranjos de plantas (espaçamento), da população de MPB em duas variedades de distintas arquiteturas de folhas sobre a produtividade agrícola e a produção de gemas na cana-planta, bem como em outros aspectos agrônômicos.

### Material e Métodos

O experimento foi implantado em 03/09/2014 foi em delineamento de blocos em tratamento fatorial (3x2) ao acaso com parcelas subdivididas e 6 repetições. No experimento, foi estudada a influência do fator variedade na interceptação de luz diferenciada em função da arquitetura de folha informada pelo Centro de Tecnologia Canavieiro: folhas prostradas/ CTC 9001 ou folhas eretas/ CTC 9003, que associada a diferentes espaçamentos (a – linha simples 1,5m; b – linha dupla de 1,5/0,9m com preparo convencional e, c – linha dupla de 1,5/0,9m com preparo profundo canteirizado (equipamento PENTA/Mafes adaptado), como nota-se na (Tabela 1). Dentro de cada parcela teremos 4 sub-parcelas, de 5 ou 6 linhas de 10 metros cada, cujos tratamentos são densidades na linha de plantio com mudas MPB: 40, 60 e 80 cm entre mudas. O ensaio foi instalado na Fazenda da PHD cana, em NEOSSOLO típico nesse ensaio, que vem de sendo plantado há décadas e de rotação com amendoim e segundo a Köppen e Geiger o clima é classificado como Cfa. Lençóis Paulista tem uma temperatura média de 20.5 °C. A média anual de pluviosidade é de 1258mm. Na colheita realizada aos 370 DAP (15/09/2015) avaliou-se a qualidade fitotecnia (gemas, altura, diâmetro, entre outros) e os parâmetros agro-tecnológicos (produtividade por pesagem e Brix, pol, pureza, fibra) sem parcela sem linha de bordadura.

**Tabela 1.** Estabelecimento de tratamentos (variedade x espaçamento) com mudas pré brotadas em subparcelas para distância entre MPB para experimento.

Tratamento	Variedade (com inclinação de folha contrastantes)	Espaçamentos (m)
1	CTC 9001(folhas prostradas), preparo convencional	1,50m
2	CTC 9003 (folhas eretas) , preparo convencional	1,50m
3	CTC 9001, preparo convencional	1,5/0,9m
4	CTC 9003 , preparo convencional	1,5/0,9m
5	CTC 9001 com preparo profundo canteirizado	1,5/0,9m
6	CTC 9003 com preparo profundo canteirizado	1,5/0,9m
<b>Subparcela:</b> MPB: 40, 55, 70 e 85 cm entre mudas.		

**Figura 1.** Vista área experimental na fase de implantação.



### Resultados e Discussão

Para fins de interpretação estatística dos resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para médias das variáveis para subtratamentos e a análise de variância (Teste F) do ensaio, como podemos observar nas Tabelas 2, 3 e, 4. Os valores de coeficiente de variação foram de 21 a 23,5 % para parâmetros biométricos (perfilhamento, diâmetro e altura da planta) aos 370 DAP.

Verificou-se que a CTC 9003 apresentou melhores perfilhamentos por metro linear ou quadrado, assim como, na parcela como um todo, mensurado nas duas linhas centrais, em comparação a CTC 9001 (Tabela 2). As folhas de plantas que se mantém na posição mais vertical são denominadas erectófilas, erectas ou lanceoladas (NOBEL *et al.*, 1993), como a variedade CTC 9003 e essa característica de angulação da folha promoveria uma distribuição mais homogênea da radiação solar no dossel, durante a fase vegetativa do ciclo, o que permitiria uma maior incidência de luz no estrato inferior do dossel, na capacidade fotossintética e na senescência das folhas localizadas naquela posição (MARCHIORI *et al.*, 2014). A maximização da captura de energia luminosa pelo dossel da planta ocorre quando cada colmo possui um número ótimo de folhas e quando há uma quantidade ideal de colmos por área, o que pressupõem se populações de mudas adequadas (Figura 1), sendo essas características variáveis de acordo com o ambiente de produção, variedade e idade da planta (TEJERA *et al.*, 2007).

Há influência da população de MPB na produtividade da cana de açúcar, em duas variedades de distinta arquitetura, que chegaram as distintas populações adequadas de mudas para os ensaios instalados: 11500 a 13000 plantas para folhas mais prostradas (CTC 9001) e de 15000 para folhas mais eretas (CTC 9003). O espaçamento de plantio utilizado nas culturas deve ser definido em função da maximização do índice de área foliar (IAF) relacionado com a interceptação da radiação solar (TEJERA *et al.*, 2007), e plantas cultivadas que possuem diferenças varietais na arquitetura foliar sugere a adoção de espaçamento de plantio diferente do habitualmente utilizado (CAMPBELL *et al.*, 2001). O aumento do IAF em função do adensamento de plantio favorece a interceptação da radiação solar, mas pode reduzir a produtividade da cultura em resposta à queda da fotossíntese global da planta (CAMPBELL *et al.*, 2001). Por outro lado, aumento de produtividade pode ser obtido em função do adensamento de plantio em plantas com arquitetura de folhas mais eretas.

Os subtratamentos com as menores distâncias entre mudas (0,40 a 0,55 m) foram os de maiores valores em perfilhamento, em comparação a maiores distâncias entre as plantas (0,70 e 0,85 m) (Tabelas 2 e 3), valores observados na colheita. Para cana-de-açúcar diferenças de produtividade são encontradas em função do espaçamento de plantio utilizado (Figura 2), e a produtividade de algumas variedades é favorecida com espaçamento de plantio adensado, como se observa amplamente na literatura (BELL, GARSIDE, 2005). Ressalta-se que nos estudos conduzido na produção com ou sem queimada do canavial, se conhece sobre a influência direta da arquitetura foliar sobre a produtividade das plantas (MARCHIORI *et al.*, 2014), e possivelmente razões associadas as características varietais. Nos resultados de presente experimento, esses fatores se refletiram na produtividade de colmo e de gemas, onde se observou que a arquitetura foliar mais ereta das plantas (CTC 9003) resultou num maior número de colmos e gemas. A recomendação da distância entre mudas foi entre 0,55 e 0,70 m (Figura 2), isto é, se for um plantio por muda pré-brotada, ou MPB, em linha dupla alternada poderia ser 0,70m entre plantas, se fizer um arranjo em “losango”, o que demanda dez vezes menos matéria-prima por hectare.

**Tabela 2.** Análise de Variância: Teste de Tukey para médias de manejo fitotecnia (Trat A) para produção de gemas, diâmetro médio e açúcar de cana (pol, ATR e TAH), na colheita da cana-planta.

Causa Variação	Total Gemas/ha	Diâmetro	Pol %cana	ATR	TAH
S Simples (1,5)	1377661AB	0.185	15.09A	149.5A	10.87A
Duplo Alt (0,90X1,5)	1481712A	0.175	14.88AB	147.4 AB	9.50 B
Duplo Alt (0,90X1,5) PENTA	1313982B	0.170	14.52B	144.1B	8.75 B
DSM a 5%	232478	0.0487	0.495	3.522	1.029

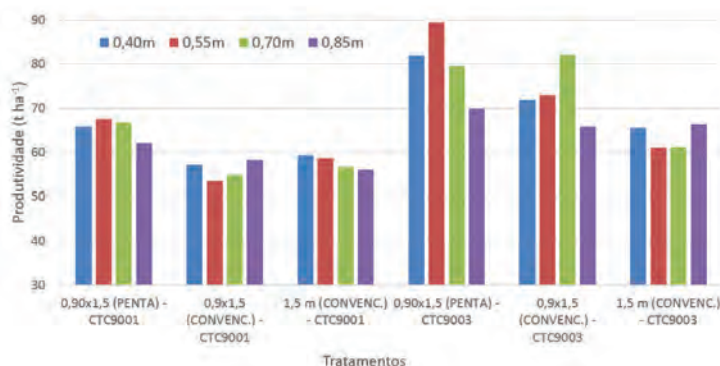
Houve uma restrição hídrica severa na condução experimental da cana-planta, o que condicionou ao fator variedade ter uma maior produtividade de colmos e produção de gemas viáveis para multiplicação de viveiro, comprovado pelo Teste de tukey.

O sistema de produção no duplo alternado (0,90m x 1,5m) mostrou-se melhor alternativa para ambas as variedades, em comparação aos sulcos simples (1,5m), mas a melhoria promovida pelo preparo profundo não refletiu em ganho de produtividade da cana planta, na comparação de médias no teste de tukey.

**Tabela 3.** Análise de Variância: Teste de Tukey para médias de manejo fitotecnia da diferença varietal (Trat B) para produção de gemas, diâmetro médio e açúcar de cana (pol, ATR e TAH), na colheita da cana-planta.

Causa Variação	Produtividade	Peso Total	Peso, sem Palha	Peso Líquido do colmo	No. colmo	No. Gemas/2T C	ATR	TAH
CTC 9001	59.7B	96.7	85.08	73.2B	72460 B	252.7 B	149.1 A	8.91B
CTC 9003	72.3A	129.3	101.0	90.7 A	90446 A	287.4 A	144.9 B	10.51 A
DSM a 5%	4.60	34.4	16.38	13.77	5907	29.5	3.12	0.695

**Figura 2.** Produtividade agrícola da cana de açúcar sob influência dos sistemas de preparo do solo (Penta e Convencional), variedades (CTC9001 e CTC9003), e distância entre as MPB na produtividade (0,40, 0,55, 0,70 e 0,85 m).



### Conclusões

A variedade CTC 9003 apresentou melhores perfilhamentos por metro linear, ou quadrado, independente dos tratamentos em comparação a CTC 9001. De modo geral, o tratamento duplo alternado (0,90 x 1,5) mostrou-se superior ao convencional (espaçamento simples a 1,5m) promovendo melhores perfilhamentos por metro linear ou quadrado, assim como, na parcela como um todo - mensurado nas duas linhas centrais. Os subtratamentos com as menores distâncias entre mudas (0,40 a 0,55 m) foram as de melhores perfilhamentos no estabelecimento da cultura, em comparação a maiores distâncias entre as plantas (0,70 e 0,85 m). Entretanto ao fim do ciclo os tratamentos que obtiveram os maiores números de perfilhos e produtividade foram os de 0,55 e 0,70 m entre mudas. Em relação ao preparo do solo, foram obtidos maiores valores de produtividade os tratamentos sob o sistema Penta.

### Referencias Bibliográficas:

- BARBIERI, V.; SILVA, F.C. da; CASTRO, A.; GODOY, A. Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar In: **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos** / Fábio Cesar da Silva, Bruno Jose Rodrigues Alves, Pedro Luiz de Freitas, editores técnicos. – Brasília, DF: **Embrapa**, 2015. 245-289p.
- BELL, M.J.; GARSIDE, A.L. Shoot and stalk dynamics and the yield of sugarcane crops in tropical and subtropical Queensland, Australia. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 231-248, 2005.
- CAMPBELL, C.S.; HEILMAN, J.L.; McINNES, K.J.; WILSON, L.T.; MEDLEY, J.C.; WU, G.; COBOS, D.R. Seasonal variation in radiation use efficiency of irrigated rice. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 110, p. 45-54, 2001.
- CARVALHO, L.C.C. Cenários e estratégias do setor sucroenergético: sustentabilidade socioeconômica. In: **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos** / Fábio Cesar da Silva, Bruno Jose Rodrigues Alves, Pedro Luiz de Freitas, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2015. 20-45p.
- MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2009. 55 p. (Documentos, Embrapa Solos, 110).
- MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, R.V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 155, p. 30–37, 2014.
- PARK, S.E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N.G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 305-320, 2005.
- NOBEL, P.S.; FORSETH, I.N.; LONG, S.P. Canopy structure and light interception. In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BÔLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (Eds.). **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall. 1993. p.79-90.
- SINGELS, A.; SMIT, M.A.; REDSHAW, K.A.; DONALDSON, R.A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 92, p. 249-260, 2005.
- TEJERA, N.A.; RÓDES, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivares. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 102, p. 64-72, 2007.



## SELETIVIDADE DE HERBICIDAS APLICADOS EM PÓS-EMERGÊNCIA SOBRE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

AZANIA, CARLOS ALBERTO MATHIAS (Instituto Agrônômico);  
BORGES, IVO SOARES (FAFRAM/Ituverava);  
AZANIA, ANDREA PADUA MATHIAS (consultora);  
CARLIN, SAMIRA DOMINGUES (Instituto Agrônômico),  
VITORINO, RENAN (FAFRAM/Ituverava);  
(XAVIER, MAURO ALEXANDRE (Instituto Agrônômico)

*mxavier@iac.sp.gov.br*

### Resumo

O objetivo da pesquisa foi estudar a seletividade dos herbicidas hexazinone, ametryn, metribuzin, mesotrione e 2,4-D aplicados em pós-emergência da cana-de-açúcar, cv IACSP95-5000, cultivada nos sistemas de plantio convencional (tolete) e mudas pré-brotadas (MPB). Foram instalados três experimentos em condições de vasos (45 L), preenchidos com terra de barranco de textura argilosa, alocados em ambiente aberto no CC-IAC em Ribeirão Preto, durante os meses de outubro/14 a maio/15. O primeiro experimento foi constituído por plantas de cana-de-açúcar com 40 dias após o plantio por toletes, o segundo por plantas com 40 dias após o transplante de MPBs e o terceiro por plantas com 7 dias após transplante de MPBs. Para cada experimento utilizou-se do delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos herbicidas (hexazinone (337,5 g ha<sup>-1</sup>), ametryn (3500 g ha<sup>-1</sup>), metribuzin (1920 g ha<sup>-1</sup>), mesotrione (144 g ha<sup>-1</sup>), 2,4-D (1000 g ha<sup>-1</sup>) e testemunha) em quatro repetições. Os herbicidas foram aplicados em pós-emergência com vazão de 220 L ha<sup>-1</sup>. Os herbicidas hexazinone, ametryn, metribuzin, mesotrione, 2,4-D foram seletivos à cana-de-açúcar, cv IACSP95-5000, no plantio tradicional/convencional e no plantio com MPB, independente da aplicação pós-emergente ter ocorrido com a planta mais jovem (7 dias do plantio) ou mais desenvolvida (40 dias do plantio).

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.*, MPB, controle químico

### Abstract

This research aimed to study the herbicides selectivity hexazinone, ametryn, metribuzin, mesotrione and 2,4-D applied in sugarcane post-emergence, cv IACSP95-5000, grown in traditional cropping systems (stalk) and one set eye (OSE). Were installed three experiments in containers plastic (45 L), filled with clayed soil and allocated in open environment in CC-IAC, Ribeirão Preto, during the months of October/14 to May/15. The first experiment was consisted of sugarcane plants with 40 days after planting for stalks, the second was consisted by plants with 40 days after transplantation OSE and third by plant with 7 days after transplantation OSE. For each experiment were used the completely randomized design with the herbicide treatments (hexazinone (337,5 g ha<sup>-1</sup>), ametryn (3500 g ha<sup>-1</sup>), metribuzin (1920 g ha<sup>-1</sup>), mesotrione (144 g ha<sup>-1</sup>), 2,4-D (1000 g ha<sup>-1</sup>) and control) in four replications. The herbicides was applied in sugarcane post-emergence with 220 L ha<sup>-1</sup> flow. The herbicides hexazinone, ametryn, metribuzin, mesotrione and 2,4-D were selective to sugarcane, cv IACSP95-5000, in traditional planting and transplantation with OSE, regardless of post-emergent application have occurred with the younger plant (7 days after planting) or more developed (40 days after planting).

**Keywords:** *Saccharum spp.*, OSE, chemical control

### Introdução

Na formação de viveiros de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) o plantio é feito vegetativamente com os colmos, que quando picados no interior dos sulcos recebem o nome de rebolo ou tolete. No plantio manual utiliza-se entre 11 a 15 t de colmos para plantar 1 hectare de cana-de-açúcar (densidade de 15 gemas/m/sulco), mas com a mecanização no processo de plantio as falhas se tornaram frequentes e o volume de mudas utilizadas supera 20 t ha<sup>-1</sup>.

Desta forma, o Instituto Agrônômico (IAC) desenvolveu o sistema de muda pré-brotada (MPB), cujas vantagens são a redução no volume de mudas, além de melhorar a homogeneidade do material e sua sanidade. Para LANDELL *et al.* (2013), é necessário menos de 1 t de colmos/mudas para formar MPB em quantidade suficiente para o plantio de 1 ha<sup>-1</sup> da cultura.

Assim como nas áreas comerciais, os viveiros de mudas de cana-de-açúcar também sofrem interferência das plantas daninhas. Tal fato ocorre por estas plantas possuem mecanismos mais desenvolvidos para o aproveitamento dos recursos necessários ao seu desenvolvimento, tais como os nutrientes, água e luz que quando somados podem ocasionar redução de 85% na produção (VICTÓRIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004). O principal método de controle das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar é o químico, através da aplicação de herbicidas, tanto na condição de pré como de pós-emergência.

O manejo químico, embora eficaz, precisa ser feito com tratamentos herbicidas seletivos à cultura. De acordo com FAGLIARI *et al.* (2001), a seletividade dos herbicidas deve ser avaliada nas cultivares de cana-de-açúcar para minimizar o impacto sobre a produtividade. Entretanto, a seletividade dos tratamentos é ainda mais exigida quando o cultivo da cana-de-açúcar é feito por MPB.

Estudos preliminares em casa de vegetação (BIZZI, 2013), demonstraram que o plantio superficial das MPBs permitiu que as raízes das mudas permanecessem na mesma camada de solo que os herbicidas. Com isso, a absorção de herbicidas pelas plantas foi maior, o que se pode observar devido à intoxicação das MPBs. Segundo JUNIOR & BACARIN (2011) as plantas jovens ainda possuem pouco desenvolvimento das estruturas anatômico-morfológico, que facilita a dinâmica dos herbicidas nas plantas.

Porém, BELUCI *et al.* (2014) explicam que plantas oriundas de MPB apresentaram porte similar às plantas oriundas de colmos (toletes) quando ambas atingiram 40 dias de desenvolvimento. Como, na prática, é sabido que tratamentos em pós-emergência sobre a cana-de-açúcar até os 60 dias é possível (“quebra-lombo”), supõe-se que MPBs com 40 dias após transplante também tolerem os herbicidas de forma similar.

Neste contexto, objetivou-se estudar a seletividade dos herbicidas hexazinone, ametryn, metribuzin, mesotrione e 2,4-D aplicados em pós-emergência da cana-de-açúcar, cv IACSP95-5000, cultivada nos sistemas de plantio convencional (tolete) e mudas pré-brotadas (MPB).

### Material e Métodos

Os experimentos, em número de três, foram realizados, no Centro de Cana, pertencente ao Instituto Agronômico, município de Ribeirão Preto, SP. A área experimental está localizada a 21°12'28.29" de latitude Sul, 47°52'23.30" de longitude Oeste e altitude 621 m. Possui clima característico de verões quentes e úmidos e invernos secos e frios, considerado como tropical de altitude (Cwa), segundo a classificação de Köppen.

Os experimentos foram conduzidos no período de outubro/14 a março/15 e em vasos de plástico alocados em ambiente aberto. As unidades experimentais foram constituídas pelos vasos de plásticos (45 L) preenchidos com terra de barranco de textura argilosa (58,7% de argila, 18,1% de silte e 23,2% de areia). A análise química indicou pH (5,8), matéria orgânica (12 g dm<sup>-3</sup>), Presina (4 mg dm<sup>-3</sup>), K (0,66 mmolc dm<sup>-3</sup>), Ca (13,82 mmolc dm<sup>-3</sup>), Mg (5,50 K (0,66 mmolc dm<sup>-3</sup>), CTC (34,98 K (0,66 mmolc dm<sup>-3</sup>) e V (57,12%). A recomendação comercial da adubação foi realizada de acordo com a análise de solo, sendo que como fonte de nutrientes utilizou-se o sulfato de amônio, supersimples e cloreto de potássio.

Antecipadamente ao plantio, os toletes de cana-de-açúcar (foram utilizados minirrebolos de 01 gema cada) da cultivar IACSP95-5000 foram imersos em solução com água sanitária para desinfecção (AZANIA, 2003). Também foram formadas MPB's da mesma cultivar, conforme proposto por LANDELL *et al.* (2013).

No mesmo dia, em parte dos vasos (24 vasos) foram plantados três toletes (minirrebolos com 10 cm e 01 gema/vaso) em profundidade de 20 cm. Em outra parte dos vasos (24 vasos) foram plantadas uma única planta de MPB. Decorridos 33 dias, a última parte de vasos (24 vasos) também recebeu o plantio de MPBs.

Transcorridos 7 dias, obteve-se plantas com 40 dias oriundas do plantio convencional (experimento 1), plantas com 40 dias oriundas do transplante de MPB (experimento 2) e plantas com 07 dias oriundas também de transplante das MPB's (experimento 3), para a aplicação dos herbicidas (Tabela 2). Nos vasos provenientes do plantio convencional (toletes) foram desbastadas as plantas deixando apenas uma planta. Durante todo o período experimental supriu-se a necessidade de água por irrigação, de modo a proporcionar umidade suficiente ao desenvolvimento das plantas.

A cultivar utilizada foi a IACSP95-5000, que é originária de policruzamento, tendo como mãe a SP84-2066 e pai SP80-185. O genótipo possui como características a produção agrícola muito alta, indicada para ambientes favoráveis (A1 – C2). Possui porte ereto, ótima brotação de soqueira, apresenta rápido perfilhamento e fechamento de entre linhas, raramente floresce e é resistente ao tombamento. Também possui resistência a doenças como carvão, escaldadura, ferrugem, mosaico e amarelhinho. Apresenta boa capacidade de acumular sacarose ao longo da safra, tornando-se boa opção para corte entre o inverno e a primavera, o que corresponde ao período de julho e novembro.

O delineamento experimental para cada experimento foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos herbicidas T1-hexazinone (337,5 g ha<sup>-1</sup>), T2-ametryn (3500 g ha<sup>-1</sup>), T3-metribuzin (1920 g ha<sup>-1</sup>), T4-mesotrione (144 g ha<sup>-1</sup>), T5-2,4-D (1000 g ha<sup>-1</sup>) e T6-testemunha. Os vasos foram distribuídos no local de acordo com o delineamento proposto. A testemunha adicional foi constituída pela ausência dos herbicidas.

Os herbicidas foram aplicados no dia 29/10/2014 na condição de pós-emergência da cultura. No momento da aplicação, os sistemas de plantio (SP) foram constituídos por plantas de cana-de-açúcar com 40 dias oriundas do plantio convencional (SP1), plantas com 40 dias oriundas de MPB (SP2) e plantas com 7 dias oriundas de MPB (SP3).

A aplicação teve início às 07h35min e término às 08h00min... Durante esse período, registrou-se 22 e 24°C de temperatura média do ar; 58 e 54% de umidade relativa, ventos de 2 a 4 km h<sup>-1</sup>, respectivamente no início e final da aplicação. A nebulosidade no período foi de 0%. Foi utilizado pulverizador costal pressurizado à CO<sub>2</sub>, com barra de 2 m e quatro bicos jato leque TT110/02, espaçados de 0,50 cm, trabalhando com pressão de 30 psi, proporcionando volume de calda de 220 L ha.

A tolerância das cultivares de cana-de-açúcar aos herbicidas foi avaliada em cada parcela, tratada com os herbicidas e sua respectiva testemunha. Foram avaliados os sintomas de intoxicação e altura das plantas aos 70 dias após aplicação (DAA). As 150 DAA avaliou-se o número de perfilhos/colmos e a porcentagem de brotação das gemas de cada vaso (% brotação).

Os sintomas de intoxicação foram avaliados, visualmente, na parte aérea das plantas utilizando-se da escala percentual de notas, onde 0 representava a ausência de sintomas e 100 a morte das plantas. A altura das plantas (cm) também foi avaliada, medindo a distância do solo até a aurícula da última folha completamente desenvolvida (folha +1). O estande (perfilhos/metro) foi contado em cada parcela. A % de brotação foi calculada através da contagem do número de gemas brotadas por vaso.

Os dados obtidos no campo foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de acordo com o delineamento proposto.

## Resultados e Discussão

Durante o período experimental, as condições de temperatura e umidade foram adequadas e favoreceram o desenvolvimento da MPB's. As chuvas foram irregulares, mas o suprimento com irrigação garantiu umidade no solo, o suficiente ao desenvolvimento das plantas e dinâmica dos herbicidas.

No experimento com as plantas de cana-de-açúcar originadas do plantio por toletes, o herbicida hexazinone (337,5 g ha<sup>-1</sup>) causou injúrias leves (30,35%) e redução da altura (19 cm) até os 70 DAA (Tabela 1). As injúrias foram caracterizadas por manchas amarelas e pontas secas nas folhas, conforme também descrito por RODRIGUES & ALMEIDA (2011). As cloroses e necroses observadas podem estar relacionadas ao mecanismo de ação do hexazinone, que prejudica o aparato fotossintético.

Segundo BREITENBACH *et al.* (2001), o herbicida intercepta o fluxo de elétrons entre o FSII e FSI, o que interfere na produção de ATP e NADPH<sub>2</sub> nos cloroplastos. Como consequência, a fixação de CO<sub>2</sub> e a produção de carboidratos são interrompidas no estroma, que dentre vários prejuízos aponta-se as cloroses. Segundo GIROTTO *et al.* (2012) o hexazinone foi o herbicida mais efetivo para inibir o fotossistema em plantas de *Panicum maximum*.

A menor altura das plantas pode ter origem no mecanismo de ação do hexazinone, pois a menor produção de carboidratos também pode interferir no ritmo de crescimento. Mas, a dinâmica do herbicida no solo pode ser outro fator que contribuiu com a menor altura observada. Sua solubilidade elevada de 33000 ppm (PPD, 2016), o posiciona em camadas no solo abaixo da superficial. Como os vasos do experimento foram irrigados, a água pode ter favorecido a lixiviação do herbicida, posicionando-o na zona das raízes e sua absorção ter sido favorecida. Salienta-se que o maior volume de raízes tenha permanecido próximos à 20 cm de profundidade, mesma profundidade do plantio dos toletes.

**Tabela 1.** Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência da cana-de-açúcar em sistemas de plantio por toletes e mudas pré-brotadas (MPB). CC-IAC, 2016.

porte planta	tratamentos	70 DAA		150 DAA	
		sintomas intoxicação (%)	altura (cm)	estande (plantas m)	% de brotação
S1 plantas com 40 dias, plantio por tolete	T1- hexazinone (337,5 g ha <sup>-1</sup> )	30,35 a	19 d	12,5 b	88 a
	T2- ametryn (3500 g ha <sup>-1</sup> )	09,75 b	26 c	21,3 a	79 a
	T3- metribuzin (1920 g ha <sup>-1</sup> )	0 c	34 b	17 ab	70 a
	T4- mesotrione (144 g ha <sup>-1</sup> )	0 c	48 a	14,5 b	94 a
	T5- 2,4-D (1005 g ha <sup>-1</sup> )	0 c	35,8 b	17 ab	90 a
	T6- testemunha	0 c	32,5 bc	16,3 ab	85 a
	F	7137**	44,73**	4,89**	1,70 ns
	CV (%)	4,33	8,98	16,21	15,44
S2 plantas com 40 dias, plantio por MPB	T1- hexazinone (337,5 g ha <sup>-1</sup> )	10,3 a	30,3 b	25,5 a	98 a
	T1- ametryn (3500 g ha <sup>-1</sup> )	9,75 a	28,3 b	22,8 ab	88 a
	T3- metribuzin (1920 g ha <sup>-1</sup> )	10,1 a	41,8 a	21,3 ab	94 a
	T4- mesotrione (144 g ha <sup>-1</sup> )	0 b	46,8 a	16,5 b	92 a
	T5- 2,4-D (1005 g ha <sup>-1</sup> )	0 b	38,3 ab	19,8 ab	96 a
	T6- testemunha	0 b	39 ab	24,3 ab	90 a
	F	1291**	8,11**	3,43*	1,63 ns
	CV	6,10	13,13	16,25	6,28
S3 plantas com 7 dias, plantio por MPB	T1- hexazinone (337,5 g ha <sup>-1</sup> )	9,75 a	22 ab	36,8 a	--
	T2- ametryn (3500 g ha <sup>-1</sup> )	11 a	21 b	35,0 a	--
	T3- metribuzin (1920 g ha <sup>-1</sup> )	9 a	24,5 ab	40,8 a	--
	T4- mesotrione (144 g ha <sup>-1</sup> )	0 b	25,8 ab	23,5 b	--
	T5- 2,4-D (1005 g ha <sup>-1</sup> )	0 b	26,8 a	20,5 b	--
	T6- testemunha	0 b	24,3 ab	25 b	--
	F	945**	3,47*	2081**	--
	CV	7,13	9,77	12,01	--

DAA (dias após aplicação), F (teste F), CV (coeficiente de variação), dms (diferença mínima significativa), \*\* significativo a 5%, \* significativo a 5%.

Transcorridos 80 dias, aos 150 DAA, as plantas se recuperaram das injúrias do hexazinone porque não mais se observou cloroses nas folhas (Tabela 4). Nessa fase, o número de colmos e a porcentagem de brotação das gemas também não foram prejudicados, quando se compara o hexazinone ao tratamento testemunha. Particularmente, a brotação das gemas de 88% indica que o herbicida não se acumulou nos tecidos meristemáticos (gemas), conseqüentemente o material permaneceu íntegro e não proporcionaria falha de brotação se utilizado para plantio.

O herbicida ametryn aos 70 DAA também causou leves injúrias (9,75%) caracterizadas pelo amarelo nas folhas, além da redução da altura (26 cm) nas plantas, quando comparados à testemunha (Tabela 1). Mas, aos 150 DAA não se observou prejuízo no número de colmos e na porcentagem de brotação das gemas, o que indica que o material estava viável ao plantio.

O ametryn também inibe o fluxo de elétrons no aparato fotossintético (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011), o que pôde ter contribuído com o amarelo nas folhas. Mas, sua dinâmica no solo pode ter regulado sua absorção pelas raízes. Diferentemente do hexazinone, o ametryn possui menor solubilidade de 200 ppm (PPD, 2016), o que permite seu posicionamento mais próximo à superfície do solo. Como o cultivo

teve origem em toletes plantados a 20 cm de profundidade, pode ter ocorrido certo distanciamento do herbicida e das raízes das plantas. As consequências foram às injúrias e a redução de altura menos acentuada que as observadas naquelas causadas por hexazinone.

Os herbicidas mesotrione, 2,4-D e metribuzin não proporcionaram injúrias visuais e nenhum prejuízo na altura, estande e brotação das gemas (Tabela 1). O mesotrione, 2,4-D e metribuzin (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011) são herbicidas para aplicação em pós-emergência, de baixo residual no solo e considerados seletivos à cultura.

Nos experimentos com o plantio de MPBs, seja com 40 e 7 dias de antecedência à aplicação, os herbicidas utilizados apresentaram seletividade à cultura de forma similar a observada nas plantas oriundas do plantio convencional (tolete). Os herbicidas não proporcionaram injúrias elevadas, redução na altura e estande, assim como, também não prejudicaram a brotação das gemas (Tabela 1). Salienta-se que no experimento com as MPBs plantadas com 7 dias de antecedência à aplicação não foi possível avaliar a porcentagem de brotação das gemas, não em detrimento de injúrias, mas sim devido à cana jovem ainda não ter colmos suficientes para o teste de brotação.

Mesmo o hexazinone não causou prejuízos nas plantas, certamente, porque sua maior solubilidade (Sw 33000 ppm) o posicionou abaixo da zona das raízes. O plantio das MPBs é superficial e o hexazinone fica posicionado na subsuperfície do solo, deixando a planta com menor contato com o herbicida, conseqüentemente menores injúrias.

Assim, infere-se que ao usar os herbicidas hexazinone, ametryn, metribuzin, mesotrione, 2,4-D as suas seletividades sobre MPBs foram observadas, independente da aplicação ter ocorrido com a planta mais jovem (7 dias do plantio) ou mais desenvolvida (40 dias do plantio). O uso dos herbicidas alvo dessa pesquisa, segundo MAPA (2016), é suficiente para o controle de plantas daninhas de folhas largas e estreitas em cana-de-açúcar, salvo daninhas de difícil controle. Canaviais infestados com *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, *Rottboelia cochinchinensis* ou ainda com elevada pressão populacional de *Ipomoea spp.*, *Merremia spp.* e *Mucuna aterrima* precisam ser submetidos a manejos mais intensivos, preferencialmente antes do plantio das MPBs.

### Conclusão

Os herbicidas hexazinone, ametryn, metribuzin, mesotrione, 2,4-D foram seletivos à cana-de-açúcar, cv IACSP95-5000, no plantio convencional e no plantio com MPB, independente da aplicação pós-emergente ter ocorrido com a planta mais jovem (7 dias do plantio) ou mais desenvolvida (40 dias do plantio).

### Referências Bibliográficas

- AZANIA, A. A. P. M. Influência de subprodutos da indústria alcooleira nos atributos químicos do solo e em plantas de cana-de-açúcar, guanxuma e capim-braquiária. 2003. 81f. **Tese (Mestrado em Produção Vegetal)** - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Jaboticabal.
- BELUCI, L.R. et al. Eletroforese em gel de acrilamida como ferramenta na avaliação da seletividade de herbicidas em cana-de-açúcar. Ribeirão Preto, **Relatório Científico PIBIC/CNPq**, 2014.
- BIZZI, G. M. Seletividade de herbicidas em pré plantio de cultivares de cana-de-açúcar no sistema de mudas pré-brotadas. Jaboticabal. **Trabalho de conclusão de curso apresentado a Fatec Nilo De Stefani**, Jaboticabal, 2013. 38f.
- BREITENBACH, J.; ZHU, C.; SANDMAN, G. Bleaching herbicide norflurazon inhibits phytoene desaturase by competition with the cofactors. Freising, **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 49, n. 11, p. 5270-5272, 2001.
- FAGLIARI J.R. et al. Métodos de avaliação da Seletividade de herbicidas para a cultura da cana-de-açúcar. Maringá, **Acta Scientiarum**, v.5, n.23, p.1229-1234, 2001.
- GIROTTI, M.; ARALDI, R.; VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; CARBONARI, C.A. **Efeito do hexazinone isolado e em mistura na eficiência fotossintética de Panicum maximum**. Viçosa, Planta Daninha, v. 30, n. 2, p. 341-347, 2012.
- JUNIOR, R. S. de O.; BACARIN, M. A. Absorção e Translocação de Herbicidas, In: JUNIOR, R. S. de O. et. al. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba. 2011. p. 215-242.
- LANDELL et al., Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gema individualizadas. **Instituto Agrônomo**. Campinas, p 16, 2013 (Documentos IAC, 109)
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Sistema Agrofit. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br> > Acesso em: 21 abril 2016. Brasília.
- PPPD. Pesticide Properties Database, University of Herdforthshire. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/index2.htm>. Acesso em: 21 abril. 2016.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Grafmarke, p 696, 2011.
- VICTÓRIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. Piracicaba, **Visão Agrícola**, n. 1, p. 32-37, jan./jun. 2004.

# SORGO

## AVALIAÇÃO DA ENZIMA $\alpha$ -AMILASE NO TRATAMENTO DO CALDO DE SORGO SACARINO

Cristhyane Millena de Freita<sup>1</sup>; Osania Ferreira Emerenciano<sup>2</sup>; Lidyane Aline De Freita<sup>1</sup>; Vitor Teixeira<sup>1</sup>; Franciele Quintino Mendes<sup>1</sup>; Aline Ferreira Silva<sup>1</sup>; Marcia Justino Rossini Mutton<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool, Departamento de Tecnologia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal-SP.

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Minas Gerais Campus de Frutal (UEMG).

*cristhyanemille@hotmail.com*

### Resumo

O sorgo sacarino é biomassa complementar da cana-de-açúcar, graças a compatibilidade de processamento. De modo semelhante requer o tratamento do caldo, podendo ser feito com adição de enzimas. Entre elas destaca-se as  $\alpha$ -amilases que são enzimas com grande aplicação nas indústrias têxtil, farmacêuticas, alimentícias e sucroalcooleira, representando aproximadamente 25% do mercado mundial. Considerando-se a possibilidade da utilização desta matéria-prima no sistema de produção do etanol, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os reflexos da utilização de enzima  $\alpha$ -amilase no tratamento de caldo de sorgo sacarino, colhido em 3 épocas, com e sem folhas. O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool, da FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP. O genótipo de sorgo sacarino utilizada foi a CVSW 800007, colhida da Fazenda Experimental da mesma faculdade. Em três diferentes épocas de amostragem (100, 110 e 135 dias após a semeadura). Os colmos foram processados com e sem folhas e panículas. Os colmos foram submetidos a moagem, e o caldo extraído foi avaliado quanto ao Brix, pH, Acidez Total, Amido e Compostos Fenólicos Totais. Após caracterizados, os caldos foram clarificados por caleagem simples, sendo empregado no decantador enzima  $\alpha$ -amilase. A seguir, o sobrenadante (caldo clarificado) foi recuperado por filtração, e caracterizado quanto ao teor de Brix, pH, Acidez Total, Amido e Compostos Fenólicos Totais. Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas segundo o teste de Tukey (5%). Observou-se que a adição da enzima  $\alpha$ -amilase promove grande remoção de amido e não altera as características químico tecnológicas do caldo de sorgo sacarino para produção de etanol.

**Palavras-chave:** Clarificação do caldo. Características químico-tecnológicas. Preparo do mosto.

### Summary

The sweet sorghum biomass is currently the complement of cane sugar, due to compatibility, needs the treatment phase of the broth, which can be done with the addition of enzymes. Among the enzymes is the  $\alpha$ -amylase which are enzymes with wide application in textile, pharmaceutical, food and sugarcane, representing approximately 25 % of the world market this way, the objective of this study was to evaluate the effects of the use of enzyme -amylase in the treatment of broth sorghum harvested 3 times with and without leaves. The experiment was conducted at the Laboratory of Technology of Sugar and Alcohol, FCAV / UNESP, Jaboticabal. A variety of sweet sorghum used was CVSW 800007, collected from the experimental farm of the same college. The crop was harvested at three different sampling times (100, 110 and 135 days after sowing), the stalks being processed with the presence or absence of biomass (leaves + panicle). The stalks were subjected to the grinding process, and the extracted broth was evaluated for Brix, pH, Total Acidity, Total Phenolic Compounds and starch. Characterized after the broths were clarified by simple caleagem process being employed in a decanter -amylase enzyme for one hour, according to manufacturer's recommendations. After the stipulated period, the supernatant (clarified broth) was recovered by filtration, and characterized the contents of Brix, pH, Total Acidity, Total Phenolic Compounds and starch. The results were subjected to analysis of variance by F test, and means were compared according to Tukey test (5%). Where it was observed that the addition of  $\alpha$ -amylase ezima promotes extensive removal of starch technology does not alter the chemical characteristics of the broth.

**Keywords:** broth clarification. chemical characteristics - Technological . Preparation of the wort.

### Introdução

A busca por fontes renováveis é crescente, objetivando a diminuição dos gases de efeito estufa e a sustentabilidade do planeta. A utilização de biomassas, menos poluentes para produção de combustíveis, tem se destacado entre as alternativas promissoras.

Dentre estas biomassas o Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* (L.Moench)), caracteriza-se por apresentar porte elevado e colmos ricos em açúcares, assemelhando-se com a cultura da cana-de-açúcar. Tais características conferem a esta cultura potencial para produção de etanol, possibilitando complementar e suprir a demanda do mercado nacional (RATNAVATHI, 2010).

Cabe destacar ainda o fato de apresentar ciclo curto (90 - 120 dias), baixo custo de implantação, propagação por sementes (que favorece as áreas de expansão), colheita mecanizada. Resultados disponíveis na literatura sinalizam ainda para a viabilidade da sua utilização na entressafra canavieira, permitindo que as usinas sucroenergéticas antecipem e ampliem o período de moagem (FREITA, 2013).

Contudo, de modo semelhante ao processamento industrial da cana-de-açúcar para produção de etanol, para o caldo de sorgo também é necessário realizar uma eficiente clarificação para eliminar parte das impurezas solúveis e insolúveis presentes no caldo. (COSTA et al., 2012).

Dentre tais impurezas, encontra-se o amido que é uma das biomoléculas que mais causam danos no processamento industrial destinado à produção de etanol, por desencadear uma série de problemas, resultando em ineficiências e perdas da produção (GODOY, 2004).

Esta problemática do amido vem sendo minimizada com o emprego de enzimas. Estas representam um grupo específico de "proteínas" que são sintetizadas por células para atuarem como catalisadores de inúmeras reações químicas responsáveis pela manutenção do metabolismo celular. (MACEDO, 2005). As enzimas que degradam o amido são abundantemente encontradas na natureza em vegetais, animais e micro-organismos.

A sacarificação das matérias amiláceas é necessária para que o amido seja transformado em açúcares fermentescíveis, já que os agentes da fermentação alcoólica não possuem enzimas amilolíticas (LIMA, *et al* 2001).

Uma das mais utilizadas para sacarificação e solubilização do amido é a enzima  $\alpha$ -amilase que também remove outros polissacarídeos do caldo sem alterar o produto final, obtido o etanol.

As amilases constituem um dos mais importantes grupos de enzimas industriais. São responsáveis pela hidrólise da molécula de amido em polímeros de unidades de glicose, sendo amplamente distribuídas na natureza. São aplicadas na produção de maltodextrina, amidos modificados, e xaropes de glicose e frutose. São também recomendadas para diversos processos industriais, tais como nas indústrias têxtil, na fabricação de detergentes para lavadeira e louças, indústria farmacêutica e alimentícias e na fabricação de etanol e açúcar. (SOUZA & MAGALHÃES, 2010).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o processamento de colmos de sorgo sacarino com e sem folhas, colhidas em 3 épocas, sobre as características do caldo extraído, e tratamento do caldo destinado ao preparo do mosto para produção de etanol utilizando-se enzima  $\alpha$ -amilase.

### Material e Métodos

O sorgo foi cultivado na área experimental do departamento de Produção Vegetal da FCAV- Jaboticabal, na safra 2012/2013. Utilizou-se o genótipo CVSW 8000007.

O caldo foi extraído em moenda de laboratório e submetido a um processo de clarificação para remoção de impurezas. Este processo consistiu na adição de ácido fosfórico (300 ml/L), correção do pH para valores próximos a  $6,0 \pm 0,1$  com leite de cal e aquecimento até ebulição. O caldo aquecido foi transferido para sistema de decantação constituído por provetas de 1L aquecidas por lâmpadas, onde recebeu a adição de polímero na concentração de 2mg/L, e enzima  $\alpha$ -amilase Termamyl 2x - Novozymes na concentração de 1mg/L.

Após 1 hora de retenção, o sobrenadante (caldo clarificado) foi separado do precipitado (lodo), através de filtração em papel de filtro qualitativo. A seguir o caldo clarificado foi caracterizado quanto: Teor de sólidos solúveis (Brix) (SCHENEIDER, 1979); pH, determinação direta em pHmetro digital; Acidez Total (COPERSUCAR, 2001); Amido (CHAVAN *et al.*, 1991) e Compostos Fenólicos Totais (FOLIN e CIOCALTEU, 1927).

Para os caldos extraídos, o delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso num esquema em parcelas subdivididas, com 3 repetições (blocos). Os tratamentos principais corresponderam ao processamento do sorgo sacarino com e sem a presença de folhas e panículas; e os tratamentos secundários às 3 épocas de colheita (105, 110 e 135 d.a.s.).

Considerando-se os caldos clarificados, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso num esquema em parcelas subdivididas, com três repetições (3 blocos). Os tratamentos principais corresponderam ao processamento do sorgo sacarino com e sem a presença de folhas e panículas; os tratamentos secundários às 3 épocas de colheita (105, 110 e 135 d.a.s.); e o tratamento terciário a utilização ou não de enzima  $\alpha$ -amilase no tratamento do caldo.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA& AZEVEDO, 2009).

### Resultados e Discussões

Os resultados obtidos para as características químico-tecnológicas do caldo do sorgo sacarino estão apresentados na (Tabela 1). Verificou-se que o genótipo CVSW 800007 apresentou acréscimo da concentração de sólidos solúveis (Brix) com o decorrer das épocas de amostragem, sendo que aos 135 d.a.s., houve acúmulo de 28% de sólidos solúveis a mais que aos 105 d.a.s. Pacheco (2012), ressalta que o sorgo sacarino, em seu estágio de maturação, apresenta valores de Brix em torno de 15-19°Brix. Neste sentido, observou-se que o sorgo estava apto a colheita entre os 110 e 135 d.a.s.

É interessante ressaltar que no caso da cana-de-açúcar o Brix nos valores de 14,25 a 14,5 corresponderá a um ART de 12,5% o qual resulta em maior eficiência nas indústrias. (SCHAFFERT, 2012).

Avaliando-se os teores de sólidos solúveis obtidos para caldos extraídos de colmos integrais e limpos de sorgo sacarino observou-se que os diferentes manejos não refletiram sobre este parâmetro. Tais resultados são semelhantes aos determinados por MEIRELES (2013) que verificou que a colheita de colmos com a presença ou ausência de folhas e panículas não influenciou sobre os resultados de Brix.

Tais resultados estão relacionados com a fisiologia do sorgo sacarino, que diferentemente da cana-de-açúcar, tem a distribuição dos açúcares por toda planta, não armazenando apenas nos colmos.

Analisando-se o pH do caldo extraído, obteve-se valores entre 4,8 e 5,0 estes resultados são ligeiramente superiores aos obtido por Missima (2013), que avaliando o pH de caldos extraídos de diferentes genótipos de sorgo sacarino, obteve valores entre 4,7 e 4,8. Considerando-se o processamento com a presença ou ausência de folhas e panículas, verificou-se que o acréscimo de biomassa reduziu o pH do caldo. MASSON *et al* (2012), ao processar o colmo integral de sorgo sacarino também obteve acréscimo em seu pH, chegando a valores similares aos do presente trabalho. Esse aumento no pH pode estar relacionado com alguns componentes da folha do sorgo sacarino.

Comparando-se o efeito das épocas sobre o teor de acidez total do caldo extraído de sorgo sacarino, observou-se aumento da quantidade de ácidos conforme se atrasou a colheita. Estes resultados são similares aos obtidos por FREITA (2013), que determinou acréscimo de acidez total dos 100 para os 120 d.a.s. Considerando-se o processamento de colmos limpos e integrais, verificou-se que a adição de panículas na

matéria-prima não refletiu sobre este parâmetro. FREITA (2013), avaliando diferentes sistemas de colheita (colmo limpo e colmo integral), também obteve resultados similares.

**Tabela 1.** Resultados de Brix, pH, Acidez Total, Amido e Compostos Fenólicos Totais do caldo extraído, genótipo CVSW 800007. Jaboticabal, SP. Safra 2012/2013.

Caldo Extraído	Brix	pH	Acidez Total (g/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Amido (mg/L)	CFT (mg/L)
Épocas (E)	14,59*	8,61*	9,51*	99,12**	4,59ns
105	13,5B	5,0A	1,26B	1460C	265A
110	16,4AB	4,8B	1,44AB	2267B	898A
135	18,8A	4,9AB	1,68A	2704A	871A
DMS	3,49	0,16	0,34	316,79	834,31
CV	10,49	1,61	11,47	7,24	60,24
Colheita (C)	0,62ns	193,79**	0,20ns	78,24**	4,15ns
Com Folha	16,5A	4,8B	1,48A	1253B	874A
Sem Folha	16,1A	5,0A	1,44A	3034A	482A
DMS	1,34	0,02	0,21	492,41	470
CV	7,15	0,49	12,66	19,91	60,09
Inter. ExC	0,36ns	6,92*	0,50ns	7,73*	2,37ns

Avaliando-se o efeito das épocas sobre a quantidade de CFT no caldo extraído de sorgo sacarino, observou-se ligeiro acréscimo do teor destas biomoléculas a medida que a planta permaneceu mais tempo no campo. Estes valores de compostos fenólicos são próximos aos encontrados por MEIRELES (2012) onde para o tratamento em que se colheu o colmo integral este obteve valores de 629mg/kg. Neste sentido, também pode-se constatar aumento de CFT no caldo extraído, quando se realizou o processamento da matéria-prima adicionando-se folhas e panículas, este comportamento pode ser decorrente da presença de compostos nas folhas derivados de ácido hidrobenzóico, ácido hidrocínamico e os flavonóides que englobam as antocianinas e os taninos (QUEIROZ, 2011).

Cabe ressaltar que FREITA (2013), analisando o mesmo genótipo CVSW8000007, também obteve valores próximos, caracterizando este comportamento como o reflexo da reação fisiológica da cultura em resposta às condições ambientais predominantes ao período em que se encontrava a planta, tais como baixa precipitação, baixos teores de armazenamento de água no solo, elevado déficit hídrico, aliado às temperaturas médias elevadas. Sob esta condição a cultura de sorgo sacarino em plena atividade metabólica passou a destinar parte dos fotossintatos para a produção de biomoléculas, quanto a avaliação do amido no caldo percebe-se que aos 135 d.a.s. este apresentou o maior índice, de 2704 mg/kg, este fato pode ser explicado de acordo com os níveis apresentados pela planta, que dependem do estágio de desenvolvimento e do genótipo estudado, sendo que quanto maior o nível de maturação maior a quantidade de amido armazenado no grão. (GUIYING *et al.*, 2000).

Cabe ressaltar que o amido presente na planta, além de ser fermentescível para a leveduras, pode aumentar a viscosidade dificultando a clarificação do caldo, além de promover entupimentos de bombas e tubulações. Os teores de amido quantificados por MASSON *et al.* (2012), e FREITA (2013) variam de 1424 a 3090 ppm, sendo, valores estes semelhantes aos obtidos neste ensaio que oscilaram de 1253 mg/kg (colmos limpos) e a 3034 mg/kg (colmos integrais).

Analisando-se o teor de amido no caldo extraído de colmos integrais e limpos, observou-se que a adição de folhas e panículas promoveu redução desta biomolécula. Provavelmente, a folha por conter elevada umidade, resultou na diluição do amido do caldo. Neste sentido, o sistema de extração utilizado (moenda de laboratório) pode não ter sido eficiente para extrair tal molécula presente nos grãos da panícula, sendo que a utilização de prensa hidráulica pode apresentar resultados mais próximos a realidade da unidade industrial e defesa, tais como os compostos fenólicos.

Os resultados obtidos para o caldo clarificado de sorgo sacarino estão apresentados na Tabela 03. A clarificação do caldo consiste em um tratamento que objetiva remover impurezas e partículas em suspensão que possam prejudicar a fermentação. (ANDRZEJEWSKI, *et al.* 2013).

Avaliando-se o teor de sólidos solúveis presentes no caldo clarificado, observou-se que, assim como obtido no caldo extraído, houve aumento de Brix com o passar das épocas. Entretanto, deve-se ressaltar que não houve remoções de sólidos solúveis pelo processo de caleagem simples, uma vez que este processo não promove remoções de açúcares (ANDRZEJEWSKI *et al.*, 2013)

Analisando-se o efeito do manejo e da utilização de enzima no tratamento do caldo, verificou-se que ambos processos não refletiram sobre o Brix do caldo.

Concluindo o processo de clarificação, observou-se que o caldo clarificado de sorgo sacarino apresentou valores similares de pH para todos os tratamentos estudados, sendo estes da ordem de 5,0 a 5,5. Estes resultados foram similares aos determinados por Masson (2012), que relatou pH de 5,5 para o caldo clarificado deste mesmo genótipo. Deve-se ressaltar que estes valores são os indicados para o caldo clarificado destinado ao processo fermentativo (STEINDL, 2010).



**Tabela 2.** Resultados de Brix, pH, Acidez Total, Amido e Compostos Fenólicos Totais do caldo de sorgo Sacarino clarificado, para as épocas de colheita 105,110 e 135 d.a.s, genótipo CVSW 800007. Jaboticabal, SP. Safra 2012/2013.

Caldo Clarificado	Brix	pH	Acidez Total (g/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Amido (mg/L)	CFT (mg/L)
Épocas (E)	61,70**	1,71ns	0,41ns	61,54**	161,98**
105	13,9C	5,0A	1,85A	279B	153C
110	17,1B	5,3A	1,73A	1610A	248B
135	19,5A	5,5A	1,99A	1571A	326A
DMS	1,76	0,95	0,98	482,68	33,96
CV	7,26	12,39	36,68	28,98	9,69
Colheita (C)	1,72ns	0,16ns	1,76ns	2,60ns	314,81**
Com Folha	16,6A	5,3A	1,95A	1123A	296A
Sem Folha	17,1A	5,3A	1,76A	1184A	189B
DMS	0,97	0,14	0,34	93,66	14,78
CV	7,06	3,35	22,46	9,95	7,47
Amilase (A)	0,16ns	1,53ns	1,91ns	766,72**	21,17**
Com Amilase	16,9A	5,3A	1,81A	179B	268A
Sem Amilase	16,8A	5,3A	1,90A	2128A	217B
DMS	0,64	0,08	0,13	153,27	24,32
CV	5,30	2,30	10,04	18,30	13,81
Inter. ExC	3,22ns	1,76ns	2,35ns	18,70**	18,03**
Inter. ExA	0,21ns	1,72ns	0,51ns	135,04**	23,91**
Inter. CxA	0,50ns	0,28ns	1,16ns	0,34ns	4,91*
Inter. ExCxA	0,79ns	3,08ns	0,73ns	2,17ns	0,32ns
Blocos	11,67*	0,95ns	0,86ns	0,97ns	1,63ns

Neste contexto, deve-se destacar também que todos os tratamentos estudados não influenciaram o teor de ácidos totais presentes no caldo clarificado. Entretanto, o tratamento de caldo por caleagem simples não promoveu remoções de ácidos presentes no caldo. Tais resultados contradizem as informações apresentadas por DELGADO (1975), que afirmou que este processo elimina quantidades significativas de ácidos.

Comparando-se o teor de amido entre as diferentes épocas de amostragem, observou-se que, assim como para o caldo extraído, houve aumento do teor desta biomolécula com o passar do tempo. Entretanto, apenas o tratamento pouco removeu amido do caldo. Contudo, quando se adicionou a enzima  $\alpha$ -amilase, observou-se reduções de até 92% da concentração desta molécula. Deve-se destacar que ao hidrolisar o amido, a enzima liberou ao meio, moléculas de glicose, as quais podem ser utilizadas pela levedura em fermentação (STEINDL, 2010).

Estudando processos de clarificação, ANDRZEJEWSKI *et al.* (2013) evidenciaram a necessidade de aperfeiçoamento e adequação da tecnologia quando se usa o caldo de sorgo, onde constataram que com um aumento de temperatura e pH foi possível obter grande remoção de amido, com adição de 10 ppm de auxiliar de floculação. Entretanto, a utilização de amilase promoveu resultados melhores que os obtidos por estes autores. Cabe destacar ainda quantidades similares de amido para caldos clarificados de colmos processados integrais ou limpos.

### Conclusão

A adição da enzima  $\alpha$ -amilase possibilita obter um caldo clarificado de qualidade.

A colheita de colmos sem folha resultou em caldo com menor teor de compostos fenólicos.

Com a utilização da enzima  $\alpha$ -amilase, obteve-se reduções de até 92% da concentração de amido no caldo clarificado.

### Referências Bibliográficas

- ANDRZEJEWSKI, B; EGGLESTON, G; LINGLE, S; e POWELL R. Development of a sweet sorghum juice clarification method in the manufacture industrial feedstocks for value-added fermentation products. **Industrial Crops and products**. Amsterdam, v. 44, p. 77 -87, 2013.
- CHAVAN, S. M.; KUMAR, A.; JADHAV, S. J. Rapid quantitative analysis of starch in sugarcane juice. **International Sugar Journal**, Glamorgan, v. 93, n. 107, p. 56-59, 1991.
- COPERSUCAR. Manual de Controle Químico da Fabricação de Açúcar. Piracicaba. 2001. CD-ROM
- COSTA, G. H. G; FREITA, C.M; FREITA, L. A; MASSON, I. S; MUTTON, M, R, J; Efeito de  $\alpha$ -amilase na clarificação do caldo de sorgo sacarino em diferentes faixas de pH. **Revista Ciência e Tecnologia**, 2012.
- DELGADO, A. A. Tecnologia do Açúcar e das fermentações Industriais. v. 1, p.91. In: **Tecnologia dos Produtos Agropecuários**, Piracicaba: ESALQ. 1975.
- FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The journal of biological chemistry**, Bethesda, v. 73, n. 2, p. 627-50, 1927.
- FREITA, L. A. **Avaliação tecnológica e microbiológica da fermentação etanólica de caldo de sorgo sacarino**. 2013. 70f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2013. **Revista Ciência e Tecnologia**, 2012.
- GUIYING, L., WEIBIN, G. HICKS, A. CHAPMAN, K. R. Training manual for sweet shorgum. **Regional Office for Asia and the Pacific; Chinese Academic Sciences**, Beijing, 134p, 2000.
- GODOY, A. Soluções para redução do amido na açúcar, In: REUNIÃO ANUAL DA FERMENTEC, 25, 2004, São Pedro. Resumos. Piracicaba: **Fermentec**, p. 8-9, 2004.
- LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V.; SCHMIDELL, W. Produção de Etanol. In: **Biotecnologia Industrial**. São Paulo, Edgard

Blücher Ltda, vol.3, 2001.

MACEDO, G. A.; PASTORE, G.M; SATO, H H; YON, G; PARK, K. Bioquímica experimental de alimentos. 1º ed. Editora Varela, 2005.

MASSON, I. S.; FREITA, L. A.; COSTA, G. H. G.; FERREIRA, O. E.; MUTTON, M. A. Caracterização tecnológica de caldo extraído de dois genótipos de sorgo. **VI Workshop Agroenergia**. Ribeirão Preto – SP, 2012.

MEIRELES, M. B; Parâmetros químico- tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino e reflexos na produção de etanol . Trabalho de Graduação Jaboticabal : **Fatec**,. 48p. 2013.

MISSIMA,J.O,D; Reflexos de diferentes temperaturas e phs sobre o tratamento do caldo de sorgo sacarino . Trabalho de Graduação Jaboticabal : **Fatec**,. 41p. 2013.

PACHECO, T. F. **Tecnologia Industrial. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRSIG – Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas, MG, p. 92-106, Agosto de 2012.

QUEIROZ, V. A. V.; MORAES, E. A.; SCHAFFERT, R. E.; MOREIRA, A. V.; RIBEIRO, S. M. R.;

MARTINO, H. S. D. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), para alimentação humana. **Revista Brasileira de milho e sorgo**, v. 10, n 3, p. 183. 2011.

RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; VIJAY KUMAR, B. S.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 7, p. 947-952, 2010.

SCHAFFERT,R.E. Características desejáveis para uma boa cultivar de sorgo sacarino. **Seminário Temático Agroindustrial de Produção de Sorgo Sacarino para Bioetanol**. Ribeirão Preto – SP, 2012.

SOUZA, P. M.; MAGALHÃES, P. O. Application of microbial amylase in industry – a review. **Brazilian journal of microbiology**, São Paulo, v.41, n.4, p. 850-861, 2010.

STEINDL, R. J. Clarification of cane juice for fermentation. In: **International Society of sugar cane technologists congress**, 27, 2010.

SCHNEIDER, F. **Sugar analysis methods**. Peterborough: ICUMSA, 1979, p.256

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, 2009. Reno-NV-USA: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

## AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE AGROTECNOLOGICA DO SORGO SACARINO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA E SISTEMA DE PLANTIO NA REFORMA DO CANAVIAL

Luis Fernando Sanglade Marchiori <sup>1</sup>; Lino Stenico <sup>2</sup>; Fabio Cesar da Silva<sup>1,3</sup>;  
Karine Pamela Rodrigues de Campos<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Professor doutor da Fatec Piracicaba e Diretor da Fazenda Areão –USP, Piracicaba –SP;

<sup>2</sup> Acadêmico em Tecnologia de biocombustíveis, na Fatec Piracicaba, em Piracicaba –SP;

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e professor da Fatec Piracicaba / Agência Inova Paula Souza, em Campinas -SP.

sanglade.lf@usp.br

### Resumo

A utilização do sorgo sacarino na reforma do canavial apresenta algumas vantagens como ciclo curto, fácil mecanização, alto teor de açúcar, produção de massa verde, além de o processamento ser idêntico ao da cana-de-açúcar. O objetivo foi determinar a melhor época de semeadura, como o melhor tratamento quanto à adubação, buscando uma alta produtividade de massa verde e bom índice de sacarose. Os experimentos foram realizados no campo em quatro épocas diferentes (Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro), com três tratamentos e quatro repetições: T1-Adubação convencional (P - superfosfato simples - 250 kg.ha<sup>-1</sup>), T2-Torta de Filtro (20 t.ha<sup>-1</sup>)+Vinhaça (60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>), T3-Torta de filtro (20 t.ha<sup>-1</sup>). Após vinte dias foi realizada adubação de cobertura em todos os tratamentos com a formulação 10-20-20 (200 kg.ha<sup>-1</sup>) e ureia (200 kg.ha<sup>-1</sup>). De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que os tratamentos apresentaram diferenças entre si dentro de cada época, bem como as épocas apresentaram valores diferentes para as variáveis estudadas de colmos, Pol, massa verde e produção de fibra. Observou-se também, diferenças na altura das plantas na ocasião da colheita em relação aos tratamentos e às épocas.

**Palavras-chave:** sorgo sacarino, resíduos orgânicos, entressafra.

### Summary

The use of sweet sorghum in the reform of the sugarcane plantation has some advantages as short cycle, easy mechanization, high sugar content, green mass production, and the processing is identical to the sugarcane. The objective was to determine the best time of sowing, looking for the best treatment for the fertilization, seeking a high productivity of green mass and good sucrose content. The experiments were performed in the field at four different times (September, October, November, December), with three treatments and four repetitions: T1-Fertilization (superphosphate-250 kg.ha<sup>-1</sup>), T2 – filter pie (20 t.ha<sup>-1</sup>) + Vinasse (60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>), T3 - filter pie (20 t.ha<sup>-1</sup>). After twenty days was held topdressing in all treatments with the formulation 10-20-20 (200 kg.ha<sup>-1</sup>) and urea (200 kg.ha<sup>-1</sup>). According to the results, it is concluded that the treatments differ from each other within each season as well as the times showed different values for the studied of stem - Pol, green mass and fiber production. It was also observed differences in plant height at the time of harvest in relation to treatment and seasons.

**Keywords:** sorghum, organic waste, off-season.

### Introdução

A crescente preocupação com a qualidade ambiental de ecossistemas, a preocupação com impactos antrópicos e a busca por melhores resultados ambientais têm se refletido no aumento de estudos, modelos e sistemas de gestão de recursos naturais. Algumas destas prioridades estão a ser integrada em estratégias temáticas que adotam uma perspectiva abrangente em relação à proteção do solo, conservação do ambiente e utilização de fontes de energia e combustíveis menos poluentes (FERREIRA, 2006). A produtividade da cana-de-açúcar é grande, na safra atual 2013/2014 a produtividade deve passar para 74,1 t.ha<sup>-1</sup>, enquanto a produção deve atingir 652,015 milhões de toneladas (CNA, 2013). Mas a entressafra geralmente traz problemas ao mercado de etanol que faz disparar o preço devido à falta da matéria-prima, sem contabilizar as máquinas e mão de obra ociosa (LOPES, 2013).

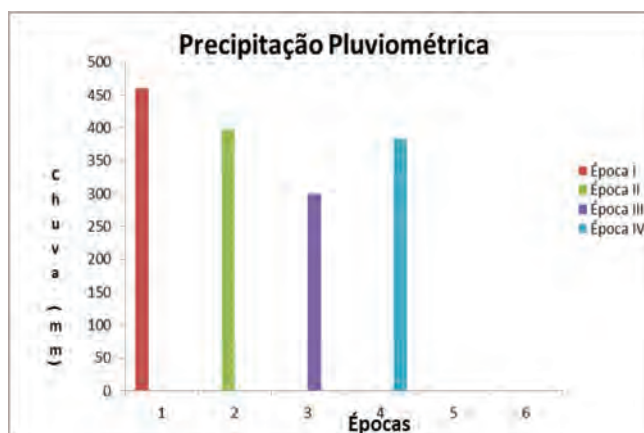
O sorgo sacarino é uma opção para a produção do etanol durante a entressafra da cana-de-açúcar, abastecendo as destilarias, e evitando a queda na produção de etanol, principalmente nos meses de março e abril (DFRURAL, 2011). Dependendo da região, o sorgo pode ser cultivado entre os meses de setembro a dezembro para que as usinas tenham matéria-prima de qualidade entre os meses de Janeiro a Abril para ampliar o período de produção do etanol e geração de energia elétrica e assim aumentar sua margem de lucro. Visto que o processamento dos colmos do sorgo sacarino é o mesmo já utilizado para a produção da cana-de-açúcar, representa uma alternativa de suma importância para plantio em áreas de reforma de canaviais, sem precisar ocupar novas áreas (LANDAU e SCHAFFERT, 2011). O Brasil conta hoje com uma área plantada de aproximadamente 1,5 milhão de hectares de sorgo sacarino. Essa gramínea é bem-adaptada a ambientes extremos de estresses abióticos, além da temperatura e umidade do solo (PURCINO, 2011). O sorgo pode ser plantado por dois processos básicos: convencional e direto na palha (PD). No processo convencional o solo é arado, gradeado, destorroado e nivelado, enquanto que no processo de semeadura direta o revolvimento do solo é localizado apenas na região de deposição de fertilizante e semente (RIBAS, 2008). Qualquer que seja o processo de semeadura, alguns cuidados devem ter sido tomados com relação à correção da acidez e do alumínio tóxico, bem como com o controle de plantas daninhas e insetos praga do solo (RIBAS, 2008). Tal rusticidade mostra que o sorgo sacarino tem fácil adaptação em relação a outras gramíneas, por possuir semelhança com a cana-de-açúcar (PARRELLA e PARRELLA, 2011). Durães (2011) relata que o “sorgo sacarino produz grãos (2,5 t.ha<sup>-1</sup>), que apresentam características nutricionais similares às do milho, podendo ser utilizados na alimentação humana ou animal” ou para produção de bioetanol. Seu bagaço pode ser utilizado como fonte de energia para queima na caldeira para produção de vapor. Porém, o sorgo sacarino apresenta o balanço energético negativo como desconhecimento da cultura do sorgo sacarino, incluindo ponto de colheita, fertilização e arranjo de plantas; o despreparo das equipes operacional e gerencial; dificuldades para planejamento das operações; problemas para o controle de plantas daninhas; acamamento de até metade da área cultivada (conforme a cultivar usada); e alto custo de transporte devido à baixa densidade de carga colhida (LOPES, 2013; PARRELLA; PARRELLA, 2011)

Por outro lado, Emygdio (2010) mostrando as vantagens comparativas entre sorgo sacarino e cana-de-açúcar para produção de etanol, verificou que o sorgo sacarino pode chegar a produção de 1.400 – 2.800 litros de etanol.ha<sup>-1</sup> por ciclo, chegando a produzir em dois ciclos por ano, o que demonstra sua viabilidade como planta produtora de biomassa e bioetanol. Deste modo, o trabalho teve como objetivo determinar a melhor época da semeadura como também o melhor tratamento quanto à adubação, buscando uma alta produtividade de massa verde e também um alto índice de sacarose. Além disso, contribuir com o meio ambiente como mais uma matéria-prima renovável, no caso, o sorgo sacarino para produção de etanol, e propiciar geração de empregos, na entressafra da cana-de-açúcar.

### Metodologia

A pesquisa de campo foi realizada na Fazenda Areão, pertencente à ESALQ-USP, no município de Piracicaba (SP), no período de setembro de 2013 a abril de 2014. A região tem clima subtropical, com inverno relativamente seco, verão chuvoso e temperatura média anual de 25° C. A precipitação acumulada no período da semeadura até a colheita está apresentada na (Figura 1). A semeadura do sorgo sacarino foi realizada em quatro etapas. As épocas de semeadura que foram implantadas: E1) Época I-Semeadura Setembro 2013; E2) Época II-Semeadura Outubro 2013; E3) Época III-Semeadura Novembro 2013 e a E4) Época IV-Semeadura Dezembro 2013. O tipo do solo é Latossolo vermelho-escuro eutroférrico, com 60% argila. A pesquisa foi desenvolvida com a variedade BRS 506, doada pela Embrapa. O teste de germinação alcançou o índice de 75%. Os equipamentos utilizados foram: i) Trator; ii) Escarificador; iii) Grade Aradora; iv) Grade Niveladora; v) Enxada Rotativa; vi) riscador/sulcador; vii) Dinamômetro (pesagem na colheita), e viii) laboratório (prensa, balança analítica, refratômetro, polarímetro, clarificação do caldo utilizando-se uma mistura de hidróxido de cálcio [Ca (OH)<sub>2</sub>], cloreto de alumínio [AlCl<sub>3</sub>] e celite). O preparo do solo foi feito primeiramente com uma escarificação para descompactação, seguida de uma gradagem pesada para revolvimento do solo; e por último foi utilizada a enxada rotativa para eliminar os torrões.

**Figura 1.** Precipitação acumulada entre as épocas de semeadura até a colheita. Piracicaba, SP. Fonte: Posto climático do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ – USP (2013).



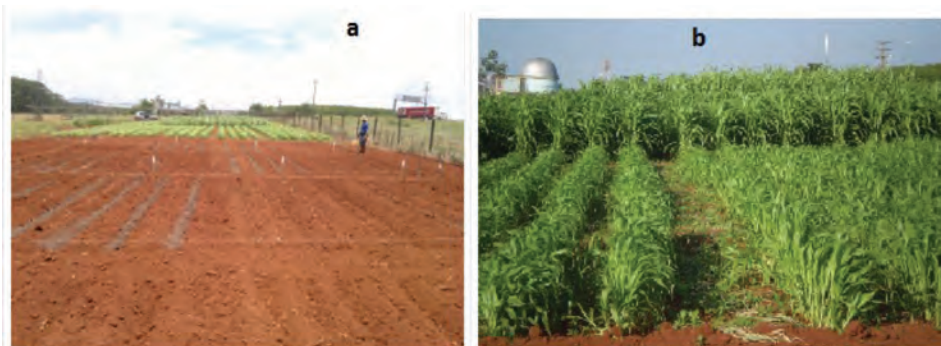
Os tratamentos realizados na semeadura foram: T1- Testemunha (adubação convencional): aplicou-se 250 kg.ha<sup>-1</sup> de Super Simples; T2- Torta de filtro (20 t.ha<sup>-1</sup>) + vinhaça (60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>), e T3- Torta de filtro (20 t.ha<sup>-1</sup>). Após 20 dias foi realizada a adubação de cobertura nos 3 (três) tratamentos com a formulação 10-20-20 na dosagem de 200 kg.ha<sup>-1</sup> e uréia na dosagem de 200 kg.ha<sup>-1</sup>. A semeadura foi feita em 4 (quatro) épocas diferentes: setembro, outubro, novembro e dezembro, com diferença de 30 (trinta) dias. O delineamento estatístico utilizado foi blocos ao acaso com 3 (três) tratamentos e 4 (quatro) repetições, totalizando 12 parcelas/época. As parcelas foram de 4 linhas de semeadura com 5 metros de comprimento cada e o espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,70 metro (Figura 2).

Para avaliação de produtividade, na colheita foram excluídas as duas linhas das bordas e 0,5 metro do início e do final das linhas 2 e 3 (parcela útil), colhendo assim 8 metros lineares. As análises tecnológicas foram realizadas na Fatec Piracicaba utilizando-se a técnica da prensa hidráulica de acordo com Manual do Sistema da CONSECANA (2006), por meio da pesagem do bagaço úmido e a determinação de Brix (refratometria) e a pol (sacarometria). Já o cálculo da fibra do sorgo (F) utilizou-se a fórmula de Tanimoto (CONSECANA, 2006), que mede a fração fibrosa por secagem do bagaço úmido retido na prensa hidráulica após a extração do caldo (PBU), que após seco e pesado recebe a sigla PBS. Calculou-se então através da seguinte expressão:  $F = [ (100 \times \text{PBS}) - (\text{PBU} \times B) ] \div [ 5 \times (100 - B) ]$ , onde: B= Brix do caldo.

### Resultados e Discussão

O efeito da época de plantio alterou o crescimento e a acumulação de açúcar nos colmos do sorgo sacarino, afetando o início do período de emissão da panícula, início da fase reprodutiva, até o início da formação de grãos nos cachos, quando amostras do sorgo sacarino foram retiradas para as análises tecnológicas, possibilitando a obtenção das curvas de maturação para cada época (Figuras 3 e 4). Houve efeitos de época para altura das plantas, produção de matéria seca e de fibra no colmo (Figuras 5, 6 e 7), respectivamente na colheita. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que os tratamentos apresentaram diferenças entre si dentro de cada época, bem como as épocas apresentaram valores diferentes para as variáveis estudadas no colmo de sorgo: Pol, massa verde e produção de fibra. Houve diferenças na altura das plantas na ocasião da colheita para tratamentos e as épocas.

**Figura 2.** Registros fotográficos da instalação (a) e condução (b) dos ensaios com sorgo sacarino na área experimental das parcelas na Fazenda Areão –USP.

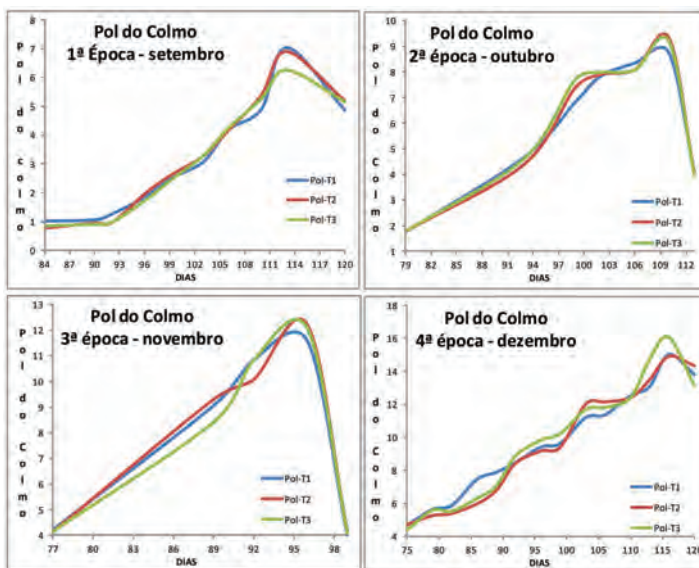


Em relação ao Pol, a época de semeadura realizada no mês dezembro apresentou os maiores valores, sendo no tratamento 3 (torta de filtro) o maior valor observado, enquanto que no mês de setembro observou-se os menores valores de Pol, sendo no tratamento 3 observado o menor valor. Referindo-se à produção de massa verde, a época de semeadura no mês de setembro apresentou os maiores valores e Dezembro os menores. Em todas as épocas o tratamento T2 (torta de filtro e vinhaça) se diferenciou dos demais atingindo a maior produtividade. Na época I, o Pol atingiu seu valor máximo aos 113 dias. O Pol médio observado variou de 6,248% a 7,044%, sendo o tratamento 1 o que apresentou o maior valor, e o tratamento 3 o menor valor. Quanto à média de fibra observada variou de 12,38% a 13,43%, sendo que o tratamento 1 apresentou o maior valor, e o tratamento 3 o menor valor. A produção de massa verde variou entre 69,26 t.ha<sup>-1</sup> e 75,5 t.ha<sup>-1</sup>, sendo que o tratamento 2 apresentou o maior valor, e o tratamento 1 o menor valor. A média da altura das plantas variou entre 2,54 m e 2,61m. O tratamento 1 apresentou o maior valor e o tratamento 3 o menor valor.

Já na época II, o Pol do colmo atingiu seu valor máximo aos 110 dias. O Pol médio observado variou de 8,075% a 9,204%, sendo o tratamento 3 o que apresentou o maior valor e o tratamento 2 o menor valor. A produção de fibra variou de 6,73% a 10,18%, sendo que o tratamento 1 apresentou o maior valor, e o tratamento 3 o menor valor. A produção de massa verde variou entre 59,41 t.ha<sup>-1</sup> e 69,5 t.ha<sup>-1</sup>, sendo que o tratamento 2 apresentou o maior valor, e o tratamento 1 o menor valor (Figura 5). A média da altura das plantas variou entre 2,35 m e 2,39 m.

Na época III, o Pol do colmo atingiu seu valor máximo aos 96 dias. O Pol médio observado variou de 11,58% a 12,224%, sendo o tratamento 2 o que apresentou o maior valor e o tratamento 1 o menor valor. A produção de fibra variou de 9,48% a 12,29%, sendo que o tratamento 1 apresentou o maior valor, e o tratamento 2 o menor valor. A produção de massa verde variou entre 57,17 t.ha<sup>-1</sup> e 61,94 t.ha<sup>-1</sup>, sendo que o tratamento 2 apresentou o maior valor, e o tratamento 1 o menor valor. A média da altura das plantas variou entre 1,98 m e 2,04 m. O tratamento 1 apresentou o maior valor e o tratamento 3 o menor valor. Na época IV, o Pol atingiu seu valor máximo aos 116 dias. O Pol médio observado variou de 14,897% a 16,069%, sendo o tratamento 3 o que apresentou o maior valor e o tratamento 2 o menor valor. A produção de fibra variou de 13,4% a 15,15%, sendo que o tratamento 1 apresentou o maior valor, e o tratamento 3 o menor valor. A produção de massa verde variou entre 48,59 t.ha<sup>-1</sup> e 51,34 t.ha<sup>-1</sup>, sendo que o tratamento 2 apresentou o maior valor, e o tratamento 1 o menor valor. A média da altura das plantas variou entre 1,94 m e 1,96m. O tratamento 1 apresentou o maior valor e o tratamento 2 o menor valor.

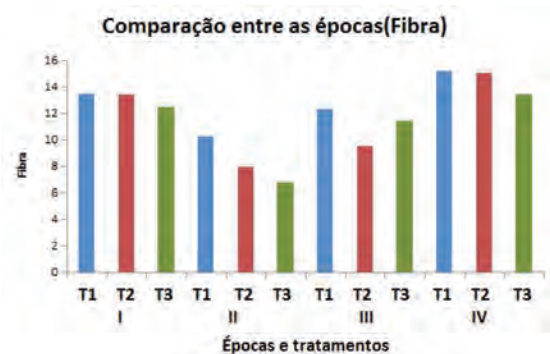
**Figura 3.** Influência da época de semeadura na curva de acumulação de sacarose nos colmos de sorgo sacarino nos diferentes tratamentos (pol colmo): (a) 1ª época - setembro; (b) 2ª época – outubro; (c) 3ª época – novembro e (d) 4ª época – dezembro.



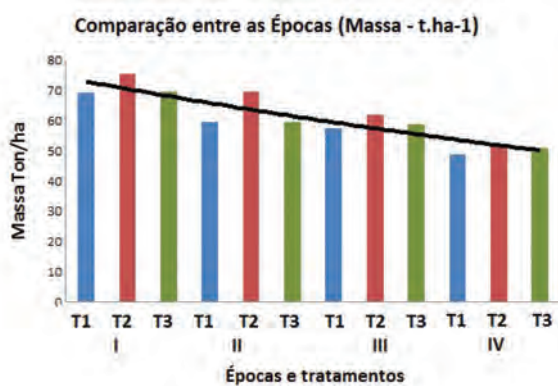
**Figura 4.** Influência das quatro épocas de plantio na pol do colmo de sorgo sacarino nos diferentes tratamentos.



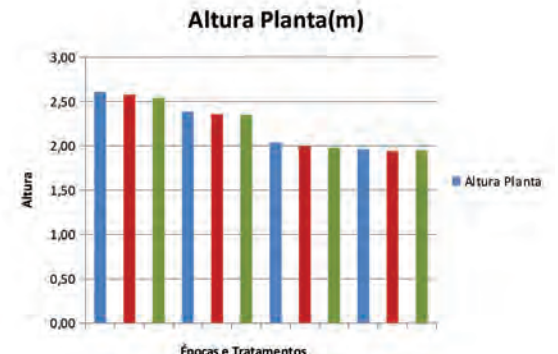
**Figura 6.** Influência das épocas de plantio na fibra % colmo de sorgo sacarino nos diferentes tratamentos.



**Figura 5.** Influência das épocas de plantio na produção de matéria seca do sorgo sacarino nos diferentes tratamentos.



**Figura 7.** Influência das épocas de plantio altura do sorgo sacarino nos diferentes tratamentos.



## Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitem afirmar que a produção de sorgo sacarino pode ser uma cultura complementar na produção de etanol e energia na entressafra da cana-de-açúcar, cabendo em alguns casos, dois ciclos da cultura no período da entressafra quando se planta cana de ano-e-meio. Viabilizando assim a utilização das áreas de reformas de canaviais, propiciando uma oferta de matéria prima para produção de etanol na entressafra da cana-de-açúcar e utilização do parque industrial da usina nesta época, já que os mesmos ficam parados na entressafra. Isso proporcionará aumento da eficiência no uso destes equipamentos.

## Referências Bibliográficas

- CNA. Aumenta a produtividade média da cana-de-açúcar na safra atual (2013). Disponível em: <http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/aumenta-produtividade-media-da-cana-de-acucar-na-safra-atual>. Acesso em 20 nov. 2013.
- CONSECANA. **Manual do Consecana**. 5.ed. Piracicaba, 2006. 112p. Disponível em: <[HTTP://www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)>. Acesso em: 12 mar. 2016.
- DFRURAL. MG: Sete Lagoas discutirá produção de etanol a partir do sorgo sacarino (2011). Disponível em: <http://dfrural.wordpress.com/tag/sorgo-sacarino/>. Acesso em 25 set. 2013.
- DURÃES, F. O. M. **Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica** (2011). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56043/1/BolfeAgroeRevis.pdf>. Acesso em 10 set. 2013.
- EMYGDIO, B. M. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino** (2010). Disponível em: [http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/Artigo\\_sorgo\\_Beatriz.pdf](http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/Artigo_sorgo_Beatriz.pdf). Acesso em 20 set. 2013.
- FERREIRA, A.P. O desafio das alterações climáticas: o olhar para além das nossas fronteiras (2006). Disponível em: [http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=5&cod\\_artigo=88](http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=5&cod_artigo=88). Acesso em 13 set. 2013.
- LANDAU, E. C.; SCHAFFERT, R. E. **Zoneamento de áreas aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar no Brasil** (2011). Disponível em: [http://www.cnpae.embrapa.br/imprensa/agroenergia-em-revista/AgroenergiaEmRevista\\_ed03.pdf](http://www.cnpae.embrapa.br/imprensa/agroenergia-em-revista/AgroenergiaEmRevista_ed03.pdf). Acesso em: 05 set. 2013.
- LOPES, V. **Sorgo sacarino é alternativa na entressafra de cana**. Disponível em: <http://www.novacana.com/n/etanol/alternativas/sorgo-sacarino-alternativa-entressafra-cana-220413/>. Acesso em 13 out. 2013.
- PACHECO, T. F. **Índices Tecnológicos Industriais para Produção de Etanol de Sorgo Sacarino**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/sorgosacarino/thalyta.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2013.
- PARRELLA, N.N. L.D. PARRELLA, R. A. da C. **Produção de sementes de sorgo sacarino** (2011). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56043/1/BolfeAgroeRevis.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2013.
- PURCINO, A. A. C. **Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos** (2011). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56043/1/BolfeAgroeRevis.pdf>. Acesso em 15 set. 2013.
- RIBAS, P. M. **A implantação da cultura** (2008). Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_4\\_ed/plantio-plantio.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/plantio-plantio.htm). Acesso em 25 out. 2013.
- SOUZA, V. F. de. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. Disponível em: [http://www.producaoavegetal.com.br/arquivos\\_upload/editor/file/dissertacao\\_vander\\_souza.pdf](http://www.producaoavegetal.com.br/arquivos_upload/editor/file/dissertacao_vander_souza.pdf). Acesso em: 20 set. 2013.

## CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-TECNOLOGICAS DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO COM DESPONTE DE PANÍCULAS

Aline Ferreira Silva<sup>1</sup> Osania Emerenciano Ferreira<sup>1</sup> Vitor Teixeira<sup>1</sup> Lidyane Aline de Freitas<sup>1</sup> Juliana Pelegrini Roviero<sup>1</sup> Cristhyane Millena de Freitas<sup>1</sup> Marcel Campos de Oliveira<sup>1</sup> Miguel Angelo Mutton<sup>1</sup> Márcia Justino Rossini Mutton<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool, Departamento de Tecnologia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal-SP

alinefsbio@hotmail.com

### Resumo

Dentre as diversas matérias-primas renováveis disponíveis para a produção de bioetanol, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma das opções mais promissoras devido à sua ampla adaptabilidade em diferentes climas e solos, além do grande acúmulo de açúcares em seus colmos. A viabilidade de seu uso depende de práticas que otimizem o seu rendimento energético. O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Produção Vegetal- FCAV/UNESP Jaboticabal-SP na safra 2012/2013 e conduzido no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool da mesma instituição. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com parcelas sub-subdividas e quatro repetições. Os tratamentos primários corresponderam aos genótipos de sorgo sacarino (CV147, CV198 e BRS508), os secundários, ao manejo dos colmos (com desponte prévio das panículas e colmos integrais, sem desponte) e os terciários às épocas de colheita (102 e 116 dias após semeadura). Aos 70 d.a.s. foi realizada a remoção manual com uso de tesouras de poda, do último entrenó do colmo, inibindo assim o desenvolvimento das panículas. Nas parcelas controles as panículas foram mantidas intactas. O caldo extraído foi clarificado através de processo de defecação simples, e a seguir ajustou-se o Brix para 16° e pH para 4,5 (mosto). Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F), teste de comparação de médias (Tukey 5%). Os resultados da caracterização do caldo clarificado e mosto mostraram que o desponte afetou positivamente alguns parâmetros como amido e fenol que tiveram menores teores, porém para as outras características o desponte afetou negativamente a qualidade tecnológica do sorgo sacarino. A época de colheita que resultou em valores mais satisfatórios para os constituintes químico-tecnológico foi aos 102 dias após a semeadura.

**Palavras-chave:** Bioenergia. Clarificação do caldo. Etanol. *Sorghum bicolor* (L.) Moench

### Summary

Among the various renewable raw materials available for bioethanol production, sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is one of the most promising options because of its wide adaptability to different climates and soils, in addition to the large accumulation of sugars in their stems. The feasibility of its use depends on practices that optimize your energy efficiency. The experiment was installed in the experimental area of the Department of Production Vegetal- FCAV / UNESP Jaboticabal-SP in the 2012/2013 harvest and led the Sugar Technology Laboratory and the same institution alcohol. The experimental design was completely randomized, with sub-subdivided plots and four repetitions. The primary treatments corresponded to sorghum genotypes (CV147, CV198 and BRS508), side, the handling of culms (with prior lopping the whole panicles and stalks, without lopping) and tertiary to harvest times (102 and 116 days after seeding). 70 d.a.s. manual removal was performed with use of pruning shears, the last internode stem, thereby inhibiting the development of panicles. In plots controls the panicles were kept intact. The extracted broth was clarified by simple defecation process and then set to 16 ° Brix and pH 4.5 (must). The results were submitted to analysis of variance (F test), mean comparison test (Tukey 5%). The results of the characterization of the clarified juice and must have shown that the lopping positively affected some parameters such as starch and phenol had lower levels, but for the other features the lopping negatively affected the technological quality of sweet sorghum. The harvest season resulting in more satisfactory values for the chemical-technological constituents was at 102 days after sowing.

**Keyword:** Bioenergy. Broth clarification. Ethanol. *Sorghum bicolor* (L.) Moench

### Introdução

O etanol tem sido considerado uma alternativa para diminuir problemas ambientais e energéticos no mundo, em razão da escassez alta dos preços dos combustíveis fósseis e da poluição causada por estes. Comparado com combustíveis fósseis, o etanol apresenta as vantagens de ser uma fonte renovável de energia, que contribui com a redução das emissões de dióxido de carbono (PACHECO, 2010).

Dentre as diversas matérias-primas utilizadas para a produção de etanol, a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino destacam-se por serem culturas tropicais que apresentam colmos ricos em açúcares fermentáveis, além do resíduo sólido (bagaço), que pode ser utilizado para produzir energia (queima em caldeiras), combustível (etanol de segunda geração), ração animal ou como adubo orgânico (MONTI e VENTURI, 2009; RATNAVATHI et al, 2010).

Atualmente, o sorgo sacarino surge como uma cultura energética promissora, possuindo na constituição três grupos de materiais susceptíveis a fermentação etanólica, os açúcares presentes nos colmos, o amido dos grãos, e os materiais lenho-celulósicos como seu bagaço.

O sorgo sacarino é uma cultura C4 com alta eficiência fotossintética, que possui um ciclo vegetativo curto (90 a 120 dias), grande acúmulo de açúcar em seus colmos, elevado rendimento de biomassa, além de ser tolerante à seca e possuir capacidade de desenvolvimento em uma ampla gama de condições ambientais. No Brasil, destaca-se devido ao cultivo ser realizado em áreas de replantio de cana-de-açúcar, aumentando a produção de combustível por área. Além disso, o maquinário utilizado para a colheita, carregamento e transporte de sorgo é o mesmo usado na indústria de cana-de-açúcar (ALMODARES e HADI, 2009).

Diferente da cana-de-açúcar, o final do ciclo vegetativo do sorgo sacarino caracteriza-se pela translocação da sacarose presente no colmo para formar os grãos da panícula. Neste sentido, a inibição do florescimento das panículas antes enchimento dos grãos pode afetar positivamente o rendimento de açúcar do sorgo, pois os fotossintatos que seriam utilizados para a formação dos grãos podem ser armazenados como açúcares nos colmos da planta.

Diante disto, no presente trabalho avaliou-se influência da inibição do florescimento das panículas e das épocas de colheita do sorgo sacarino sobre a qualidade tecnológica dos colmos para a produção de etanol.

### Material e Métodos

O sorgo sacarino foi cultivado na área experimental do departamento de Produção Vegetal da FCAV- Jaboticabal – SP (21°14'05''S and 48°17'09''W), na safra 2012/2013. O espaçamento utilizado para a semeadura foi de 45 cm entre linhas.

O plantio foi feito em janeiro de 2013, com distribuição manual no sulco de plantio. Aos 70 dias após a semeadura, estágio de desenvolvimento das panículas, quando a folha bandeira estava visível, foram realizadas as remoções manuais, com uso de tesouras de poda, do último entrenó do sorgo nas parcelas apropriadas, inibindo assim o desenvolvimento das panículas. Nas parcelas controles as panículas foram mantidas intactas.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos principais foram três variedades de sorgo sacarino (CV147, CV198 e BRS508), os secundários os sistemas de manejo dos colmos: com inibição da emergência das panículas e colmos integrais. Os tratamentos terciários corresponderam às duas épocas de colheita (102 e 116 dias após a semeadura).

Para determinação das características químico-tecnológicas, o caldo foi extraído segundo método da prensa hidráulica (TANIMOTO, 1964), empregando-se colmos previamente desintegrados e homogeneizados.

O caldo extraído de sorgo sacarino foi submetido à clarificação pelo processo de defecação simples, para remoção de impurezas. O caldo clarificado foi padronizado para 16 Brix, o pH corrigido com Ácido Sulfúrico até 4,5 ( $\pm 0,3$ ) e a temperatura ajustada a 30°C, resultando no mosto. Avaliou-se a qualidade dos caldos clarificado e mosto pela determinação das características químico-tecnológicas: BRUX (ICUMSA, 2011); pH; Açúcares redutores (AR) (MILLER, 1959); Açúcares redutores totais (ART) (LANE e EYNON, 1934); Compostos fenólicos totais (FOLIN e CIOCALTEAU, 1927); Acidez Total e Amido (CTC, 2005).

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias analisadas segundo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6 beta.

### Resultados e Discussões

Para os resultados de caldo clarificado do Brix (Tabela 01) verifica-se que o genótipo BRS508 obteve maiores valores de sólidos solúveis, do que os genótipos CV147 e CV198, que não diferiram entre si. Este comportamento era esperado uma vez que no caldo extraído esta cultivar também apresentou os maiores valores, além de ser uma cultivar que apresenta como característica o seu alto teor de açúcar fermentável no caldo, podendo atingir valores de 18 a 22,9 °Brix (EMBRAPA, 2012). A dinâmica de acumulação de sólidos solúveis varia entre as cultivares, assim, programas de melhoramento têm selecionado um conjunto de materiais que possibilitam a ocorrência de matéria-prima com Brix adequado durante o decorrer da safra (WACLAWOVSKY *et al.*, 2010).

Verificou-se que aos 102 d.a.s., os colmos colhidos com desponte ou integral, apresentaram os mesmos teores de sólidos solúveis. Os colmos integrais continuaram a acumular açúcares, aumentando os valores de Brix, diferentemente dos colmos despontados, que apresentaram decréscimo à primeira época. O aumento do brix entre as diferentes épocas também foi observado por FREITA (2013). Este comportamento de queda do Brix da primeira para a segunda nos colmos despontados pode ser explicado devido ao crescimento de brotações laterais que podem ter consumido estes açúcares para armazenar nas novas panículas (Tabela 1).

A clarificação do caldo é uma etapa importante no processamento industrial para produção de bioetanol. O tratamento do caldo bruto objetiva remover impurezas e partículas em suspensão que prejudiquem a fermentação (ANDRZEJEWSKI *et al.*, 2013). A clarificação adequada do caldo de sorgo sacarino depende da necessidade de macro e micronutrientes e outros compostos presentes que interferem no processo fermentativo (ANDRZEJEWSKI *et al.*, 2013).

Para os resultados obtidos para a composição do mosto (Tabela 01) não foram observadas diferenças significativas para o Brix em nenhum dos tratamentos, visto que os valores de Brix foram ajustados para valores próximos a 16° Brix para os três genótipos.

A concentração do mosto é determinada de acordo com a produção pretendida, capacidade de produção e o modelo de fermentação utilizado. Esta concentração, geralmente, é entre 15 e 22 °Brix. Maiores perdas de açúcares são observadas em mostos contendo elevada concentração de substrato, que não são fermentados devido ao estresse osmótico causado nas leveduras. Nesta situação ocorre inibição pelo substrato, que extrapola a região de saturação (CARVALHO e MONTEIRO, 2012; RIBEIRO, 2010).

Para o parâmetro pH, não foram observadas diferenças significativas para os genótipos estudados e para os sistemas de manejo, tanto para o caldo clarificado (Tabela 01) quanto para o mosto (Tabela 02). Em relação as épocas de colheita do caldo clarificado (Tabela 01), observou-se aumento dos valores aos 116 d.a.s. Um aumento nestes parâmetros também foi relatado por ANDRZEJEWSKI *et al.* (2013) em estudos de clarificação de caldo de cana e sorgo sacarino. FREITA (2013), estudando a caracterização do caldo de sorgo sacarino em diferentes épocas, observou queda do pH dos 100 aos 160 d.a.s., diferentemente dos resultados encontrados nesta pesquisa.



O pH é um fator que possui grande importância no controle da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica (AMORIM *et al.*, 2005). O tratamento ácido na indústria é utilizado de forma a controlar a contaminação bacteriana, por isso a correção do pH do meio durante a fermentação é uma etapa importante do processo de multiplicação e fermentação (MUTTON, 1998). Nos mostos industriais, os valores de pH geralmente se encontram na faixa de 4,5 a 5,5 (LIMA *et al.*, 2002). A utilização de linhagens de *S. cerevisiae* resistentes a pH ácido é uma característica importante para a produção de bioetanol (AMARAL, 2009).

Os resultados obtidos para acidez total do caldo clarificado (Tabela 01) e para o mosto (Tabela 02) apresentaram efeito significativo para o manejo dos colmos. Verificou-se que os colmos integrais tiveram maiores valores de acidez em relação aos despontados.

Para que a fermentação etanólica ocorra de modo apropriado, obtendo-se elevados rendimentos e eficiências, é necessário que o substrato utilizado esteja adequado ao micro-organismo fermentador, com qualidade e teores de nutrientes suficientes (FREITA, 2013).

Para açúcares redutores totais (ART) do caldo clarificado, não foram observadas diferenças significativas para os tratamentos. Para mosto (Tabela 02) o genótipo CV147 obteve os menores valores de ART. Dentre as épocas de colheita, aos 116 d.a.s. os resultados de ART do mosto foram menores do que os obtidos aos 102 d.a.s. Em processos de clarificação, o ideal é que ocorra a menor perda de açúcares possível, visto que estes são a matéria-prima utilizada pelas leveduras para conversão em etanol. A perda de açúcares em qualquer etapa do processamento resulta em queda no rendimento e eficiência industrial. ANDRZEJEWSKI *et al.* (2013) relatam que não houve perdas de açúcares durante processo de clarificação de sorgo sacarino.

De acordo com observações de SOUZA (2011) o período de utilização industrial (PUI) do sorgo sacarino pode variar entre os genótipos, devido o efeito da curva de acumulação dos açúcares, o que pode mascarar genótipos potenciais quanto ao teor de sólidos solúveis. A quantidade de açúcares de um mosto depende da natureza e da composição química da matéria-prima, devendo ser compatível com o tipo de levedura que será utilizada e com o processo empregado na fermentação alcoólica (AMORIM, 2005). Segundo SCHAFFERT E PARRELLA (2012) para a produção econômica e sustentável de etanol a partir do sorgo sacarino é necessário um mínimo de 12,5% de ART, que é utilizado para se estabelecer o PUI (Período Útil de Industrialização). Os resultados obtidos por Freita (2013) para as cultivares CVSW80007 e o CVWS80147, apresentaram PUI de 40 dias iniciando-se aproximadamente aos 115 d.a.s.

Para a composição do mosto (Tabela 2) o genótipo BRS508 apresentou os maiores valores de compostos fenólicos. Para as épocas de colheita aos 102 d.a.s. foram observados maiores valores de compostos fenólicos do que aos 116 d.a.s.. Este comportamento pode ser o reflexo da reação fisiológica da cultura em resposta as condições ambientais predominantes neste período. Sob condições de estresse a cultura em plena atividade metabólica pode ter destinado parte dos fotossintatos para a produção de biomoléculas de defesa, como os compostos fenólicos.

MASSON (2013) estudando a variedade CVSW80007 de sorgo sacarino observou valores bem superiores de compostos fenólicos, na faixa de 1114 mg L<sup>-1</sup>, valores estes inadequados ao processamento industrial para a produção de etanol de acordo com padrão de qualidade sugerido por Amorim (2005), que recomenda valores inferiores a 500 mg L<sup>-1</sup>. A quantidade de compostos fenólicos adequada para fermentação é importante, pois, estes atuam como inibidores do metabolismo das leveduras (STUPIELLO, 2002).

Os resultados de teores de amidos estão dispostos na (Tabela 01). Verificou-se que aos 116 d.a.s. houve um aumento significativo na concentração dos teores de amido no caldo clarificado em relação aos 102 d.a.s.

Nos resultados de amido para o mosto (Tabela 02) foram observados que o genótipo BRS508 apresentou valores superiores do que os CV147 e CV198. Aos 116 d.a.s a concentração de amido no mosto foi superior do que aos 102 d.a.s..

Em estudo de clarificação, ANDRZEJEWSKI *et al.* (2013) evidenciam a necessidade de aperfeiçoamento e adequação da tecnologia quando se usa o caldo de sorgo. Os mesmos autores afirmam que em testes com variação de temperatura e pH foi possível obter grande remoção de amido, especificamente a 85°C e pH igual a 7,0 com adição de 10 ppm de auxiliar de floculação.

Analisando os efeitos da clarificação sobre a qualidade dos caldos nota-se a importância deste para o processamento industrial, ressaltando a necessidade de ajustes e aperfeiçoamento do método para utilização de sorgo sacarino. ANDRZEJEWSKI *et al.* (2013) avaliando a operação de clarificação de caldo de sorgo sacarino para a produção de bioetanol demonstraram haver efeito significativo do processo de tratamento sobre a qualidade dos caldos, para as diferentes cultivares, podendo ser considerado essencial para o processo fermentativo.

## Conclusão

O desponte afetou positivamente alguns parâmetros como amido e compostos fenólicos que tiveram menores teores, porém para as outras características o desponte afetou negativamente a qualidade tecnológica do sorgo sacarino.

A época de colheita que resultou em valores mais satisfatórios para os constituintes químico-tecnológico foi aos 102 dias após a semeadura.

**Tabela 1.** Valores médios obtidos para Brix, pH, Acidez Total, Açúcares Redutores Totais (ART), Fenol e Amido do caldo clarificado de três cultivares de sorgo sacarino (CV147, CV198 e BRS508), em dois sistemas de manejo (Integral e Despontado) e em duas épocas de amostragem (102 e 116 d.a.s.). Jaboticabal/SP. Safra 2013/2014.

Tratamentos	Brix	pH	Acidez Total	ART	Fenol	Amido
<b>Cultivares (A)</b>			g L <sup>-1</sup>	%	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
CV147	15,7B	5,76A	1,36A	10,8A	381,5A	136,05A
CV198	16,39B	5,77A	1,38A	11,6A	451A	111,20A
BRS508	17,3A	5,71A	1,32A	11,4A	497,8A	170,69A
Teste F	28,03**	1,37ns	0,40ns	4,32ns	3,61ns	3,49ns
DMS	0,67	0,11	0,19	0,79	133,64	69,39
C.V	3,79	1,86	12,87	6,45	27,77	45,91
<b>Manejo (B)</b>						
Integral	16,5A	5,73A	1,47A	11,3A	473,9A	152,16A
Despontado	16,41A	5,76A	1,23B	11,3A	413A	126,46A
Teste F	0,20ns	0,63ns	16,6**	0,01ns	3,67ns	0,97ns
DMS	0,83	0,1	0,13	0,32	71,86	59,02
CV	7,74	2,69	15,23	4,43	24,81	64,86
<b>Épocas - d.a.s (C)</b>						
102	16,1A	5,61B	1,29A	11,5A	460,5A	35,93B
116	16,8A	5,88A	1,41A	11,1A	426A	242,69A
Teste F	3,69ns	28,14**	3,34ns	2,24ns	0,39ns	63,97**
DMS	0,82	0,1	0,14	0,61	113,7	54,28
C.V	8,28	3,01	17,15	8,93	42,29	64,28
Teste F Ax B	1,92ns	0,64ns	1,45ns	1,41ns	4,38	1,82ns
Teste F Inter Ax C	0,55ns	0,77ns	1,42ns	0,82ns	0,51ns	1,19ns
Teste F Inter Bx C	6,64	0,03ns	0,11ns	0,01ns	0,84ns	0,007ns
Teste F Ax Bx C	2,94ns	0,29ns	0,63ns	0,3ns	0,14ns	4,68ns

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \*significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); ns - não significativo ( $p \geq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam médias na coluna. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. D.M.S = Desvio Mínimo Significativo. C.V = Coeficiente de Variação.

**Tabela 2.** Valores médios obtidos para Brix, pH, Acidez Total, Açúcares Redutores Totais (ART), Fenol e Amido do mosto de três cultivares de sorgo sacarino (CV147, CV198 e BRS508), em dois sistemas de manejo (Integral e Despontado) e em duas épocas de amostragem (102 e 116 d.a.s.). Jaboticabal/SP. Safra 2013/2014.

Tratamentos	Brix	pH	Acidez Total	ART	Fenol	Amido
<b>Cultivares (A)</b>			g L <sup>-1</sup>	%	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
CV147	15,1A	4,45A	1,36A	10,8B	403,3B	82,5B
CV198	15,6A	4,47A	1,38A	11,6A	493,1AB	84,2B
BRS508	15,7A	4,48A	1,32A	11,7A	608,1A	151,4A
Teste F	1,75ns	0,84ns	0,48ns	6,7*	6,41*	8,28*
DMS	1,07	0,07	0,19	0,86	175,9	59,3
C.V	6,38	1,60	13,20	6,94	32,34	51,2
<b>Manejo (B)</b>						
Integral	15,6A	4,47A	1,47A	11,5A	532,6A	95,4A
Despontado	15,3A	4,46A	1,23B	11,2A	470,4A	116,7A
Teste F	1,84ns	0,09ns	17,26**	2,08ns	0,91ns	3,66ns
DMS	0,4	0,01	0,13	0,56	146,8	25,1
C.V	3,98	0,63	15,21	7,57	44,81	36,36
<b>Épocas - d.a.s (C)</b>						
102	15,5A	4,45A	1,29A	11,7A	591,8A	29B
116	15,4A	4,48A	1,41A	11,0B	411,2B	183A
Teste F	0,26ns	1,83ns	3,05ns	6,40*	7,76*	116,7**
DMS	0,40	0,03	0,14	0,50	136,1	29,9
C.V	4,35	1,34	17,34	7,35	44,77	46,54
Teste F Ax B	0,09ns	3,0ns	1,39ns	0,85ns	0,62ns	5,57
Teste F Inter Ax C	1,45ns	1,7ns	1,26ns	0,18ns	0,41ns	11,57
Teste F Inter Bx C	4,40ns	0,03ns	0,15ns	2,63ns	0,87ns	6,15ns
Teste F Ax Bx C	1,46ns	0,17ns	0,53ns	0,46ns	1,05ns	6,32ns

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \*significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); ns - não significativo ( $p \geq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam médias na coluna. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. D.M.S = Desvio Mínimo Significativo. C.V = Coeficiente de Variação.

# INDUSTRIAL

## USO DA ÁGUA CONDENSADA DA VINHAÇA CONCENTRADA NA DILUIÇÃO DO MOSTO E INFLUÊNCIA NO PROCESSO FERMENTATIVO

Natália Novais Ribeiro<sup>1</sup>, Josiene Rocha Teixeira<sup>1</sup>, Leonardo Lucas Madaleno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fatec Nilo De Stéfani – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Av. Eduardo Zambianchi, 31, Jaboticabal-SP.

*leonardo.madaleno@fatecjaboticabal.edu.br*

### Resumo

O reuso das águas residuárias, produzidas nos processos industriais, é importante para contribuição da diminuição da utilização de água obtida em recursos naturais. A vinhaça, um dos subprodutos mais importantes na produção de etanol, poderia ser reutilizada na fermentação etanólica, no entanto, apresenta restrições por inibir o processo fermentativo. O presente estudo teve como objetivo promover a evaporação da vinhaça e posterior uso da água condensada obtida na diluição do mosto de melaço e avaliar os efeitos na fermentação etanólica. Foi utilizado delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram: a água condensada da vinhaça; mosto preparado com vinhaça “in natura” (controle negativo); água tratada com cloro de uma usina na região de Ribeirão Preto-SP e água deionizada (controles positivos). Foi verificada a qualidade do mosto preparado, processo fermentativo e qualidade do vinho. Verificou-se que o tratamento com água evaporada da vinhaça precisa ser mais bem explorado, pois esta água, apesar de ser limpa visualmente, apresentou quantidade de ácidos e provavelmente, compostos fenólicos elevados que impediram a realização da fermentação em comparação com os tratamentos com água deionizada e tratada com cloro.

**Palavras-chave:** evaporação, melaço, fermentação, subproduto, vinhoto.

### Summary

Waste water reuse is important to contribute to decrease consumption of water obtained from natural resources. Vinasse is the most important residue produced in ethanol process and it could be used in ethanol fermentation; however, it shows restrictions because it inhibits yeasts in fermentation process. The aim of this study was to evaporate vinasse to 65° brix in evaporators for further use of condensed water in the preparation of fermentation mash. The experimental design comprised randomized blocks with four treatments and repetition. The treatment was: condensed vinasse, mash prepared with "in natura" vinasse (negative control), chlorinated water of a plant in Ribeirão Preto and deionized water (positive controls). We evaluated mash preparing, fermentation process and wine quality. We found that the condensed water produced from vinasse concentration could be better exploited. This water was clean, but with high organic acids and probably phenol concentration, which inhibited ethanol fermentation compared with deionized and chlorinated water.

**Keywords:** evaporation, molasses, fermentation, byproduct, vinasse.

### Introdução

O descarte zero da água utilizada nas usinas é assunto que vem sendo muito discutido no setor. Diversas formas de reutilização foram propostas; destas algumas foram testadas e uma pequena parcela foi colocada em prática. Dentre as diversas novas formas de reaproveitamento recomendadas, a utilização de efluentes na fermentação alcoólica entra em destaque.

O mosto pode ser feito através da utilização de diversas matérias-primas, dentre essas: o caldo da cana-de-açúcar, o caldo clarificado, o xarope e o melaço (REBELATO; MADALENO; RODRIGUES, 2014). Em destilarias autônomas o caldo da cana e o caldo clarificado normalmente são enviados para as dornas de fermentação após a correção do pH, entretanto, nas usinas o xarope e melaço, por possuírem alta concentração de açúcar, precisam ser diluídos com água e ter o pH ajustado antes de serem enviados para a fermentação.

O melaço é subproduto da produção do açúcar; é essencialmente um licor de cor escuro que possui 50 a 55% de açúcares fermentescíveis e, portanto, é ótimo substrato para a produção de etanol (MACHADO; ABREU, 2006). Das matérias-primas citadas anteriormente, o melaço é o que necessita de maior quantidade de água de diluição, pois sai das centrífugas da fábrica de açúcar com valores elevados de sólidos solúveis, que seriam inviáveis para a realização do processo fermentativo pelas leveduras. Portanto, essa matéria-prima açucarada necessita de água para diluição no preparo do mosto.

A vinhaça, que poderia ser utilizada como água de diluição, é efluente de alta carga orgânica e nutrientes, obtido no setor de destilação da produção de etanol. O subproduto é produzido em larga escala na indústria, pois para cada litro de etanol produzido cerca de 13 litros de vinhaça (PEREIRA, 2009) são obtidas. O uso da vinhaça “in natura” para preparo do mosto de melaço não é prático recomendada, pois prejudica e inibe o processo fermentativo (CARVALHO, 2010).

A vinhaça poderia sofrer algum tratamento antes de ser utilizada. Existem, atualmente, diversos estudos para encontrar o melhor tratamento para reduzir os inibidores. Segundo MELLO (2012), neste tipo de tratamento pode se aproveitar a água condensada da evaporação em diversos pontos dos processos, tais como: embebições, lavagens de equipamentos, preparação do leite de cal, diluição das leveduras e preparo do mosto.

Dentro deste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da utilização da água condensada da vinhaça concentrada a 65° Brix no preparo do mosto de melaço e avaliar a qualidade da fermentação e do vinho obtido.

## Material e Métodos

### Delineamento experimental, evaporação da vinhaça e qualidade das águas de diluição

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e quatro repetições. O tratamento aplicado na vinhaça foi a evaporação do subproduto, sendo a água condensada resultante utilizada para preparo do mosto de melaço. Esse tratamento foi comparado com a vinhaça “in natura” (controle negativo), água tratada com cloro de uma usina na região de Ribeirão Preto-SP e água deionizada (controles positivos), utilizados também como água de diluição.

A vinhaça foi concentrada a 65° Brix, por meio de rotaevaporador com controle de temperatura e vácuo. A água condensada, retirada da vinhaça, foi utilizada para a diluição do mosto. O tratamento empregado na usina para tratar a água, retirada de recurso hídrico próximo à unidade industrial, não foi informado. No entanto, é o mesmo realizado na maioria das usinas que consiste na aplicação de cloro para redução do pH, por certo período de tempo, em tanques de tratamento, diminuindo assim a carga microbiana (OLIVEIRA *et al.*, 2013) que vem na água de recursos hídricos próximos à indústria.

Para avaliar a qualidade da vinhaça tratada foi determinada a quantidade de sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez sulfúrica (g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> L<sup>-1</sup>), com a metodologia adaptada de CTC (2011) e contaminação (UFC mL<sup>-1</sup>), conforme metodologia que será detalhada nas análises microbiológicas na produção de etanol. Também foi verificado o odor, de forma simplificada, com aproximação dos líquidos perto da narina e foram estabelecidas três intensidades. Sem odor, quando não apresentava cheiro. Leve Odor, quando o cheiro do líquido era perceptível, entretanto, não desagradável. O último grau foi o desagradável em que o cheiro foi irritante para o olfato humano.

### Preparo do mosto, processo fermentativo e qualidade do vinho

Para a realização dos experimentos foi diluído o melaço coletado em usina da região de Ribeirão Preto de 82,5° Brix para 14° Brix, utilizando-se das águas advindas dos tratamentos empregados no ensaio. O pH do mosto foi corrigido para 4,5 com a adição de ácido sulfúrico (5 N). Em seguida, foram realizadas as análises de qualidade do mosto através da determinação da acidez total (CTC, 2011) e açúcares redutores totais (ART), de acordo com LANE & EYNON (1934).

Para o experimento, foi utilizada levedura prensada (*Saccharomyces cerevisiae*) na proporção de 30 g L<sup>-1</sup>. O fermento foi adicionado à erlenmeyers e utilizou-se de 100 mL do mosto para a primeira alimentação. As alimentações seguintes, com 100 mL de mosto, foram cronometradas de 15 em 15 minutos até atingir o volume total de 500 mL. Após 15 minutos da última alimentação foram retiradas amostras para a análise de viabilidade e contaminação inicial. Em seguida, os erlenmeyers foram levados para câmara incubadora B.O.D (Biochemical Oxygen Demand), com controle de temperatura a 32°C.

O final do processo fermentativo foi estabelecido em seis horas com medições da concentração de sólidos solúveis (densímetro manual – sacarímetro, com correção de temperatura). Em seguida, foram retiradas amostras do vinho para verificação da viabilidade e contaminação final. Logo após, o vinho levedurado foi armazenado em garrafas PET de 600 mL em ultrafreezer a -52°C, que se verificou ser temperatura que reduziu a atividade microbiana próxima a zero. No dia posterior, os frascos foram descongelados e se realizaram análises tecnológicas do vinho.

A análise de viabilidade foi realizada conforme Lee *et al.*, (1981) no início e no final da fermentação de todos os ensaios. Para verificar a contaminação foi realizada a contagem de colônias por plaqueamento em PCA, conforme RAVANELI *et al.*, (2011). A inoculação da placa foi realizada em câmara de fluxo laminar (Pa 50 Pachane), sendo em seguida, levada à estufa (Biopar). Após 48h, foi realizada a contagem dos micro-organismos totais. Para a contagem das colônias de bactérias, foi utilizada como ferramenta a lupa (Nova optical Systems XTS -20, Zoom Stereo Microscope).

No vinho obtido foram realizadas análises de sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez sulfúrica (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> g L<sup>-1</sup>), e Teor Alcoólico (%), ARRT, teor de fermento (%) e glicerol (%m/v 10<sup>-3</sup>), segundo CTC (2011). A quantidade de álcool produzido (mL) foi calculada levando-se em consideração a produção de vinho multiplicado pelo teor alcoólico obtido. Em seguida, foi realizado o cálculo de eficiência fermentativa (%) dividindo-se o álcool produzido pelo álcool teórico, segundo Fernandes (2006).

### Análise estatística dos resultados

Os resultados obtidos de cada estudo foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey (P≤0,05) (BARBOSA & MALDONADO, 2015).

### Resultados e Discussão

A água condensada da vinhaça concentrada apresentou o teor de sólidos solúveis próximo a 0, baixa contaminação, no entanto, comparado aos demais tratamentos positivos, o pH determinado foi baixo e a acidez elevada (Tabela 1). Essa quantidade de ácidos indica que, apesar da água condensada ser translúcida, compostos voláteis da vinhaça foram “carregados” para o líquido usado na diluição do mosto.

**Tabela 1.** Brix, pH, acidez sulfúrica e contaminação dos líquidos utilizados para o preparo do mosto de melaço para o experimento com evaporação da vinhaça.

Água de diluição	°Brix	pH	Acidez	Contaminação	Cheiro
			gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L	UFC/mL	
Vinhaça	5,0	4,73	4,99	30,5x10 <sup>-6</sup>	Desagradável
Água Deionizada	0	6,87	0	61x10 <sup>-3</sup>	Sem odor
Água cond. Vinhaça	0,01	3,07	1,96	32 x 10 <sup>-1</sup>	Desagradável
Água da Usina	0	7,48	0	4 x10 <sup>-1</sup>	Odor leve de cloro

Na (Tabela 2), se verifica que o tratamento com água condensada diminuiu em 71% a quantidade de ácidos encontrados no mosto de melão, ficando, ainda, além da quantidade encontrada no mosto de melão diluído com água deionizada e água tratada da usina.

**Tabela 2.** Análise de variância e teste de Tukey para os teores de acidez sulfúrica e açúcares redutores totais (ART) do mosto de melão diluído com vinhaça in natura, água condensada obtida da evaporação da vinhaça, água deionizada e água da usina.

Causas de variação	Acidez	ART
	gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L	(%)
Trat. Vinhaça (F)	613,7448**	9,1566**
Blocos	0,2551 <sup>ns</sup>	2,1678 <sup>ns</sup>
Vinhaça	7,55 A	9,83 B
Água condensada	4,41 B	10,83 A
Água deionizada	3,54 C	10,60 A
Água da Usina	3,48 C	10,78 A
CV	3,26	5,28

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Para o ART foi observado que a água condensada da concentração da vinhaça apresentou a mesma quantidade de açúcares redutores e em maior teor do que o tratamento com vinhaça in natura (Tabela 2). A vinhaça apresentou redução na quantidade de ART, pois no preparo do mosto para 14° Brix a vinhaça continha 5° Brix, formado principalmente por açúcares não fermentados e/ou in fermentescíveis (ALBULQUERQUE, 2011). A quantidade de sólidos solúveis é formada por açúcares (glicose, frutose e sacarose) e não açúcares (orgânicos e inorgânicos) (FERNANDES, 2011). Ou seja, na mesma concentração de sólidos do mosto, a quantidade de não açúcares foi maior no tratamento da vinhaça “in natura”.

Para a viabilidade inicial (Tabela 3), pode se verificar que o preparo do mosto com água condensada da vinhaça apresentou semelhança com água deionizada e de cloro da usina. O uso da vinhaça “in natura” reduziu a viabilidade inicial em média em 21% comparado aos demais tratamentos. No entanto, na viabilidade final, se verificou que não houve diferença significativa entre os tratamentos, com provável adaptação do fermento, conforme observado por PEREIRA (2009). A contaminação, inicial e final, não foi diferente estatisticamente e se apresentaram elevadas.

**Tabela 3.** Análise de variância e teste de Tukey para a viabilidade de células de leveduras e contaminação (bactérias e leveduras selvagens) durante o processo fermentativo utilizando-se do mosto de melão diluído com vinhaça in natura, água condensada obtida da evaporação da vinhaça, água deionizada e água da usina (tratada com cloro).

Causas de variação	Viabilidade	Viabilidade	Contaminação	Contaminação
	Inicial	Final	Inicial	Final
	(%)	(%)	(UFC x 10 <sup>7</sup> mL <sup>-1</sup> )	(UFC x 10 <sup>7</sup> mL <sup>-1</sup> )
Trat. Vinhaça (F)	14,0639**	0,7330 <sup>ns</sup>	1,9375 <sup>ns</sup>	0,6032 <sup>ns</sup>
Blocos	2,8396 <sup>ns</sup>	1,2840 <sup>ns</sup>	9,7246**	4,2645**
Vinhaça	76,65 B	88,06 A	42,00 A	9,53 A
Água condensada	90,69 A	89,35 A	52,25 A	21,00 A
Água deionizada	94,24 A	93,52 A	40,25 A	18,29 A
Água da Usina	92,34 A	87,12 A	37,75 A	50,50 A
CV	4,83	7,37	21,25	69,42

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Apesar da melhora em todos os atributos determinados para a água condensada em relação à vinhaça in natura, foi observado que a quantidade de sólidos solúveis encontrada no vinho, pós fermentação, foi semelhante entre os dois tipos de água de diluição (Tabela 4), influenciando na redução da produção de etanol e na eficiência fermentativa em comparação aos controles positivos.

O pH do vinho, da água condensada e da vinhaça in natura, praticamente não se alterou em comparação com o mosto original. Indicando que as leveduras não realizaram o processo fermentativo (Tabela 4). Com a realização da fermentação é natural que ocorra redução do pH, pois durante a fermentação são produzidos ácidos (BASSO et al., 2014).

A acidez permaneceu baixa, significativamente, na água condensada em relação à vinhaça in natura (Tabela 4), como observado no mosto (Tabela 2). No entanto, a acidez da água condensada da evaporação da vinhaça se igualou ao da água deionizada e usina (controles positivos), quando analisada no vinho (Tabela 4). Como a fermentação ocorreu naturalmente nos controles positivos, é justificado então

que o tratamento com água condensada da vinhaça tenha tido a fermentação inibida por algum componente, pois os ácidos tiveram pouco incremento em relação ao mosto (Valores da Tabela 2 e 4). Esse componente químico que foi evaporado juntamente com água não foi determinado, no entanto, se suspeita que possam ser também compostos fenólicos, pois a vinhaça in natura de modo geral apresenta elevada concentração dessa molécula (WILKIE *et al.*, 2000), que pode ter sido volatilizada e adicionada na água condensada. Os compostos fenólicos e elevados teores de ácidos orgânicos são importantes inibidores do processo fermentativo (RAVANELI *et al.* (2011).

**Tabela 4.** Análise de variância e teste de Tukey para os teores de sólidos solúveis (oBrix), pH, Acidez sulfúrica, teor alcoólico do vinho e eficiência fermentativa após o processo fermentativo que se utilizou do mosto de melação diluído com vinhaça in natura, água condensada obtida da evaporação da vinhaça, água deionizada e água da usina (tratada com cloro).

Causas de variação	°Brix	pH	Acidez (g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup> )	Teor Alcoólico (%)	Eficiência Fermentativa (%)	Glicerol (m/v) (10 <sup>-3</sup> )	ARRT	Teor de Fermento (%)
Trat. Vinhaça (F)	890,7616**	63,24**	398,87**	1731,03**	478,82**	33,96**	4,06*	9,25**
Blocos	4,3961*	0,06 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>
Vinhaça	10,0 A	4,54 A	7,89 A	1,41 B	26,73 B	0,27 B	0,99	3,00 C
Água condensada	9,8 A	4,50 A	5,09 B	1,51 B	23,91 B	0,17 B	0,68	3,25 BC
Água deionizada	3,67 B	4,33 B	5,01 B	5,80 A	93,83 A	0,90 A	0,49	5,5 A
Água da Usina	3,35 B	4,31 B	4,91 B	5,93 A	94,20 A	0,80 A	0,52	5,0 AB
CV	3,69	0,67	2,52	3,34	6,08	23,32	33,52	19,60

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05).

Para o teor de glicerol foi observado que houve redução em comparação aos tratamentos com controle positivo (Tabela 4), indicando a inibição de produção da biomolécula de proteção da levedura ao estresse. Nos tratamentos vinhaça in natura e a água condensada houve também menor teor de fermento, ocorrendo menor produção de biomassa.

O teor de etanol e a eficiência fermentativa foram muito baixos para a água condensada, comparada aos controles positivos (Tabela 4). Embora ocorresse a inibição da fermentação, a água condensada da vinhaça não deveria ser descartada como opção de tratamento da vinhaça para reuso como água de diluição. Mais estudos devem ser realizados para realizar tratamento adicional nesta água. A passagem por carvão vegetal poderia remover os ácidos ou compostos fenólicos que permaneceram. Outra opção seria da água condensada ser diluída com água potável para se tornar passível de ser utilizada no processo fermentativo.

#### Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, F. M. Processo de fabricação do açúcar. 3ª edição, Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011, 447p.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação Agronômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Joticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015, 396 p.
- BASSO, L. C.; BASSO, T. O.; ROCHA, S. N. **Ethanol Production in Brazil: The Industrial Process and Its Impact on Yeast Fermentation**. Disponível em: <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/20058.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2014.
- CARVALHO, T. C. **Redução do volume de vinhaça através do processo de evaporação**. Bauru, 2010. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.
- CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2011. Disponível em CD Rom.
- FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2ª Edição. Piracicaba, 2006, 240p.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana-de-açúcar**. 3ª Edição, STAB: Piracicaba, 2011, 416p.
- LEE, S. S.; ROBINSON, F. M.; WONG, H. Y. Rapid determination of yeast viability. **Biotechnology Bioengineering Symposium**, n. 11, 1981.
- MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, p. 64-78, 2006.
- MELLO, A. G. B. **Redução e reaproveitamento de água no processo de produção de etanol: um estudo de caso**. Piracicaba, 2012. Monografia (Programa de Pós-Graduação MTA em Gestão de Produção Industrial Sucroenergética), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.etanol.ufscar.br/trabalhos-mta/piracicaba-i-links/trabalhos/reducao-e-reaproveitamento-de-agua-no-processo-de-producao-de-etanol-um-estudo-de-caso>>. Acesso em: 04 de out. de 2015.
- OLIVEIRA, J. A.; GARBIN, J. R.; CÂMARA, C.; FRIGIERI, M. C.; MADALENO, L. L. Radiação ultravioleta no controle de micro-organismos na água de diluição e no mosto de melação. **STAB – Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 32, n. 1, p. 49-53, 2013.
- PEREIRA, T. J. **Estudo da utilização de vinhaça no preparo da cuba e na fermentação alcoólica**. Ribeirão preto, 2009. Dissertação (Mestrado), Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2009.
- RAVANELI, G. C. *et al.* Spittlebugs impacts on sugarcane quality and ethanol production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 2, p. 120-129, 2011.
- REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M.; Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas: um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu. **Revista de administração da UNIMEP**, v. 12, n. 3, p. 122-151, 2014. Disponível em: <[www.spell.org.br/documentos/download/33881](http://www.spell.org.br/documentos/download/33881)> Acesso em: 04 de out. de 2015.
- WILKIE, A. C.; RIEDESEL, K. J.; OWENS, J. M. Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feed stocks. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p.63-102, 2000.

## APLICAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL PARA TRATAMENTO DA VINHAÇA E USO DO FILTRADO NA FERMENTAÇÃO ETANÓLICA

Josiene Rocha Teixeira<sup>1</sup>, Nádia Figueiredo de Paula<sup>1</sup>, Patrick Allan dos Santos Faustino<sup>1</sup>, Leonardo Lucas Madaleno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fatec Nilo De Stéfani – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Jaboticabal-SP.

leonardo.madaleno@fatecjaboticabal.edu.br

### Resumo

O objetivo do presente estudo foi realizar o tratamento da vinhaça com carvão vegetal (utilizado como meio físico filtrante), obtido de resíduos da agroindústria da cana-de-açúcar (bagaço e palha) e observar o efeito no processo fermentativo do filtrado usado como água de diluição do mosto de melaço. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram: o uso do carvão vegetal feito de bambu, bagaço e palha para tratamento da vinhaça in natura, controle negativo (vinhaça in natura) e controle positivo (água deionizada), todos usados como água de diluição do mosto de melaço. Foram avaliados a qualidade do mosto, processo fermentativo e do vinho. No mosto não houve diferença entre o filtrado e a vinhaça in natura para acidez e ART. Para o vinho, foi observada diferença significativa para os filtrados em relação à vinhaça in natura para sólidos solúveis finais e ARRT (menores), teor alcoólico e eficiência fermentativa (maiores). Há a necessidade de realização de mais estudos para aprimorar o uso do carvão vegetal para tratamento da vinhaça, para posterior aplicação do filtrado no preparo de mosto.

**Palavras-chave:** bambu, palha, bagaço, melaço, subproduto, vinhoto.

### Summary

The aim of this study was taking treatment in nature vinasse with charcoal produced by sugar mills residues (bagasse and straw) and verifying the fermentative process with the filtrated vinasse used as molasses mash dilution water. Experimental design was randomized blocks with five treatments and three repetitions. The treatments were: charcoal made by bamboo, bagasse and straw for in nature vinasse treatment, negative control (in natura vinasse) and positive control (deionized water), all used as molasses mash dilution water. We evaluated mash, fermentation process and wine quality. There was no statistical difference between filtrated and in natura vinasse for TRS (total reducing sugars) and acidity in the mash. For the wine there was statistical difference for soluble solids and TRRS (total residual reducing sugars) (lower), alcohol quantity and fermentative efficiency (higher) between filtrated and in natura vinasse. More studies are need on how to improve use of charcoal in vinasse treatment, for reuse of filtrated in mash preparation.

**Keywords:** bamboo, straw, bagasse, molasses, byproduct, vinasse.

### Introdução

No preparo do mosto se necessita adequar a concentração de açúcares das matérias-primas para o processo fermentativo. O melaço, por ser resíduo da produção de açúcar, possui quantidade de carboidratos elevada, sendo necessário se utilizar de água para diluir (cerca de 3 a 4 partes de água para cada de melaço) para tornar o meio adequado para a realização do processo fermentativo (AMORIM *et al.*, 1996).

A vinhaça, obtida na proporção de 10 a 14 L para cada litro de etanol produzido (PEREIRA, 2009), poderia ser utilizada para ser a água de diluição do mosto. Porém, alguns estudos indicam que a vinhaça “in natura” é prejudicial ao processo fermentativo. O principal resíduo da produção de etanol precisa ser tratado para se recomendar a substituição da água de recursos hídricos. O tratamento com carvão vegetal poderia ser alternativo, porém foi pouco estudado.

O carvão de bambu é material com excelente capacidade de adsorção devido à alta porosidade e grande área superficial (TA-CHUNG *et al.*, 2008), e tem sido utilizado em diversas situações. Utilizando-o como meio filtrante em colunas de percolação, tem sido relatada a retenção de compostos orgânicos como trihalometanos, nitrato e inorgânicos como íons cloro e sulfeto, metais (Pb, Cu e Fe) e de microrganismos como coliformes termotolerantes e coliformes totais. MIZUTA *et al.* (2004) concluíram que, com o uso do carvão de bambu, é possível eliminar o nitrogênio nítrico da água, de maneira bastante eficiente.

Por outro lado, poderia ser utilizada matéria-prima da própria usina para produzir carvão como a palha e o bagaço. Para o carvão vegetal de bagaço e palha não foram encontrados estudos que demonstrassem quais tipos de substâncias poderiam ser removidas ou mesmo explorado o tratamento da vinhaça com esses carvões.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi realizar o tratamento da vinhaça com carvão vegetal (utilizado como meio físico filtrante), obtido de resíduos da agroindústria da cana-de-açúcar (bagaço e palha) e observar o efeito no processo fermentativo do filtrado usado como água de diluição do mosto de melaço.

### Material e Métodos

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram: o uso do carvão vegetal feito de bambu, bagaço e palha para tratamento da vinhaça in natura, controle negativo (vinhaça in natura) e controle positivo (água deionizada), todos usados como água de diluição do mosto de melaço.

O carvão vegetal de bambu foi elaborado previamente conforme DE AQUINO (2015). O bagaço e a palha de cana foram carbonizados a 250 °C por uma hora, seguida pelo mesmo tempo à 400 °C. Foram colocados inicialmente 52,62g de bagaço e 35,44g de palha. Ao final foram produzidos em média 17,52g do carvão de bagaço e 11,26g de carvão de palha. O processo foi repetido até possuir carvão suficiente para construção da coluna para filtração da vinhaça.



Foi construída coluna para filtração utilizando-se de coluna cromatográfica de 500mL com cada um dos três tipos de carvão. Foi adicionado algodão no final da coluna para o carvão não escapar no momento de filtrar. Em seguida, foi colocado carvão triturado e peneirado em malha de 35 mesh. Até 200mL (camada considerada filtrante). Nova camada de algodão foi inserida para não deixar o carvão se espalhar ao se adicionar a vinhaça. Por cima dessa camada de algodão foi colocado carvão parcialmente triturado até o volume de 350mL (camada considerada pré-filtrante). A seguir, foram colocados mais uma camada de algodão para não deixar o carvão espalhar no momento da aplicação da vinhaça.

A coluna foi acoplada num Kitassato de 500mL com rolha de cortiça e foi utilizado vácuo (660mm de Hg) para aumentar a velocidade do processo de filtração. Foram obtidos 1L de vinhaça filtrada que foi armazenada em geladeira a 8°C, para ser utilizada como água para preparo do mosto de melaço.

Para avaliar a qualidade da vinhaça tratada foi determinada a quantidade de sólidos solúveis (Brix), pH, acidez sulfúrica ( $\text{g H}_2\text{SO}_4 \text{ L}^{-1}$ ), com a metodologia adaptada de CTC (2011) e contaminação ( $\text{UFC mL}^{-1}$ ), conforme metodologia que será detalhada nas análises microbiológicas na produção de etanol. Também foi verificado o odor, de forma simplificada, com aproximação dos líquidos perto da narina e foram estabelecidas três intensidades. Sem odor, quando não apresentava cheiro. Leve Odor, quando o cheiro do líquido era perceptível, entretanto, não desagradável. O último grau foi o desagradável em que o cheiro ruim.

Para a realização dos experimentos foi diluído o melaço coletado em usina da região de Ribeirão Preto de 82,5° Brix para 14° Brix, utilizando-se das águas advindas dos tratamentos empregados no ensaio. O pH do mosto foi corrigido para 4,5 com a adição de ácido sulfúrico (5 N). Em seguida, foram realizadas as análises de qualidade do mosto através da determinação da acidez total e açúcares redutores totais (ART), de acordo com (CTC, 2011).

Para o experimento, foi utilizada levedura prensada (*Saccharomyces cerevisiae*) na proporção de 30 g  $\text{L}^{-1}$ . O fermento foi adicionado à erlenmeyers e utilizou-se de 100 mL do mosto para a primeira alimentação. As alimentações seguintes, com 100 mL de mosto, foram cronometradas de 15 em 15 minutos até atingir o volume total de 500 mL. Após 15 minutos da última alimentação foram retiradas amostras para a análise de viabilidade e contaminação inicial. Em seguida, os erlenmeyers foram levados para câmara incubadora B.O.D (Biochemical Oxygen Demand), com controle de temperatura a 32°C.

O final do processo fermentativo foi estabelecido em seis horas com medições da concentração de sólidos solúveis (densímetro manual – sacarímetro, com correção de temperatura). Em seguida, foram retiradas amostras do vinho para verificação da viabilidade e contaminação final. Logo após, o vinho levedurado foi armazenado em garrafas PET de 600 mL em ultrafreezer a -52°C, que se verificou ser temperatura que reduziu a atividade microbiana próxima a zero. No dia posterior, os frascos foram descongelados e se realizaram análises tecnológicas do vinho.

A análise de viabilidade foi realizada conforme LEE *et al.*, (1981) no início e no final da fermentação de todos os ensaios. Para verificar a contaminação foi realizada a contagem de colônias por plaqueamento em PCA, conforme RAVANELI *et al.*, (2011). A inoculação da placa foi realizada em câmara de fluxo laminar (Pa 50 Pachane), sendo em seguida, levada à estufa (Biopar). Após 48h, foi realizada a contagem dos micro-organismos totais. Para a contagem das colônias de bactérias, foi utilizada como ferramenta a lupa (Nova optical Systems XTS -20, Zoom Stereo Microscope).

No vinho obtido foram realizadas análises de sólidos solúveis (Brix), pH, acidez sulfúrica ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ g L}^{-1}$ ), e Teor Alcoólico (%), ARRT, teor de fermento (%) e glicerol ( $\text{m/v } 10^{-3}$ ), segundo CTC (2011). A quantidade de álcool produzido (mL) foi calculada levando-se em consideração a produção de vinho multiplicado pelo teor alcoólico obtido. Em seguida, foi realizado o cálculo de eficiência fermentativa (%) dividindo-se o álcool produzido pelo álcool teórico, segundo FERNANDES (2006).

Os resultados obtidos de cada estudo foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) (BARBOSA & MALDONADO, 2015).

## Resultados e Discussão

A obtenção do carvão vegetal de bagaço e palha de cana é semelhante ao obtido com outras plantas, pois durante a produção o rendimento gravimétrico ficou em média de 33,29% e 31,77% respectivamente. DE AQUINO (2015) obteve produção de carvão vegetal de bambu com rendimento de 33%.

Na percolação clássica de colunas não se utiliza o vácuo, pois o importante é haver o maior tempo possível de contato entre o carvão vegetal e o líquido que se quer fazer a remoção de compostos. No entanto, a vinhaça apresenta quantidade elevada de compostos orgânicos e inorgânicos que limitam a passagem somente com a força da gravidade. Para todos os tratamentos foi realizado auxílio de bomba de vácuo com 660mm de Hg para ajudar fazer a passagem do líquido pela coluna com carvão vegetal. Para a coluna de carvão de bambu a passagem da vinhaça foi mais demorada, em torno de 25 minutos para filtrar 20 mL, com pleno uso do vácuo (660 mm). Enquanto que nos resíduos da cana foi mais rápida, 3 minutos para filtrar 20 mL para o carvão de bagaço e de palha, com vácuo reduzido (100mg de Hg).

Com a metodologia empregada se verificou a remoção de compostos observada pela redução de Brix, acidez e diminuição do pH e contaminação para todos os tipos de carvões (Tabela 1). A contaminação foi reduzida em 100 vezes para o carvão vegetal de bambu, enquanto que, para os demais, houve apenas redução numérica de microorganismos totais para os carvões feitos com os resíduos da cana. O cheiro desagradável da vinhaça também foi removido por todos os tipos de carvões (Tabela 1). Entretanto, maior quantidade de atributos deve ser avaliada para verificar quais tipos de compostos específicos foram removidos durante a aplicação desta metodologia de filtração da vinhaça.

Na (Tabela 2) se observa que no preparo do mosto de melaço com a vinhaça tratada com carvão vegetal não se diferenciou da quantidade de acidez sulfúrica e ART da vinhaça in natura. A acidez da vinhaça tratada e in natura permaneceram em concentração elevada em mais de duas vezes comparado ao uso na diluição da água deionizada. Para os açúcares redutores totais do mosto a testemunha positiva (água deionizada) foi maior em 23% em relação aos líquidos que vieram da vinhaça. Apesar da verificação da eficiência no tratamento da vinhaça in natura pelo método do carvão vegetal, o mosto, estatisticamente, foi igual em todas as vinhaças tratadas com os tipos usados de carvões vegetais.

**Tabela 1.** Brix, pH, acidez sulfúrica, contaminação, e sensação do olfato (odor) dos líquidos utilizados para o preparo do mosto de melão para o experimento com uso de carvão vegetal.

Líquidos utilizados	Brix	pH	Acidez gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L	Contaminação UFC/mL	Odor
Vinhaça	5,0	4,35	4,72	50x10 <sup>6</sup>	Desagradável
Água Deionizada	0	6,5	0	11x10 <sup>3</sup>	Sem odor
Bambu	4,2	4,30	4,20	90x10 <sup>4</sup>	Sem odor
Bagaço	4,3	4,17	4,6	14x10 <sup>6</sup>	Leve odor
Palha	4,0	4,19	4,61	16x10 <sup>6</sup>	Leve odor

Leve odor: Odor levemente desagradável

**Tabela 2.** Análise de variância e teste de Tukey para os teores de acidez sulfúrica e açúcares redutores totais (ART) do mosto de melão diluído com vinhaça in natura, água deionizada e vinhaça filtrada por carvão vegetal de bambu, bagaço e palha.

Causas de variação	Acidez gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup>	ART (%)
Trat. Vinhaça (F)	107,2706**	41,8748**
Bloco	28,7471**	1,6174 <sup>ns</sup>
Vinhaça	5,89 A	8,73 B
Carvão de Bambu	5,87 A	9,05 B
Carvão de Bagaço	5,89 A	8,96 B
Carvão de Palha	5,85 A	8,97 B
Água deionizada	2,90 B	11,01 A
CV	4,22	2,69

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

Para a viabilidade celular de leveduras e na contaminação não houve diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 3). Isto indica que durante a fermentação, todos os líquidos, incluindo a testemunha positiva (água deionizada), permaneceram com os níveis elevados de viabilidade celular acima do recomendado por AMORIM *et al.* (1996) que é de 85%.

**Tabela 3.** Análise de variância e teste de Tukey para a viabilidade de células de leveduras e contaminação (bactérias e leveduras selvagens) durante o processo fermentativo utilizando-se do mosto de melão diluído com vinhaça in natura, água deionizada e vinhaça filtrada por carvão vegetal de bambu, bagaço e palha.

Causas de variação	Viabilidade Inicial (%)	Viabilidade Final (%)	Contaminação Inicial (UFC x 10 <sup>7</sup> mL <sup>-1</sup> )	Contaminação Final (UFC x 10 <sup>7</sup> mL <sup>-1</sup> )
Trat. Vinhaça (F)	1,0500 <sup>ns</sup>	1,6256 <sup>ns</sup>	0,7639 <sup>ns</sup>	1,9651 <sup>ns</sup>
Blocos	2,6572 <sup>ns</sup>	6,9027*	3,4874 <sup>ns</sup>	8,7611**
Vinhaça	92,81 A	93,10 A	32,67 A	25,66 A
Carvão de Bambu	92,76 A	91,52 A	34,67 A	36,33 A
Carvão de Bagaço	90,89 A	93,98 A	36,33 A	35,33 A
Carvão de Palha	93,74 A	94,79 A	38,33 A	30,00 A
Água deionizada	92,97 A	95,65 A	31,00 A	39,00 A
CV	1,92	2,30	16,61	19,91

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

Apesar de não haver diferença significativa para o mosto preparado e nas análises microbiológicas, nos atributos avaliados, foi verificado, para o vinho, diferença significativa para os tratamentos com carvão vegetal para o teor de sólidos solúveis finais, teor alcoólico e eficiência fermentativa em relação à vinhaça in natura (Tabela 4). Para a acidez sulfúrica foi observado que somente a água deionizada utilizada na diluição do mosto apresentou quantidade reduzida significativa em relação aos demais tratamentos.

A fermentação foi interrompida no tempo de 6 horas com o congelamento em ultrafreezer a -52 °C e antes que isso ocorresse, foi verificado o Brix final do processo fermentativo. Todos os tratamentos com carvão vegetal se apresentaram com a concentração de sólidos solúveis diferentes da vinhaça in natura. No entanto, o tratamento que apresentou menor teor de sólidos foi o com uso da água deionizada para diluição do mosto.

A vinhaça tratada com os carvões vegetais ficou acima em 2 vezes na quantidade observada de etanol à vinhaça in natura e em torno de 25% menor em relação à água deionizada. Isto indica que a metodologia de filtração com carvão vegetal da vinhaça in natura pode ser aprimorada, por exemplo, diluindo a vinhaça que irá percolar ou aumentar o tamanho da coluna. Como a limpeza realizada pelos resíduos da cana ocorreu com menor tempo e uso de vácuo, os mesmos se mostram promissores e necessitam de mais estudos para explorar o potencial reuso da água da vinhaça com o uso dessa metodologia.

O resultado, no entanto, mais surpreendente foi a eficiência fermentativa e ARRT que se mostraram semelhantes entre os filtrados e o controle positivo (água deionizada) (Tabela 4). Como no preparo do mosto foi padronizada a quantidade de sólidos solúveis para 14 em todos os tratamentos, se verificou que os líquidos tratados resultantes da vinhaça in natura, possuíam teor de açúcares redutores totais menores do que o tratamento com diluição com água deionizada (Tabela 4). Se o ART dos líquidos tratados fosse semelhante ao da água deionizada, a produção de etanol seria praticamente a mesma. O que pode ser estudado é aumentar a quantidade de Brix para que o ART aumente e se produza mais etanol com a vinhaça tratada com carvão vegetal de bambu, bagaço ou palha.

**Tabela 4.** Análise de variância e teste de Tukey para os teores de sólidos solúveis (Brix), pH, Acidez sulfúrica, teor alcoólico do vinho e eficiência fermentativa após o processo fermentativo que se utilizou do mosto de melaço diluído com vinhaça in natura, água deionizada e vinhaça filtrada por carvão vegetal de bambu, bagaço e palha.

Causas de variação	Brix	pH	Acidez (g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup> )	ARRT	Teor Alcoólico (%)	Eficiência Fermentativa (%)
Trat. Vinhaça (F)	800,8235**	2,7687 <sup>ns</sup>	52,8937**	35,09**	90,8027**	79,0034**
Blocos	2,8627 <sup>ns</sup>	23,9744**	10,9440**	28,45**	5,2812*	10,6249**
Vinhaça	10,00 A	4,52 A	6,39 A	2,81 A	2,08 C	40,75 B
Carvão de Bambu	7,17 B	4,47 A	6,16 A	1,05 B	4,12 B	77,98 A
Carvão de Bagaço	6,80 BC	4,44 A	6,59 A	1,16 B	4,25 B	81,14 A
Carvão de Palha	6,67 C	4,43 A	6,49 A	1,06 B	4,12 B	78,59 A
Água deionizada	4,00 D	4,37 A	3,84 B	0,89 B	5,23 A	81,43 A
CV	1,88	1,26	4,68	16,65	5,28	4,74

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05);

#### Referências Bibliográficas

- AMORIM, H.V.; BASSO, L.C.; ALVES, D.G. **Processos de produção de álcool –controle e monitoramento**. Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, 1996, 93p.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação Agrônômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015, 396 p.
- CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2011. Disponível em CD Rom.
- DE AQUINO, J. C. S. Produção e avaliação da qualidade do carvão de bambu. Trabalho de Graduação.Fatec, 2015. 30p.
- FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar, 2ª Edição**. Piracicaba, 2006, 240p.
- LEE, S. S.; ROBINSON, F. M.; WONG, H. Y. Rapid determination of yeast viability. **Biotechnology Bioengineering Symposium**, n. 11, 1981.
- MIZUTA, K.; MATSUMOTO, T.; HATATE, Y.; NISHIHARA, K.; NAKANISHI, T. Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 3, p. 255, 2004.
- PEREIRA, T. J.; **Estudo da utilização de vinhaça no preparo da cuba e na fermentação alcoólica**. 2009, 126f. Dissertação. Pós-graduação em tecnologia ambiental do centro de ciências exatas, naturais e tecnologias. Universidade de Ribeirão Preto, Campus de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto. 2009.
- RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 2, p. 120-129, 2011.
- TA-CHUNG, A.; CHIN-NA, L.; CHANG-HSUAN, C.; CHAO-HUEI, L.; PEI-TI, H. Thermal retention performance and gas removal effect of bamboo charcoal/pet blended fibers. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v. 47, p. 895–901, 2008.

**FLOCULANTES ORGÂNICOS NO TRATAMENTO DO CALDO DE CANA**

Gustavo Henrique Gravatin Costa<sup>1</sup>; Cristhyane Millena de Freitas<sup>2</sup>; Franciele Quintino Mendes<sup>2</sup>; Vitor Teixeira<sup>2</sup>; Marcia Justino Rossini Mutton<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Biomassa e Bioenergia, Central de Laboratórios em Pesquisa, Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Sagrado Coração, Bauru-SP,

<sup>2</sup>Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool, Departamento de Tecnologia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal-SP

*gustavo.costa@usc.br*

**Resumo**

Este trabalho objetivou avaliar a ação coagulante do tanino presente na casca da árvore acácia negra, e da proteína 2S-Albumina presente nas sementes da moringa, no caldo de cana. Para isso realizou-se em escala de laboratório, a clarificação do caldo extraído da variedade de cana CTC4, que foi filtrado, caledado até pH7,0, fervido até ebulição, e disposto em sistema de decantação aquecido por lâmpadas, onde dosou-se 4 floculantes. Após 40 minutos em repouso, o caldo clarificado foi recuperado por sifonação e caracterizado. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (floculante sintético comercial, floculante orgânico comercial, extrato de sementes de moringa e testemunha) e 4 repetições. Observou-se que os auxiliares de sedimentação promoveram precipitação das impurezas, com destaque para o polímero sintético e o extrato de sementes de moringa. Não houve remoções de açúcares do caldo. Somente a concentração de ácidos orgânicos presentes no caldo foi afetada pela utilização de floculantes. Desta maneira, conclui-se que o processo de clarificação se utilizando extrato de moringa como auxiliar de sedimentação apresenta resultados satisfatórios quando comparado ao uso de polieletrólito sintético.

**Palavras-chave:** caleagem simples, *moringa oleifera* Lamarck, polieletrólito sintético, acácia-negra, 2S-Albumina

**Summary**

This study aims to evaluate the coagulating action of tannin in black wattle bark, and 2S-albumin protein the seeds of Moringa in sugar cane juice. The work was carried out on a laboratory scale, with clarification of the liquid extracted from sugarcane variety of CTC4, which was filtered, limed to pH 7.0, boiled and disposed in decanting system heated by lamps, in which were dosed-4 flocculants. After 40 minutes of settling, the clarified broth was recovered through siphoning and characterized. The experimental design was completely randomized with 4 treatments (commercial synthetic flocculant, commercial organic flocculants, moringa seed extract and witness) and 4 repetitions. It was observed that sedimentation aids promoted precipitation of impurities, especially the synthetic polymer and moringa seed extract. There was no juice sugar removal. Only the concentration of organic acids present in the juice was affected by the use of flocculants. Thus, we concluded that the clarification process using moringa extract as sedimentation aid produces satisfactory results when compared to the use of synthetic polyelectrolyte.

**Keyword:** simple defecation, *moringa oleifera* Lamarck, polyelectrolyte synthetic, black wattle, 2S-Albumine

**Introdução**

O setor de tratamento de caldo destaca-se nas unidades sucroenergéticas por remover elevada quantidade de compostos que afetam negativamente a qualidade do açúcar produzido, assim como o desempenho do processo fermentativo para a produção de etanol. Admite-se que esta etapa define o tipo de açúcar a ser produzido: Cristal Branco, VHP, VVHP ou Demerara; sendo que a coloração do cristal diminui em função da intensidade do tratamento proposto.

Para todos os tratamentos de caldo utilizados pelas unidades industriais, são adicionados juntamente com o caldo caledado e aquecido, polieletrólito sintético aniônico (polímero), que reage com os coágulos de fosfatos de cálcio, formando flocos de elevado peso e densidade que sedimentam rapidamente. Este insumo, assim como novos equipamentos implementados pelas usinas, possibilitou a redução do tempo de retenção do decantador de 3 para 1 hora.

O polímero é constituído por moléculas de acrilamida parcialmente hidrolisadas, com peso molecular acima de 10<sup>7</sup>KDa. Entretanto a acrilamida apresenta ações neurotóxicas, cancerígenas, assim como afeta a fertilidade em humanos (OMS, 2002). Considerando-se os efeitos deste produto, alguns países, como os Estados Unidos, delimitaram dosagens máximas de 5mg/L de caldo, durante o tratamento do caldo de cana ou de beterraba açucareira (GPO, 2012). Neste sentido, observa-se ainda que clientes vem exigindo certificação de isenção de resíduos de acrilamida no açúcar obtido.

Desta maneira faz-se necessário a busca por floculantes alternativos que apresentem as propriedades do polímero, porém sejam seguros a manipulação e consumo por humanos. Entre estes, destacam-se os floculantes obtidos a partir de produtos naturais, tais como a acácia negra, hibiscos e a moringa oleifera.

O floculante natural de acácia negra é o único produto disponível comercialmente no mercado brasileiro. Este é obtido a partir da casca da planta *Acacia mearnsii*, que contém taninos condensados, cujos elementos constituintes são os flavonoides resorcinol, pirogallol e catechol (BELGACEM; GANDINI, 2008), que conferem uma característica catiônica ao produto (MANGRICH et al., 2010).

Além deste, deve-se destacar a *Moringa oleifera* Lamarck, que por conter a proteína 2S-Albumina em suas sementes, que apresenta peso molecular entre 7-14 KDa, apresenta características floculantes (ULLAH et al., 2015). Esta é amplamente utilizada no tratamento de água

para o consumo humano por países da África, bem como a Índia e o nordeste brasileiro, uma vez que remove impurezas em suspensão presente no líquido e microorganismos contaminantes (FREIRE *et al.*, 2015).

Desta maneira, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho do tratamento de caldo utilizando-se auxiliares de sedimentação orgânicos.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool e Microbiologia das Fermentações da FCAV/UNESP, campus Jaboticabal-SP, na safra 2014/2015. Utilizou-se colmos provenientes da variedade de cana-de-açúcar CTC4, colhidos no período útil de industrialização, sem queima prévia da palha. Deve-se destacar que esta variedade é uma das mais cultivadas na região atualmente.

As sementes de moringa foram obtidas de planta adulta cultivada no Horto florestal na FCAV/UNESP. O floculante sintético comercial (FSC) utilizado foi o Kemira AX3L, e o floculante orgânico comercial (FOC) foi o extrato de Acácia Negra cedido pela empresa Acqua-sugar®.

Para preparo do extrato de sementes de moringa (ESM), imergiu-se as sementes trituradas em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,1mol/L, na proporção de 1g de semente para 100g solução. A mistura ficou em agitação por 10 minutos seguida de filtração a vácuo, utilizando-se papel de filtro qualitativo para retenção das partículas grosseiras insolúveis, conforme descrito por OKUDA *et al.* (2001). A dosagem utilizada foi de 1300mg/L (obtida em ensaios preliminares).

O caldo foi recuperado através de extração em moenda de um terno, sendo posteriormente filtrado em algodão. Este foi caracterizado quanto ao Brix, Pol, Pureza, pH, Turbidez, Cinzas Solúveis, Fosfatos (CTC, 2009) e Compostos Fenólicos Totais (FOLIN; CIOCALTEU, 1927).

A seguir, o caldo extraído foi ajustado à 16° Brix com água deionizada, e pH à 7,0±0,2 com leite de cal 6°Bé, sendo posteriormente aquecido até ebulição. O caldo aquecido foi transferido para sistema de decantação controlado por lâmpadas, onde dosou-se os floculantes nas dosagens: 1,5mg/L FSC, 10mg/L FOC e 1300mg/L ESM (todas determinadas em ensaios preliminares), além de tratamento testemunha (sem adição de floculantes).

Após 40 minutos em repouso, o caldo clarificado (sobrenadante) foi recuperado por sifonação e submetido as análises de Brix, Pol, Pureza, pH, Turbidez, Cor, Cinzas Condutimétricas, Fosfato (CTC, 2009) e Compostos Fenólicos Totais (FOLIN; CIOCALTEU, 1927). A partir dos resultados obtidos para o caldo extraído e clarificado, calculou-se a porcentagem de remoção de turbidez, cor, cinzas, fosfatos e compostos fenólicos totais. Deve-se destacar que durante o tempo de retenção, avaliou-se a velocidade de sedimentação das impurezas e o volume de lodo formado no fundo do decantador (CTC, 2009).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (FSC, FOC, ESM e Testemunha) e 4 repetições. Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas segundo teste de Tukey (5%).

### Resultados e Discussões

Na (Tabela 1) estão apresentados os valores obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez Total, Fosfatos Totais, Cinzas Totais, Compostos Fenólicos Totais, Cor e Turbidez do caldo extraído da variedade CTC4. Observa-se que esta encontrava-se em seu período útil de industrialização, uma vez que apresentou Pol e Pureza superiores a 14% e 85% respectivamente, além de Acidez Total inferior a 0,8g/L, parâmetros estes considerados referências para liberação de área para corte (FERMENTEC, 2009).

Cabe destacar ainda que a matéria-prima apresentava concentração de fosfatos ideais para o processamento industrial, superior a 300mg/L, valor ideal para eficiente tratamento do caldo (HONIG, 1969). Considerando-se a cor do caldo, pode-se inferir que esta varia em função da variedade de cana processada, uma vez que COSTA *et al.* (2014) determinaram teores de 15.000UI para SP83-2847 e RB855156, e MADALENO (2010) observou valor entre 30.000-40.000UI para a SP80-1842.

**Tabela 1.** Valores obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez Total, Fosfatos Totais, Cinzas Totais, Compostos Fenólicos

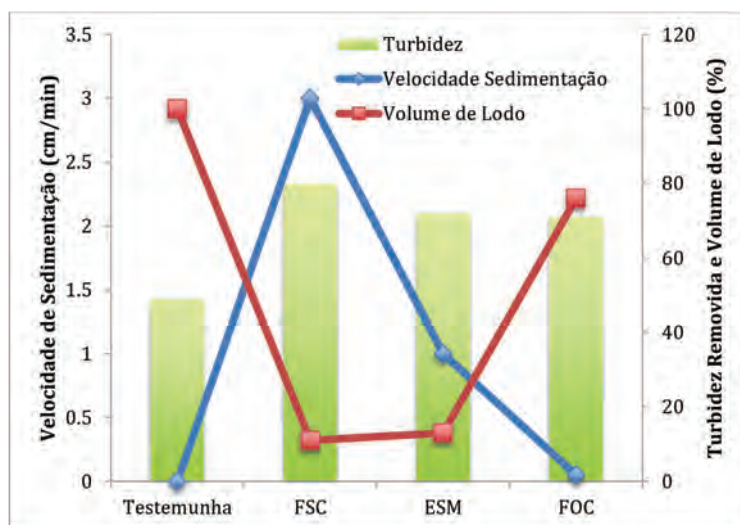
Brix	24,0°
Pol	21,79
Pureza	88%
pH	5,0
Acidez Total	0,79g/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Fosfatos	445mg/L
Cinzas Condutimétricas	0,49%
Compostos Fenólicos Totais	492mg/L
Cor	35.729UI
Turbidez	508NTU

UI – Unidades ICUMSA. NTU – Unidades Nefelométricas de Turbidez

Na (Figura 1) estão apresentados os valores obtidos para velocidade de sedimentação, volume de lodo e porcentagem de turbidez removidos no processo de clarificação do caldo extraído da variedade CTC4. Observa-se que o FSC promoveu sedimentação de impurezas 3 e 6 vezes mais rápido do que o ESM e FOC respectivamente. Entretanto, deve-se destacar que o volume de lodo e a turbidez removida foram similares entre o FSC e o ESM. Desta maneira pode-se inferir que embora o extrato de moringa demore mais tempo para precipitar as impurezas, o resultado no final é similar ao polímero sintético. É importante mencionar que os resultados obtidos para o FSC são similares

aos determinados por COSTA *et al.* (2014) e Madaleno (2010), sendo que não há na literatura dados para se comparar com os flocculantes orgânicos.

**Figura 1.** Valores médios obtidos para Velocidade de Sedimentação, Volume de Lodo e Turbidez Removida do caldo clarificado com flocculante sintético comercial (FSC), extrato de sementes de moringa (ESM) e flocculante orgânico comercial (FOC). Variedade CTC4. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.



Na (Tabela 2) estão representados os valores obtidos para os açúcares presentes no caldo clarificado com diferentes flocculantes. Observa-se que os flocculantes, assim como o tratamento testemunha, não interferem sobre a quantidade de açúcar presente no caldo clarificado. Embora HONIG (1969) aponta que o tratamento de caldo por caleagem simples não remove açúcares do caldo, este resultado deve ser ressaltado, pois demonstra que o auxiliar de sedimentação não reage, adsorve ou arrasta estes carboidratos para o fundo do decantador.

**Tabela 2.** Valores médios obtidos para Velocidade de Sedimentação, Volume de Lodo e Turbidez Removida do caldo clarificado com flocculante sintético comercial (FSC), extrato de sementes de moringa (ESM) e flocculante orgânico comercial (FOC). Variedade CTC4. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Brix	Pol	Pureza
Testemunha	16,5	15,3	86,18
FSC	16,8	15,6	86,37
ESM	16,5	15,0	84,85
FOC	16,3	15,6	87,03
DSM	0,8	1,89	5,66
CV	2,48	5,86	3,13
Teste F	1,17ns	0,37ns	0,5ns

ns = não significativo; DMS (5 %) = Desvio Mínimo Significativo. CV = Coeficiente de Variação.

Após quantificação dos açúcares, o próximo passo foi caracterizar a capacidade de remoção de biomoléculas presentes no caldo, que podem afetar negativamente a qualidade do açúcar produzido. Neste sentido avaliou-se a porcentagem de remoção de acidez total, fosfatos, compostos fenólicos totais, cinzas e cor do caldo clarificado (Tabela 3). Verifica-se que todos os tratamentos promoveram reduções similares para os parâmetros fosfatos, cinzas, compostos fenólicos e cor. Desta maneira, pode-se inferir que a remoção destas biomoléculas independe da utilização de auxiliares de sedimentação. Este comportamento também foi relatado por Costa *et al.* (2014), que estudando o processo de clarificação do caldo das variedades SP83-2847 e RB855156, determinaram reduções significativas de cor e fenóis totais do caldo clarificado em relação ao extraído.

Entretanto, cabe destacar que a não utilização de flocculantes, pode remover até 13% a menos de ácidos presentes na matéria-prima. Embora os ácidos podem não apresentar reflexos diretos sobre a qualidade do açúcar, estes podem ficar retidos no melão e, quando submetidos ao processo de fermentação, são interferentes diretos sobre a viabilidade de células, índice de brotamentos e viabilidade de brotos da levedura (CAMOLEZ; MUTTON, 2005).

**Tabela 3.** Valores médios obtidos para porcentagem de remoção de fosfatos, cinzas, compostos fenólicos totais, cor e acidez total do caldo clarificado com floculante sintético comercial (FSC), extrato de sementes de moringa (ESM) e floculante orgânico comercial (FOC). Variedade CTC4. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Fosfatos	Cinzas	Compostos Fenólicos Totais	Cor	Acidez Total
	% de remoção				
Testemunha	34	31	20	70	57b
FSC	37	32	28	70	65AB
ESM	35	31	25	69	70A
FOC	37	33	29	71	68AB
DSM	13,75	20,50	19,69	13,67	10,9
CV	18,04	30,29	36,13	9,24	7,97
Teste F	0,19ns	0,04ns	0,77ns	0,13ns	4,22*

ns = não significativo; \* = significativo ao nível de 5 %; letras maiúsculas comparam as médias na coluna. DMS (5 %) = Desvio Mínimo Significativo. CV = Coeficiente de Variação.

### Conclusão

O polieletrólito sintético é mais eficaz para a rápida precipitação de impurezas.

O processo de clarificação utilizando-se extrato de moringa como auxiliar de sedimentação apresenta resultados satisfatórios quando comparado ao uso de polieletrólito sintético.

### Referências Bibliográficas

- BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. Monomers, **Polymers and Composites from Renewable Resources**. Elsevier: Amsterdam, 2008.
- CAMOLEZ, M. A.; MUTTON, M. J. R. Influência de microrganismos contaminantes sobre o processo fermentativo. **STAB-Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 23, n.5, 2005.
- COSTA, G. H. G.; MASSON, I. S.; ROVIERO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Reflexos do processamento de cana-de-açúcar bisada na qualidade do açúcar VHP. **Boletim do Centro de Processamento de Alimentos**, v.32, n.2, 2014.
- CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. Manual de métodos de análises para açúcar. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 2009.
- FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The Journal of Biological Chemistry**, v.73, n.2, p. 627-50, 1927.
- FREIRE, J. E., VASCONCELOS, I. M.; MORENO, F. B.; BATISTA, A. B.; LOBO, M. D.; PEREIRA, M. L.; LIMA, J. P.; ALMEIDA, R. V.; SOUSA, A. J.; MONTEIRO- MOREIRA, A. C.; OLIVEIRA, J. T.; GRANGEIRO, T. B. Mo-CBP3, an antifungal chitin-binding protein from *Moringa oleifera* seeds, is a member of the 2S albumin family. **PLoS One**, v.10, n.3, 2015.
- GPO - U.S. Government Printing Office. **Food and Drug Administration - Subpart A - Polymer Substances and Polymer Adjuvants for Food Treatment**. Disponível em: <<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title21-vol3/pdf/CFR-2012-title21-vol3-sec173-10.pdf>>. Acesso em: 15/04/2016.
- HONIG, P. **Princípios de Tecnologia Azucareira**. v.1. Companhia Editorial Continental: Mexico, 1969.
- MADALENO, L.L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido**. 2010. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010. <sup>[1]</sup>
- MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A.S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, v.6, n.1, 2013.
- OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v.35, n.3, 2001.
- OMS – Organização Mundial da Saúde. Consecuencias sanitarias de las presencia de acrilamida en los alimentos. OMS. Ginebra, 2002.
- FERMENTEC. Qualidade da cana e seu impacto na indústria. In: RIPOLI, T. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2 ed. Ed. dos autores: Piracicaba, 2009.
- ULLAH, A.; MARIUTTI, R.B.; MASOOD, R.; CARUSO, I.P.; COSTA, G.H.G.; FREITA, C.M.; SANTOS, C.R.; ZANPHORLIN, L.M.; MUTTON, M.J.R.; MURAKAMI, M.T.; ARNI, R.K. Crystal structure of mature 2S albumin from *Moringa oleifera* seeds. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.468, 2015.

## EVAPORADOR DE TUBO LONGO EVTL - UMA INTERESSANTE ALTERNATIVA PARA EVAPORADORES DE CALDO DE CANA.

Marcelo Paes Fernandes

Engenheiro Mecânico, PUC-RJ, Sócio da Fourteam Engenheiros Associados Ltda

*marcelo@fourteam.com.br*

### Resumo

O objetivo deste trabalho é relatar o desenvolvimento do projeto de um evaporador de caldo com máxima eficiência térmica e mínima perda de açúcar por inversão. Os modelos mais usuais de evaporadores empregados na indústria canavieira brasileira são os Roberts e os multireboilers, que não satisfazem a esses requisitos. O desafio foi projetar um modelo de evaporador que privilegiasse essas características antagônicas, máxima eficiência térmica e mínima perda de sacarose. O evaporador desenvolvido atendeu todas as premissas de projeto, com robustez, fácil operação e oferecendo máxima segurança para os operadores.

**Palavras-chave:** Múltiplas calandras, evaporador EVTL, perda de açúcar, disposição satélite.

### Summary

The purpose of this paper is to report the development of the design a juice evaporator with maximum thermal efficiency and minimum sugar losses by inversion. The most common types of evaporators used by Brazilian sugar cane industry are Roberts and multireboilers, which do not meet these requirements. The challenge was to design an evaporator type that give preference to these antagonistic characteristics, maximum thermal efficiency and minimum sucrose losses. The evaporator developed met all design assumptions, with robustness, easy operation and offering maximum safety for operators.

### Introdução

Cálculos teóricos, baseados em medições de pH, brix, temperatura e tempo de retenção, sugerem que a degradação de sacarose em evaporadores de múltiplos efeitos pode alcançar até 1%, sendo que a maior parte dessa perda ocorre nos dois primeiros efeitos. Mais recentemente, devido à necessidade de reduzir o consumo de vapor de processo para aumentar a geração de energia elétrica resultou em instalar mais efeitos com mais evaporadores, agravando esses aspectos. Por fim, a geometria do evaporador Roberts, o mais usual nas usinas, concorre para reter volumes consideráveis de caldo, aumentando o tempo de residência do caldo.

Baseado nessas observações, buscando minimizar os efeitos negativos de perda de açúcar e otimizar a operação de evaporadores, foi desenvolvido um evaporador de tubo longo montado em disposição satélite em um mesmo efeito. Tal concepção permite paralisar qualquer corpo para limpeza, sem afetar a operação, maximizar a segurança do pessoal e principalmente minimizar a inversão de sacarose com alta eficiência térmica.

### Métodos

A evaporação de caldo é uma importante operação unitária nos processos de produção de açúcar e etanol. Na produção de açúcar, a evaporação tem basicamente três objetivos: proporcionar xarope com concentração adequada entre 65 ° Brix e 70 ° Brix para os cozedores na fábrica de açúcar, permitir extrair vapores dos efeitos de evaporação para aquecimento e elaboração de cozimentos e, por fim, reduzir o consumo de vapor de escape no processo mediante o uso de pelo menos cinco efeitos de evaporação. Na produção de etanol, a evaporação tem motivos similares: proporcionar caldo com concentração de açúcares adequados para a fermentação, a fim de obter um vinho fermentado com teor de álcool ao redor de 10° GL e fornecer vapor vegetal para proporcionar aquecimento e destilação.

Quando a produção de etanol é realizada simultaneamente com a de açúcar, o mais comum é utilizar apenas um efeito de evaporação para concentrar o caldo para a fermentação. Dependendo da proporção da mistura açúcar-etanol, a evaporação de caldo até a destilaria pode não ser necessária. Para uma destilaria autônoma pode-se utilizar dois ou incluso três efeitos de evaporação, caso se deseje reduzir o consumo de vapor de escape no processo com a finalidade de maximizar a geração de energia, por exemplo, mantendo, o caldo em um limite de concentração máxima.

Na busca de um evaporador que permitisse baixo tempo de retenção de caldo, com baixa potência instalada e elevado coeficiente de transferência térmica, se desenvolveu um equipamento baseado no evaporador Kestner de película ascendente e também nos evaporadores multi-calandras. Os principais parâmetros para seu desenvolvimento foram o fluxo de caldo por tubo, o coeficiente de transmissão de calor, o diferencial de temperatura entre a calandra e o corpo e, por fim, a geometria dos tubos. A ideia emprestada dos multi-calandras permite alternar as mesmas para um seguro sistema de limpeza mecânica, mantendo-as em sua máxima transferência de calor.

### Resultados e Discussão

Entre os tipos de evaporadores, os mais utilizados na indústria canavieira são: Roberts, de película descendente (falling film) e os evaporadores multireboilers. Os evaporadores Roberts são os mais usuais entre todos, seguido por múltiplos reboilers e pelos evaporadores de película descendente. Tanto Roberts como o evaporador de múltiplos reboilers são evaporadores de tubo curto e de fluxo ascendente com circulação natural, ou seja, o caldo se alimenta na parte inferior da calandra e se eleva de forma natural no banco de tubos até a parte superior da mesma. Dado que o evaporador de película descendente tem tubos longos e fluxo descendente, é alimentado com caldo na parte superior da calandra e até abaixo do banco de tubos.

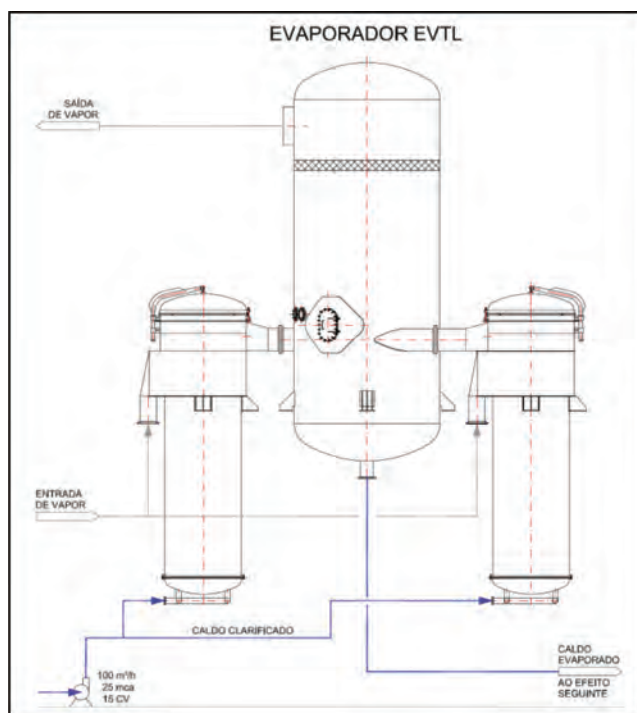
Cada tipo tem vantagens e desvantagens. O de película descendente, por exemplo, tem um bom coeficiente de transferência de calor e requer menor espaço de instalação, porém, é necessário recircular o caldo para alcançar altos coeficientes e, portanto, demandam maior consumo de eletricidade. Ainda que o evaporador Roberts tenha a vantagem de não requerer a recirculação de caldo, porém, requer mais



espaço para a instalação e apresenta coeficiente de transferência de calor mais baixo que o de película descendente. O evaporador de múltiplos reboilers basicamente tem as mesmas vantagens e desvantagens do Roberts, mas tem a vantagem adicional de não apresentar espaço confinado para os responsáveis pela limpeza dos tubos, garantindo a segurança do pessoal. Também requer menos superfície em standby, em geral uns 66% mais baixo que Roberts.

Em busca de um evaporador que maximizasse as vantagens e minimizasse as desvantagens relatadas e com o fim de satisfazer as necessidades do mercado se desenvolveu um evaporador de tubo longo - EVTL, muito similar aos evaporadores Kestner. O desenvolvimento contou com a importante colaboração do renomado ex-decano da Faculdade de Tecnologia de Açúcar da Universidade Estadual de Luisiana, USA, autor do livro Engenharia da Cana de Açúcar, Dr. Peter Rein. O projeto proposto permite a instalação de quatro ou mais evaporadores de tubo longo em um único tanque separador de arraste. Não se deve confundir o evaporador EVTL desenvolvido com o evaporador de múltiplos reboilers. Em evaporadores de múltiplas calandras, como o nome implica, cada satélite funciona como refeedor. Tal equipamento sempre está referveando líquido em seu interior, seja em um refeedor de coluna de destilação, ou de um evaporador. O refeedor tem uma conexão com o tanque separador tanto na parte inferior na fase líquido e a parte superior na fase mista de vapor-líquido, pelo que o refeedor permite a recirculação do líquido. O EVTL desenvolvido permite apenas uma passagem do líquido através do banco de tubos. O caldo é alimentado individualmente em cada evaporador na parte inferior, sobe pelo banco de tubos e a mistura vapor-caldo é recolhida na parte superior por um tubo que alimenta a mistura a um tanque para separar as fases líquida e vapor. Na (Figura 1) se ilustra um esquema do evaporador EVTL.

Figura 1. Evaporador EVTL



O evaporador EVTL conserva as características positivas de vários tipos de evaporadores utilizados atualmente nas plantas açucareiras, destacando-se:

Não contempla espaço confinado para limpeza mecânica da calandra tubular, resultando em maior segurança para o pessoal; Requer menor superfície em standby para limpar o equipamento; em evaporação de caldo para produzir etanol em um só efeito, por exemplo, se a área requerida é de 3.000 m<sup>2</sup>, é usual instalar dois Roberts 3.000 m<sup>2</sup>, com 100 % da superfície em espera, ou três de 1.000 m<sup>2</sup>, com 33% da área em modo de espera. Caso se utilize o multi-EVTL, a área total a ser instalada será de 4.000 m<sup>2</sup>, quatro evaporadores de 1.000 m<sup>2</sup>, com apenas 25% da zona em standby.

O coeficiente de transferência de calor é da ordem de 2.5 kW/m<sup>2</sup>/°C, valores compatíveis com evaporadores de película descendente, suficiente para satisfazer a maior taxa de evaporação de 30 kg / h / m<sup>2</sup>

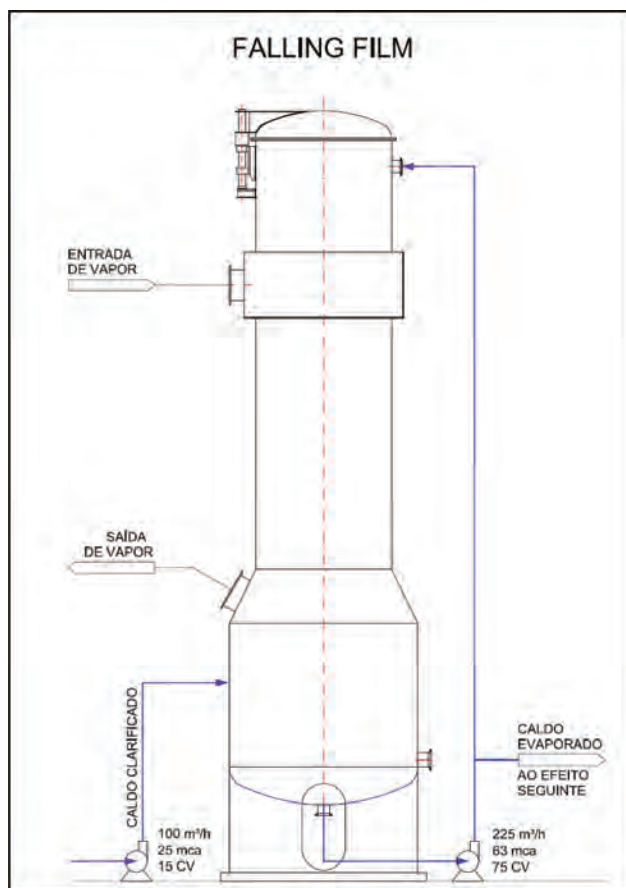
Requer menos espaço para instalação que os evaporadores de múltiplas calandras, para uma mesma superfície térmica, já que os tubos do EVTL têm muito maior comprimento e, portanto, os corpos dos evaporadores EVTL tem um diâmetro menor.

Diferentemente dos modelos múltiplas calandras existentes, o caldo evaporado do EVTL não necessita ser bombeado ao efeito seguinte de evaporação, já que o tanque separador pode ser instalado a uma altura suficiente para fluir caldo através do sifão. Porém, existe também a opção de bombear o caldo, reduzindo a altura do tanque elevado, implicando em custo adicional para a estrutura de suporte. Nesse caso, a potência requerida para bombear o caldo do EVTL é muito menor que a potência requerida no evaporador de película descendente, onde além de bombeio do caldo ao efeito seguinte, também é necessário bombear com mais pressão e fluxos maiores. A potência de

bombeamento necessária, tanto para Roberts quanto para EVTL, é cinco vezes menor que em evaporadores falling film, devido à taxa de recirculação requerida de 2,25 vezes o fluxo de entrada e a pressão nos bocais é 6.0 bar.

Na (Figura 2) se apresenta um esquema com as diferentes potências de bombeio.

**Figura 2.** Falling Film



Por último, há que se destacar que a duração média de permanência do caldo no sistema EVTL é menos de 3 minutos, que representa uma grande vantagem frente a outros modelos de evaporadores.

O EVTL tem taxa de evaporação superior aos evaporadores múltiplos refeedores instalados nas usinas brasileiras. Vários deles reportam que evaporadores, operando como 1º efeito, apresentam taxa de evaporação entre 22 e 25 kg / h / m<sup>2</sup>. Os evaporadores EVTL são projetados para funcionar a uma taxa de 35% a 55% mais alta, entre 30 e 34 kg / h / m<sup>2</sup>. É importante destacar que a taxa de evaporação depende da diferença de temperaturas entre o vapor utilizado na calandra e a do caldo em ebulição. Mas é um feito que o EVTL tem uma maior taxa de transferência de calor do vapor para o caldo, permitindo que possa operar com uma diferença de temperatura inferior, enquanto mantém uma boa relação de evaporação. Em resumo, pode-se operar um 1º efeito com uma pressão de vapor vegetal adequada para seu uso na destilação, especialmente se é utilizado aquecimento indireto com a intenção de reduzir a produção de vinhaça e recuperação de condensados ao processo.

Os evaporadores de tubo longo são utilizados há tempos na indústria do açúcar com excelente coeficiente de transferência de calor, mas estes dispositivos só podem ser utilizados como primeiro e segundo efeitos de uma série de evaporação. Como os tubos tem de 7 a 9 m de comprimento e os evaporadores são tipo película ascendente (rising film), a viscosidade do caldo acima de 35 ° Brix torna impraticável o uso de EVTL a partir do 3º efeito.

O Ingenio San Carlos, no Equador, foi pioneiro em utilizar EVTL como primeiro efeito em um quádruplo efeito. O projeto prevê dois conjuntos de quatro evaporadores EVTL de 1.250 m<sup>2</sup>, totalizando superfície total de 10.000 m<sup>2</sup>. Como um único evaporador EVTL se encontrará em limpeza, a superfície em espera representa apenas 12,5% da superfície total. Os evaporadores EVTL do Ingenio San Carlos têm as seguintes características de projeto:

**CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO:**

- Posição: primeiro efeito
- Vapor de alimentação: 2,4 bara, 140° C
- Vapor gerado: 1,8 bara, saturado
- Fluxo de caldo a entrada: 105 t / h
- Temperatura do caldo a entrada: 115° C
- Brix do caldo a entrada alimentado: 12%
- Brix do caldo evaporado: 20%

**CONDIÇÕES DE RENDIMENTO DO PROJETO:**

- Coeficiente de transferência de calor máximo: 2,97 kW / m<sup>2</sup> ° C
- Coeficiente de transferência de calor de projeto: 1,98 kW / m<sup>2</sup> ° C
- Taxa de evaporação do projeto: 33,9 kg / h / m<sup>2</sup>
- Vapor gerado: 42 t / h

O rendimento real do EVTL instalado no Ingenio San Carlos, que entrou em operação em junho de 2011, se apresenta a seguir:

**Brix médio do caldo a entrada: 11.71%**

**Brix médio do caldo a saída: 19.5%**

**Rendimento de limpeza: cada 12 a 14 dias**

O EVTL do Ingenio San Carlos opera com caldo clarificado sulfitado, com pH entre 6,8 e 7,0. Tendo em conta o período de operação do equipamento sem limpeza, de 12 a 14 dias, San Carlos obteve, a performance do evaporador foi qualificada como muito boa. Caso se reduza a campanha de limpeza, o EVTL pode funcionar com uma taxa de evaporação média por cima da corrente. O evaporador EVTL é um equipamento simples, de fácil operação e automatização básica, sem sofisticação.

Um fator muito importante no projeto de um evaporador de tubo longo é o fluxo de caldo em cada tubo. Se o fluxo é menor que o projeto, a velocidade do caldo é mais baixa e o coeficiente global de transferência de energia também será mais baixo, já que o coeficiente de transferência de calor do lado interno do tubo está diretamente relacionado com a velocidade do caldo. Em caso inverso, se o fluxo é maior, a perda de pressão do caldo no tubo será alta e a formação de fluxo bifásico caldo-vapor se verá comprometida. Uma redução de 20% no fluxo de caldo em cada tubo resultará uma redução do 20% no coeficiente de transferência de calor e na taxa de evaporação. Para compensar esse efeito prejudicial, seria necessário aumentar em 25% a área requerida, para obter a mesma quantidade de vapor gerado no evaporador, a esse mesmo fluxo de caldo. O desenvolvimento do EVTL considerou a otimização dos parâmetros de fluxo nos tubos e a geometria do tubo, com o fim de maximizar a velocidade de transferência de calor, o que aumenta as taxas de evaporação, alcançando mais altas que as que prevalecem em evaporadores de película descendente.

A medida que o fluxo de caldo por tubo é um fator importante no rendimento do EVTL, também é importante a distribuição uniforme de caldo nos tubos, fator considerado em seu projeto. Foi desenvolvido um sistema de alimentação de caldo para alcançar uma distribuição ótima do caldo ao longo da secção transversal do evaporador, de maneira a assegurar que todos os tubos recebam a mesma quantidade de caldo, com pouca variação de fluxo em função da posição do banco de tubos.

Não menos importante para o funcionamento ótimo do EVTL é o nível operacional de líquido nos tubos. O equipamento desenvolvido está projetado para funcionar com um nível de caldo que pode ir de 5% a 15% da altura da calandra, sem controle de nível. Portanto, a maior parte da superfície de aquecimento do evaporador funciona com fluido bifásico, caldo e vapor, enquanto se mantém uma velocidade adequada deste fluido de duas fases, que ajuda a reduzir a sujeira e mantém uma alta taxa de transferência de calor.

Outro ponto de destaque do projeto é a eliminação de recirculação de caldo evaporado que sai pelos tubos na parte superior da calandra. O espelho e o sistema de coleta de caldo evaporado estão projetados para impedir o retorno de caldo nos tubos, reduzindo assim a ocorrência de incrustações e o rendimento do evaporador.

As perdas de açúcar por inversão em evaporadores estão diretamente relacionadas com a temperatura, Brix e pH do caldo e com o tempo de retenção, que é função da geometria. Simultaneamente, ocorre acentuado aumento de cor do caldo, por essas mesmas causas. Tais efeitos ocorrem com mais intensidade nos dois primeiros efeitos.

Nas (Figuras 3 e 4) se verificam os efeitos do aumento da temperatura do caldo e da redução de pH, ambos verificados em um segundo efeito de um conjunto evaporador, estudo conduzido pelo Sugar Milling Research Institute (SMRI) da África do Sul.

**Figura 3.** Cálculo da inversão relativa do segundo efeito da evaporação caso operado em diversas temperaturas. (Temperatura normal = 104 °C; pH = 6.1 - 6,3 e inversões a 104 °C = 0,16%)

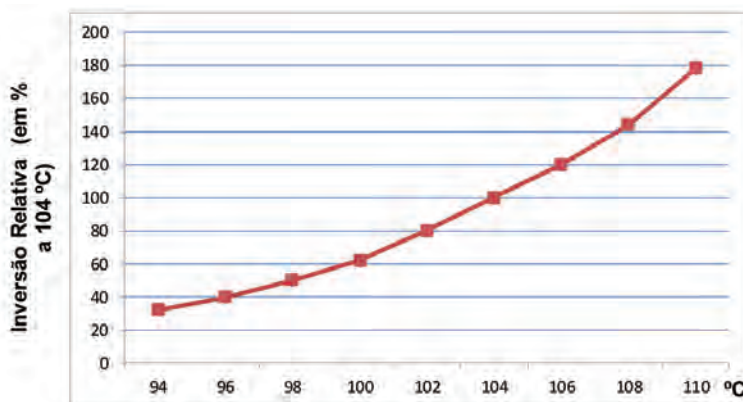
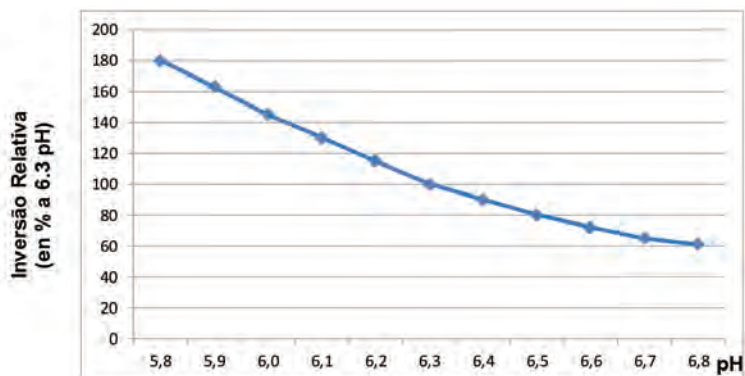


Figura 4. Cálculo da inversão relativa do segundo efeito da evaporação caso operado em diversos pH's (pH normal (a 22°C) = 6,3, inversão normal = 0,16%)



Estudos conduzidos pelo Dr. Ross Broadfoot do Sugar Research Institute (SRI) da Austrália confirmaram aumento de aproximadamente 4 vezes para as perdas de sacarose quando se compara múltiplos efeitos eficientes frente aos ineficientes. Devido às características geométricas dos evaporadores Roberts, esses apresentam maior volume de caldo por unidade de superfície térmica que os evaporadores EVTL. Tipicamente, nos Roberts tal volume está entre 8 a 10 litros por m<sup>2</sup>, enquanto que nos EVTL a variação é de 6 a 8 litros por m<sup>2</sup>. Como consequência, o EVTL apresenta menor retenção de caldo por tubo quando é comparado ao Roberts. É importante ressaltar que quanto maior for a eficiência térmica da evaporação, ou seja, menor consumo de vapor, maior será o tempo de retenção. As (Figuras 5 e 6) demonstram claramente o efeito do aumento de superfície térmica em um quádruplo efeito.

Figura. 5

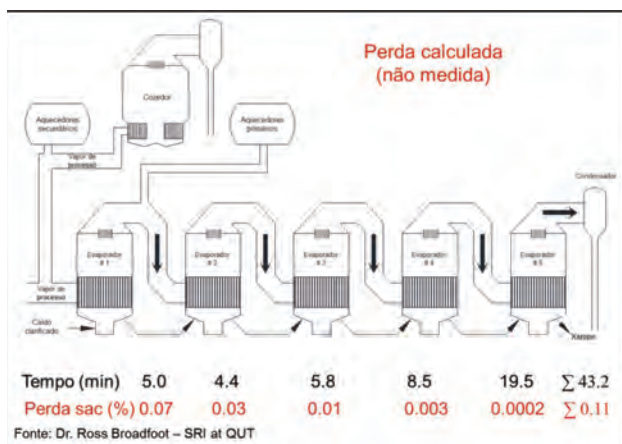
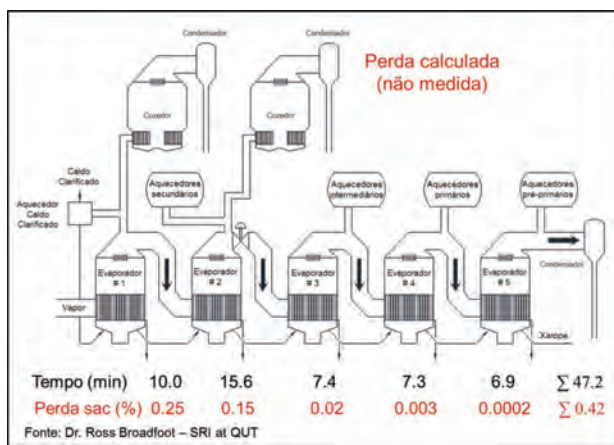


Figura. 6



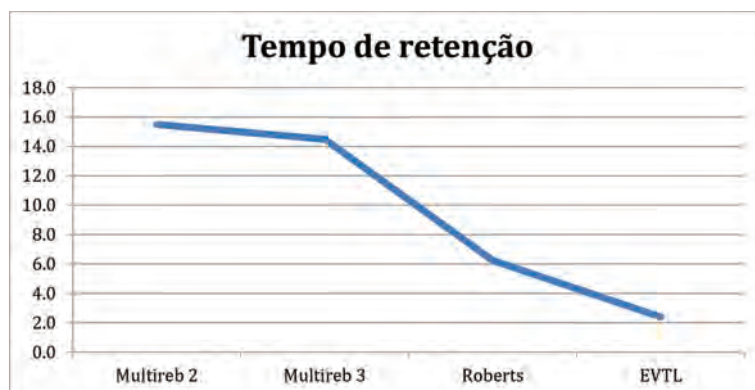
Na (Tabela 1) são comparados os tempos de retenção entre os evaporadores Roberts, multireboilers e EVTL, todos com a mesma superfície térmica equivalente. Os multireboilers são os que apresentam maior tempo de retenção, cerca de 15 minutos, contra 6 minutos nos Roberts e menos de 2,5 minutos nos EVTL.

**Tabela 1.** Comparação entre tipos de evaporadores

Tipo evaporador	Multireb 2	Multireb 3	Roberts	EVTL
Tipo circulação de caldo	Reboiler	Reboiler	Chapman	Única
Quantidade	8	8	3	8
Quantidade evaporadores em operação	6	6	2	6
Ø externo dos tubos (mm)	38,1	38,1	38,1	38,1
Quantidade de tubos (u)	2.350	2.350	8.960	1.500
Comprimento dos tubos (mm)	4.460	4.460	3.500	7.000
Nível caldo % altura tubo	50,0%	33,0%	33,3%	15,0%
Altura de caldo nos tubos (mm)	2.230	1.472	1.167	1.050
Volume retido nos tubos (m <sup>3</sup> )	5,0	3,3	9,9	1,5
Tipo do fundo	Toriférico	Toriférico	Toriférico	Toriférico
Volume do fundo (m <sup>3</sup> )	3,92	3,92	21,2	2,48
Volume do tanque de flash (m <sup>3</sup> )	16,9	16,9	0	0
Volume retido (m <sup>3</sup> )	25,8	24,1	31,2	4,0
Vazão de caldo entrando (t/h)	100	100	300	100
Vazão de caldo entrando (t/min)	1,7	1,7	5,0	1,7
Tempo de retenção (min)	15,5	14,5	6,2	2,4
Superfície térmica nominal (m <sup>2</sup> )	1.250	1250	3.750	1.250
Superfície térmica em operação (m <sup>2</sup> )	7.500	7.500	7.500	7.500

O gráfico da (Figura 7) apresenta claramente os tempos de retenção do caldo pelo multireboiler até os EVTL, passando pelos Roberts.

**Figura 7.** Tempo de retenção



### Conclusões

O projeto do evaporador desenvolvido buscou agrupar as vantagens encontradas em outros tipos de evaporadores, a fim de proporcionar às usinas açucareiras uma tecnologia ainda inexplorada. O EVTL é o resultado de (qualificativo) projeto de um equipamento de alta eficiência quanto a transferência de calor, com baixas taxas de incrustações, fácil operação e, finalmente, com automatização fácil para arrancar e parar qualquer dos evaporadores satélites para a limpeza. Por outro lado, o EVTL não é recomendável para aplicação nos últimos efeitos de um múltiplo efeito devido à alta viscosidade do caldo e do xarope.

### Agradecimentos

Agradecimento especial ao Dr. Peter Rein, autor do livro Engenharia da Cana de Açúcar, pela contribuição no desenvolvimento do evaporador EVTL. Agradecimento ao Ingenio San Carlos, Equador, em especial ao Eng. Manuel Aguilar, Superintendente Industrial e a todos do departamento técnico que participaram na instalação e operação.

### Referências Bibliográficas

- BROADFOOT, Ross: **Sugar Research Institute**, 2006  
 B. S. PURCHASE, C. M. J. DAY-LEWIS and K. J. SCHAFFLER; **A comparative study of sucrose degradation in different evaporators**, 1987  
 REIN, PETER: **Engenharia da Cana de Açúcar**, ed. 2008

## APLICAÇÃO DE ALFA AMILASE NO PROCESSO E RESIDUAL ZERO DE ENZIMA NO AÇÚCAR

\*Rafael de Araújo Borges, Danilo Tostes de Oliveira, Jadyr Mendes de Oliveira, Diego Francis Gonçalves Oliveira.

\*Prozyn

*rafael.kaeato@prozyn.com.br*

### Resumo

O uso de alfa amilases na fabricação de açúcar tem sido feita com sucesso para redução de amido no processo de produção. Essa redução traz benefícios para o açúcar como maior qualidade, e ao processo como melhoria na recuperação de sacarose. Porém, as enzimas convencionais geram um problema que é o residual de enzima no açúcar, o que limita o seu uso para alimentos em que o amido está presente na fórmula. Esse estudo teve como objetivo a comparação da eficiência de uma nova enzima com a de uma enzima convencional na redução de amido e a capacidade de deixar residual de enzima no açúcar final. Os resultados confirmaram em cada período de teste um teor de amido no açúcar inferior a 50 mg/kg, e um residual de enzima de 0,0 mg/kg em 100% das amostras analisadas, quando usada a nova enzima.

**Palavras-chave:** enzimas, alfa amilase, residual, amido, açúcar.

### Summary

The use of alpha amylases in sugar production for starch reduction it's been made successfully. This reduction brings benefits such as improved sugar quality and better sucrose recovery. However, conventional enzymes cause an issue that is the enzyme residual in the final sugar, which limits its use in food products that have starch in its formula. This study has as objective the comparison of the efficiency of a brand new enzyme and the conventional enzyme, in terms of starch reduction in the final sugar. Results confirmed in each test period that the final sugar starch content was low than 50 mg/kg and the enzyme residual was 0,0 mg/kg in 100% of the analyzed samples, when brand new enzyme were used.

**Keywords:** enzymes, alpha amylases, residual, starch, sugar.

### Introdução

A aplicação de enzimas do tipo alfa amilase no processo de fabricação para redução do teor de amido no açúcar tem sido uma prática crescente no Brasil. A eficiência desta aplicação para esta finalidade está plenamente confirmada, com significativa redução do teor de amido no açúcar, e a relação custo/benefício desta prática tem apresentado resultados positivos (OLIVEIRA *et al*, 2007; FAVERO, 2011).

A maior complicação normalmente encontrada estava associada à presença de residual de enzima no açúcar, limitando a utilização deste açúcar em aplicações industriais nas quais o produto final apresentava amido na sua formulação. Nestes casos, o reflexo imediato associado ao residual de enzima presente no açúcar é a desestabilização do produto acabado (AQUINO, 2009).

O objetivo deste trabalho foi testar a atuação de uma nova geração de alfa amilase que apresenta a característica de ser inativada algum tempo após a sua atuação nas moléculas de amido, e desta forma não deixar nenhuma presença de enzima residual ativa no açúcar produzido.

### Material e Métodos

#### Aplicação industrial

Os testes em escala industrial foram conduzidos em uma usina do estado de São Paulo, que tem moagem de 2,3 milhões de toneladas de cana por ano.

Esta usina foi escolhida pelo fato de ser produtora de açúcar bruto, tipo VVHP, e que tradicionalmente já realizava a aplicação de enzimas termo resistentes convencionais em seu processo.

Durante o período de testes os resultados obtidos com a nova enzima foram comparados aos obtidos com a utilização de uma alfa amilase convencional.

Os testes foram conduzidos por um período de 90 dias, ficando estabelecida a realização em cada um dos turnos diários de trabalho análises de amido e residual de alfa amilase.

Observação: algumas interrupções de moagem por motivos pontuais de ocorrência de chuva nos períodos indicados acima foram de curta duração e não comprometeram ou invalidaram a condução dos testes.

#### Nova Enzima

A nova alfa-amilase testada nesse trabalho tem a característica que ao ser adicionada ao caldo de cana hidrolisa, ao acaso, ligações  $\alpha$ -1,4-glicosídicas, reduzindo a concentração de amido no caldo e por consequência no açúcar. Devido a um princípio de ação exclusivo desenvolvido na sua concepção, este produto realiza sua função sem deixar nenhum residual de enzima no açúcar.

A nova enzima é um produto GRAS (Generally Recognized as Safe), e está de acordo com as especificações recomendadas pela Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) e Food Chemical Codex (FCC), como sendo um tipo de enzima adequado ao uso nos segmentos de produtos com grau alimentício (food grade).

O produto, que é totalmente solúvel em água, atua em temperaturas elevadas (95 – 110°C), pH entre 5,0 e 7,5, e possui uma cinética intrínseca exclusiva que permite a ação total das enzimas nos primeiros minutos da decantação do caldo de cana, sendo estas inativadas alguns minutos (~20 min) após o início de sua atuação.

### Programa de testes

A dosagem de enzima praticada foi a mesma nos três períodos de testes citados, variando entre 15 e 30 g/t de açúcar, com adição direta na última caixa de dosagem, antes dos aquecedores, em temperaturas entre 60 e 105 °C e com pH em torno de  $7,0 \pm 0,2$ .

Amostras diárias compostas do açúcar produzido eram coletadas e posteriormente enviadas ao Departamento da Faculdade de Engenharia de Alimentos - Unicamp, para determinação do teor de enzima residual.

As amostras de açúcar coletadas nos diferentes períodos do teste e enviadas para determinação de residual de enzima receberam codificação individualizada e criptografada visando impedir qualquer associação entre a amostra e o tipo de teste em andamento.

Durante o período de testes foram também realizadas na própria usina análises adicionais de monitoramento de teor de amido em alguns produtos intermediários do processo como caldo misto, caldo clarificado e xarope, assim como a determinação diária do teor de amido no açúcar.

### Resultados

As determinações do teor residual de enzima no açúcar foram realizadas pela FEA – Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Unicamp, utilizando metodologia desenvolvida internamente para detecção de pequenas quantidades de enzimas no açúcar (FIGUEIRA, 2009).

A (Tabela 1) mostra, de forma condensada, os valores médios obtidos durante o período de teste, sendo as médias dos testes 1 e 3 correspondentes ao período de aplicação da enzima convencional, e a média do teste 2 referente ao período de aplicação da nova enzima.

**Tabela 1.** Média dos resultados mensais no período de teste

Testes	CALDO MISTO			CALDO CLARIFICADO			XAROPE			AÇÚCAR	
	BRIX	TURBIDEZ	AMIDO	BRIX	TURBIDEZ	AMIDO	BRIX	TURBIDEZ	AMIDO	AMIDO	ENZ. RESIDUAL
Média	%	NTU	mg/kg	%	NTU	mg/kg	%	NTU	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Teste 1	14,3	621	211	13,6	248	52	58,8	214	249	49	0,07
Teste 2	14,9	566	249	13,8	247	50	59,0	196	207	40	0,00
Teste 3	11,4	653	234	13,1	291	62	59,3	246	241	46	0,06

Além das determinações dos teores de residual de enzima no açúcar, foram também determinados os resultados de Brix, amido e turbidez, indicados na (Tabela 1), tendo como objetivo adicional extrair o máximo de informações possível durante o período de testes.

### Amido % Brix

Os resultados de amido foram obtidos através de metodologia desenvolvida pelo CTC (2011), descritos na (Tabela 1), foram convertidos para a mesma base Amido % Brix, e estão indicados na (Tabela 2).

**Tabela 2.** Teores de Amido % Brix em caldos e xarope

Tabela 2 – Teores de Amido % Brix em caldos e xarope

Período de testes	Amido % Brix		
	Caldo Misto	Caldo Clarificado	Xarope
Teste 1	1474	383	424
Teste 2	1671	361	352
Teste 3	2056	475	407

A análise destes resultados permite realizar os seguintes comentários:

- A cana processada no período de testes mostrou um perfil regular quanto ao teor de amido presente no caldo.
- É bem conhecido que no processo tradicional de tratamento do caldo, considerando apenas a ação da alfa amilase natural presente no caldo de cana, já ocorre uma redução do teor de amido da ordem de 40 - 50% (redução pela metade).
- A acentuada redução do teor de amido entre caldo misto e caldo clarificado encontrada indica claramente o efeito adicional da aplicação das enzimas tipo alfa amilase, uma vez que estas enzimas eram aplicadas na caixa de calagem, antes do decantador. Este efeito adicional explica a redução do teor de amido ter sido da ordem de 4 vezes.
- Não eram esperadas diferenças entre os resultados de amido % Brix do caldo clarificado e xarope e os resultados confirmaram esta expectativa.

### Turbidez % Brix

Em relação aos resultados de Turbidez % Brix, também obtidos através de metodologia do CTC (2005), a análise dos dados apresentados na (Tabela 3) permite destacar duas observações:

**Tabela 3.** Turbidez % Brix em caldos e xarope

Período de testes	Turbidez % Brix		
	Caldo Misto	Caldo Clarificado	Xarope
Teste 1	4336	1827	364
Teste 2	3806	1786	332
Teste 3	5737	2216	416

Uma redução significativa de turbidez entre o caldo misto e o caldo clarificado é esperada em qualquer processo convencional de clarificação do caldo de cana.

Todavia, em função da particularidade de cada processo produtivo, da qualidade da matéria prima, dentre outros fatores, não se tem um indicador bem definido e único de quanto é a redução da turbidez esperada.

A segunda observação que chamou a atenção foi a expressiva redução observada entre a turbidez do caldo clarificado e a turbidez do xarope, uma vez que a evaporação é uma etapa do processo cujo objetivo exclusivo é a eliminação de água.

Ficam aqui registrados apenas os resultados obtidos no período de testes, uma vez que não há informações suficientes que permitam qualquer associação (direta ou indireta) entre a turbidez do xarope e a aplicação de enzimas no processo, sinalizando assim a necessidade de maiores estudos sobre o tema.

#### Consumo de enzimas

Durante o período de testes procurou-se também associar o consumo das duas enzimas utilizadas com o teor de amido no açúcar. Os resultados medidos estão indicados na (Tabela 4).

**Tabela 4.** Teor de amido no açúcar x consumo de enzimas

Testes	Amido%Brix no xarope	Amido no açúcar	Consumo de enzima
	mg/kg	mg/kg	g/TC
Teste 1	424	49	1,30
Teste 2	352	40	2,29
Teste 3	407	46	2,65

Todavia, a ocorrência de chuvas no período, desvio de mel para a destilaria, controle semanal e não diário do consumo de enzimas, dosagem de segurança para compensar um maior teor de amido nos períodos de chuva, etc., impediram a obtenção de uma correlação direta entre estas duas variáveis.

Observação: Na última semana do período de teste (Teste 2) com aplicação da nova enzima alfa amilase foi realizada uma elevação proposital da dosagem praticada, passando de 1,80 a 3,00 gramas/TC, buscando “forçar” o aparecimento de eventual residual de enzima no açúcar. Entretanto, os valores mais elevados do 3º período de testes estão associados com as interrupções imprevistas do processo.

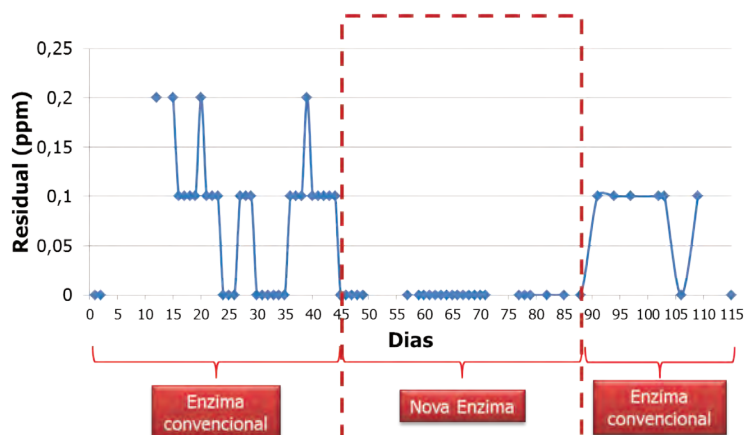
#### Residual de enzimas no açúcar

Conforme já citado anteriormente o trabalho teve como objetivo principal avaliar o impacto da aplicação da nova enzima no processo e verificar a premissa básica de não se encontrar nenhum residual desta mesma enzima no açúcar final.

Os resultados do teor de residual de enzimas no açúcar são apresentados na (Tabela 1). Para melhor visualização, a (Figura 1) reproduz de forma mais detalhada os resultados medidos em amostras compostas da produção diária de açúcar, durante os 03 meses de testes.



Figura 1. Resultados de residual de enzima durante o período de testes



Os dados mostram a ocorrência ocasional de residual zero de enzima no açúcar mesmo durante a utilização da enzima convencional. Este fato não surpreende, uma vez que ao passar o caldo pelo pré-evaporador deveria ocorrer a inativação da enzima pelo efeito da temperatura (115°C).

Um ponto importante a ser registrado é que isto não aconteceu em 100% dos casos, facilmente explicável pela variabilidade do tempo de residência do caldo no interior do pré-evaporador, indicando assim que somente esta “barreira” não é garantia suficiente de eliminação de qualquer residual de enzima no açúcar final.

Por outro lado, durante o período de aplicação da nova enzima, em 100% dos resultados o residual de enzima no açúcar foi zero. Neste período não se poderia, em nenhuma hipótese, encontrar qualquer valor positivo de residual de enzima no açúcar e os resultados confirmaram esta premissa.

Observação: Mesmo na semana em que se elevou a dosagem da nova enzima citada anteriormente, não se verificou a presença de residual de enzima no açúcar VVHP produzido (ver Figura 1).

É importante acrescentar ser uma prática regular do laboratório da FEA, que em cada determinação do teor residual de enzima no açúcar é também realizada uma comparação paralela em relação a uma amostra controle, de eventual ocorrência de liquefação e/ou alteração da viscosidade da amostra em teste (FIGUEIRA, 2009).

Para cada certificado emitido com residual zero de enzima no açúcar acompanha os seguintes comentários:

**“Após aquecimento da mistura a 80°C**

A mistura de reação preparada com as amostras de açúcar 17/08/15; 18/08/15; 19/08/15; 20/08/15; 21/08/15; 22/08/15; 23/08/15 apresentaram viscosidade similar ao tubo controle.

**Após resfriamento à temperatura ambiente**

A mistura de reação preparada com as amostras de açúcar; 17/08/15; 18/08/15; 19/08/15; 20/08/15; 21/08/15; 22/08/15; 23/08/15 apresentaram viscosidade similar ao tubo controle.

**Conclusão**

A amostra de açúcar não causou a liquefação do amido da mistura de reação.”

Uma primeira apresentação destes resultados positivos obtidos ocorreu no evento 16º SBA – STAB /2015 (BORGES, 2015).

**Conclusão**

Os resultados obtidos no período de testes com a nova enzima são consistentes o suficiente para suportar os seguintes comentários: Nenhuma das 90 amostras coletadas e analisadas no período de teste com a nova enzima deu resultado positivo quanto a residual de enzima no açúcar (Figura 1);

Esta constatação associada a outros estudos já realizados (CARRASQUE, 2015) reforçam a tese desta enzima específica ser realmente inativada ao longo do processo convencional de fabricação de açúcar;

A constatação de efeitos adicionais associados a ações de enzimas tipo alfa amilase na redução de turbidez dos produtos intermediários do processo em benefício da qualidade do açúcar necessitam maiores investigações;

Soluções de Bioengenharia que trazem inovações tecnológicas devem ser respeitadas e adotadas quando devidamente fundamentadas. Os dados obtidos nos testes realizados confirmam ser viável a aplicação da nova enzima na produção de açúcar cristal em geral.

**Referências bibliográficas**

- AQUINO, F. W. B. **Dextranas em açúcares e aguardentes de cana**. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2009.
- BORGES, R. A. Remoção de amido sem residual de alfa amilase no açúcar. 15º SBA - A Usina da Sobrevivência – SBA/STAB, 2015.
- CARRASQUE, O. R. Usina exemplar. 15º SBA - A Usina da Sobrevivência – SBA/STAB, 2015.
- CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. **Determinação de amido em açúcar por espectrofotometria** – CTC – LA – MT1 – 018, 2011.
- CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. Determinação de turbidez em materiais intermediários do processo - CTC - **ASBC- Methods of Analysis**, 7th Edition, 1976, Formazin Turbidity Standards, 2005.
- FAVERO, D. M. **Clarificação do caldo de cana-de-açúcar pelo processo de carbonatação**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011.
- FIGUEIRA, J. A. Determinação e caracterização de amido em cana de açúcar e adequação de metodologia para determinação de  $\alpha$ -amilase em açúcar bruto. **Unicamp** – Universidade Estadual de Campinas, 2009.
- OLIVEIRA, D.T.; Esquiaveto, M. M. M.; Silva Júnior, J. F. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos** 27: 99-102. 2007.

## AVALIAÇÃO DO AÇÚCAR COMERCIAL POR GRANULOMETRIA E FILTRABILIDADE

Luan Maia de Araújo<sup>1</sup>; Maíra Raelly Lira Azevedo<sup>1</sup>; Larissa Cavalcanti de Souza Medeiros<sup>1</sup>; Lean Carla da Cruz Xavier<sup>1</sup>; Erika Adriana de Santana Gomes<sup>2</sup>; Solange Maria Vasconcelos<sup>2</sup>; Pablo Nogueirateles Moreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente – Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira/CTDR/UFPB

<sup>2</sup>Docente – Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira/CTDR/UFPB

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional – CTDR

Campus I - Unidade Lynaldo Cavalcanti (Mangabeira VII)

CEP: 58058-600 - João Pessoa - PB - Brasil.

*erikaasgomes@hotmail.com*

### Resumo

A produção de açúcar de qualidade depende de vários fatores dentre eles: matéria-prima, solo e condições de processamento. O açúcar é um alimento, porém algumas etapas da produção são subestimadas, acarretando no comprometimento da qualidade e da quantidade de cristais. O controle da cristalização do açúcar é realizado com relação à granulometria do tamanho médio dos cristais (AM) e a sua uniformidade (CV). O objetivo desse estudo foi avaliar qualitativamente o açúcar comercial (açúcares cristal, demerara e VHP), quanto à regularidade dos cristais através da análise granulométrica e a filtrabilidade. A realização desse estudo trouxe resultados qualitativos quanto ao tamanho dos cristais e ao CV, 0,42 mm e 48,8% para açúcar cristal, 0,42 mm e 30,3% e 0,71 mm e 48,8% para o VHP e demerara, respectivamente, constatando irregularidades. A filtrabilidade média foi de: 66,7; 37,7 e 30% para o açúcar cristal, VHP e demerara, respectivamente, confirmando a presença de impurezas. Considerando que para o açúcar ter qualidade são necessários 60% dos cristais uniformes e que a filtrabilidade está relacionada com a impureza os produtos avaliados não estão dentro das especificações exigidas pelo mercado. Portanto, é necessário otimizar o controle termodinâmico da fabricação do açúcar.

**Palavras-chave:** granulometria, filtrabilidade, açúcar, cristais, tamanho médio dos cristais e coeficiente de variação.

### Summary

Quality sugar production depends on several factors, among them: raw materials, soil and processing conditions. Sugar is food, but some stages of production are underestimated, compromising crystal quality and quantity. Sugar crystallization control is performed with respect to the particle size of the crystal average size (AM) and uniformity (VC). The aim of this study was to investigate commercial sugar (crystal sugar, demerara and VHP) with regard to the regularity of the crystals through sieve analysis and filterability. The study brought qualitative results regarding the size of the crystals and the VC, 0.42 mm and 48.8% for crystal sugar, 0.42 mm and 0.71 mm and 30.3% and 48.8% for VHP and demerara, respectively, confirming irregularities. Average was filterability: 66.7; 37.7 and 30% for the crystal sugar, VHP and demerara, respectively, confirming the presence of impurities. Whereas quality sugar requires 60% of uniform crystals and the filterability is related to the impurity, this product is not within the specifications required by the market. Therefore, the thermodynamic control of sugar manufacturing needs to be optimized.

**Keywords:** particle size, filterability, sugar crystals, average crystal size and coefficient of variation.

### Introdução

A produção de um açúcar de qualidade não ocorre apenas na fábrica, depende de uma grande variedade de fatores dentre eles a matéria-prima, solo, condições de processamento e armazenamento, fatores esses que contribuem para um bom rendimento final em açúcar extraído da cana.

O processo de fabricação de açúcar visa, de forma simplificada extrair e concentrar o caldo contido na cana, culminando em vários tipos de açúcares. Dentro desse processo de fabricação, podemos classificar uma usina de açúcar como uma indústria de extração, uma vez que o açúcar já é produzido pela natureza, através da cana, sendo ele somente concentrado e cristalizado no processo, nas suas várias modalidades.

A qualidade dos processos de cozimento depende muito da cana-de-açúcar entregue na fábrica, do tratamento do caldo para remoção das impurezas como também da qualidade das sementes que são inseridas nos cozedores as quais atuam como base para o desenvolvimento dos cristais. Muitas vezes as matérias primas não obedecem às especificações devido ao tempo de espera para o processamento, moendo uma cana com um baixo teor de sacarose devido à inversão da mesma e com isso leva para o processo de cristalização os açúcares não cristalizáveis (glicose e frutose), proporcionando uma granulometria variável (ALBUQUERQUE, 2009).

A granulometria do açúcar varia de acordo com os tipos e as aplicações especificadas sendo influenciado também pela forma como é produzido. Uma das maiores preocupações no controle de produção de um açúcar de qualidade é a granulometria, para que a mesma obedeça a padrões é necessário a utilização de uma semente que apresente cristais uniformes, para proceder uma boa cristalização. Dentre os tipos de açúcar podemos relacionar com suas respectivas granulometrias (VHP1 = 0,68 mm; VHP2 = 0,98 mm e Cristal AM = 0,54 a 0,8 mm; CV=24-35%; Demerara = 0,9 a 1,2 mm) (OLIVEIRA et al., 2007).

Avaliando as características dos cristais de açúcar, podemos ressaltar o impacto da granulometria na influência da higroscopicidade, pois cristais de açúcar menores tem maior tendência a aglomerar o que leva a ocorrência de empedramento, trazendo prejuízos para as indústrias.

OLIVEIRA et al, 2007 mostraram a importância de alguns itens que fazem parte da especificação do açúcar cristal produzido no Brasil, ressaltando que os cristais de açúcar uniformes com arestas bem formadas e não arredondadas, refletem mais a luz e causam a sensação visual de um açúcar mais branco, qualificando o produto.

Segundo (ZARPELON, 2013) a produção de açúcar cristal de qualidade requer que a centrifugação da massa (A) seja executada de forma que não fique traço de mel entre os cristais. Esta condição é mais facilmente obtida quando os cristais são bem formados (homogêneos sem germinados e conglomerados), com tamanho médio dos cristais AM adequado (0,6mm) e coeficiente de variação (CV) abaixo de 25%. Cristais maiores tendem a facilitar a saída do mel, mas ao tentar fazer cristais maiores há o risco de produzir falsos grãos, causando irregularidade de tamanhos de cristais, piorando a qualidade do açúcar.

PEREIRA et al., 2014 avaliou a influência granulométrica na análise da cor do açúcar cristal e VHP através do colorímetro por luminosidade, cromaticidade, ângulo Hue e variação de cor pelo método ICUMSA. Foram realizadas análises do açúcar cristal e macerado, entretanto, a maceração interfere na avaliação colorimétrica, pois as partículas menores refletem a luz de modo diferente das maiores, e como os cristais de açúcar são heterogêneos, pode haver erro no momento da medição. Portanto, padronizar o tamanho dos cristais poderia melhorar o desempenho da medição colorimétrica. Quanto aos tamanhos dos tipos de açúcares estudados o coeficiente de variação dos cristais foi menor para os açúcares VHP1= 23,01%, VHP2= 21,16% comparado ao Açúcar Cristal= 31,02%.

Visando avaliar a qualidade do açúcar comercial foi proposto nesse trabalho verificar a uniformidade dos cristais por granulometria e o teor de impurezas por filtrabilidade. A qualidade e a quantidade do açúcar produzido dependem de diversos fatores desde a variedade da cana, forma como foi colhida, tipo de lavagem da cana, tratamento do caldo, aquecimento na evaporação ou cozimento, acarretando em um caldo com maior ou menor pureza, conseqüentemente interferindo no rendimento.

#### Material e Métodos

Foram realizados experimentos de peneiramento, visando classificar os açúcares comerciais quanto à uniformidade dos cristais através da avaliação granulométrica e em paralelo verificar a relação com o teor de impureza detectada através de análises de filtrabilidade associando a interferência das impurezas no produto cristalizado, conseqüentemente na qualidade.

Os experimentos foram realizados em triplicata, visando reduzir os erros experimentais, obtendo maior representatividade dos dados desse estudo.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Operações Unitárias da Engenharia Química da UFPB com autorização da responsável Fabíola Dias da Silva Curbelo.

#### Matéria-prima

Foram utilizadas amostras dos açúcares comerciais: cristal, VHP e demerara.

#### Metodologia da Avaliação Granulométrica do Açúcar

As análises granulométricas das amostras de açúcar comercial foram avaliadas pelas peneiras ABNT e quantificadas quanto ao tamanho médio das partículas (AM) que é determinado pela abertura média da peneira que retém na faixa de 50% em massa das partículas e o coeficiente de variação (%CV), o qual é determinado pela Equação 1.

$$CV = (A25 - A50) / 2XAM \times 100 \quad (1)$$

Onde: CV = percentual do coeficiente de variação;

A25: valor anterior ao tamanho médio (AM) dos cristais;

A50: valor posterior ao tamanho médio (AM) dos cristais.

Este método é aplicável nas amostras de açúcar cristal, açúcar refinado granulado e açúcar VVHP.

Os dados referentes à abertura das peneiras em milímetros (eixo x) e o percentual acumulado (eixo y) podem ser representados graficamente pelo método dos Powers, o qual assume que a distribuição é normal (UNICA, 2015).

Para os ensaios de granulometria dos açúcares: cristal, açúcar demerara e VHP, foram colocadas (120,0 g) das amostras na estufa por aproximadamente três horas a 105°C, sendo posteriormente utilizadas para os ensaios com a umidade até 0,05%.

As peneiras foram pesadas bem como o coletor de fundo e os respectivos valores foram anotados, visando realizar ao final de cada experimento o balanço de massa em cada peneira.

Para cada experimento foram utilizadas 100,0 g de amostra, colocada sobre a série de peneiras granulométricas com aberturas decrescentes e acionada a base vibratória (durante 15 minutos, com intensidade no nível 8), possibilitando a separação das frações por tamanho.

Ao término da agitação as peneiras foram pesadas juntamente das frações retidas removendo-se todos os resíduos presentes nas aberturas da tela.

### Metodologia de Filtrabilidade do Açúcar

A metodologia de avaliação da qualidade do açúcar através da filtrabilidade foi desenvolvida por Caldas em 2008, que consiste em: pesar 50,0g da amostra de açúcar e dissolver em 50,0g de água deionizada; montar o conjunto de filtração com membrana filtrante (diâmetro 47 mm, porosidade 0,8 mm). Não utilizar pré-filtro para não interferir nos resultados; ajustar a temperatura da solução para  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ; conectar ao sistema de vácuo com 15 polegadas ( $\pm 1$  polegada de mercúrio); adicionar o vácuo e o cronometro imediatamente para início da medida do tempo de filtração; anotar o tempo real gasto em minutos, para filtrar toda a solução.

Os cálculos são realizados representando o volume total do filtrado em (mL/ min).

### Resultados e Discursão

O tamanho médio e o coeficiente de variação das partículas dos açúcares avaliados foram calculados por balanço de massa e representados graficamente, possibilitando a avaliação dos resultados quantitativamente e qualitativamente.

A quantidade de açúcar passante pela peneira ABNT 70 corresponde à massa retida no fundo do coletor.

### Análises Granulométricas do Açúcar Comercial

Foram analisados os açúcares comerciais dos tipos: cristal, VHP e demerara.

As (Tabelas 1, 2 e 3) apresentam os valores médios obtidos a partir das análises granulométricas, realizada em triplicata, para os açúcares cristal, VHP e demerara, respectivamente.

**Tabela 1.** Média dos valores da avaliação granulométrica para o açúcar cristal.

Peneiras ABNT	Aberturas (mm)	Média dos pesos das peneiras (g)	Médias dos pesos das peneiras + amostras (g)	Média dos retidos por peneiras (%)	Média dos Acumulados (%)
16	1,18	372,60	374,09	1,49	1,49
20	0,85	381,59	390,18	8,55	10,04
25	0,71	370,8	388,99	18,19	28,23
40	0,42	363,44	415,32	51,88	80,11
50	0,30	347,08	363,09	16,01	96,12
70	0,21	358,84	363,11	4,27	100,39
Coletor	0,00	314,52	314,92	0,40	100,79

**Tabela 2.** Média dos valores da avaliação granulométrica para o açúcar V.H.P.

Peneiras ABNT	Abertura (mm)	Médias dos pesos das peneiras (g)	Médias dos pesos (peneiras + amostras) (g)	Médias dos retidos por peneiras (%)	Médias dos Acumulados (%)
16	1,18	372,6	381,14	8,54	8,54
20	0,85	381,59	401,82	20,23	28,77
25	0,71	370,8	399,84	29,04	57,81
40	0,42	363,44	401,49	38,05	95,86
50	0,3	347,08	351,15	4,07	99,93
70	0,21	358,84	359,40	0,56	100,48
Coletor	0,00	314,52	314,53	0,01	100,50

**Tabela 3.** Média dos valores da avaliação granulométrica para o açúcar demerara.

Peneiras ABNT	Aberturas (mm)	Médias dos pesos das peneiras (g)	Médias dos pesos (peneiras + amostras) (g)	Médias dos retidos por peneiras (%)	Médias dos Acumulados (%)
16	1,18	372,6	383,82	11,22	11,22
20	0,85	381,59	408,06	26,47	37,69
25	0,71	370,8	396,99	26,19	63,88
40	0,42	363,44	396,34	32,90	96,78
50	0,30	347,08	350,02	2,94	99,71
70	0,21	358,84	359,56	0,72	100,43
Coletor	0,00	314,52	314,65	0,13	100,56

Avaliando os dados da (Tabela 1) foi possível identificar o tamanho médio para o açúcar cristal ( $AM = 0,42\text{mm}$ ) através do percentual que mais se aproxima de 50%, retido na peneira ABNT 40. O percentual do coeficiente de variação ( $CV = 48,8\%$ ) foi calculado, utilizando

a Equação 1. Os valores de AM e CV determinados para as amostras de açúcar cristal indicam uma variação do tamanho dos cristais de açúcar, indicando conseqüentemente qualidade inferior do produto.

Avaliando os dados da (Tabela 2 e 3 pode-se observar que os tamanhos médios dos cristais de açúcar VHP e demerara foram entre 0,71 e 0,42 mm para ambos, retidos nas peneiras ABNT 25 e 40, respectivamente e os valores de AM e CV foram (30,3 e 48,8%), portanto, não apresentaram percentual médio de 50% na distribuição do tamanho dos cristais, indicando uma falta de uniformidade nos cristais e descontrolo no processo de produção.

O tratamento do caldo aplicado ao açúcar demerara não remove a coloração na sua totalidade, preservando mais nutrientes, entretanto, alguns compostos coloridos preservados no caldo podem atrapalhar o processo de cristalização, causando a granulometria irregular e disforme dos cristais obtidos. Portanto, avaliando os dados obtidos para o açúcar demerara pode-se relacionar a irregularidade dos cristais ao tratamento do caldo deficiente ou a qualidade inferior da matéria-prima.

Comparando os coeficientes de variação e os tamanhos médios dos cristais, com a literatura (OLIVEIRA, 2007; ZAPERLON, F., 2013 e PEREIRA *et. al.*, 2014) os dados obtidos neste estudo foram maiores, representando maior irregularidade dos cristais.

Avaliando os resultados obtidos com relação às peneiras faltantes e a substituída, provavelmente os dados obtidos fossem mais precisos, pois os tamanhos médios especificados para os açúcares avaliados (cristal = 0,6 a 1,2mm) a peneira ABNT 30 (0,60 mm) classificaria mais especificamente esse produto. Quanto aos açúcares VHP e demerara o qual apresenta especificações de tamanho entre 0,68 e 0,98 mm e 0,9 a 1,2 mm, respectivamente, os dados obtidos o classificaram entre 0,41 e 0,71 mm indicando que a distribuição dos cristais ficou muito próxima do limite inferior de crescimento, ou seja, deveriam ter sido mais bem esgotados, aumentando a qualidade e o rendimento da produção.

### Filtrabilidade dos Açúcares Comerciais

Os dados de filtrabilidade das amostras de açúcares comerciais foram expressos em mL/ min, representando a vazão de filtrado à vácuo o que está diretamente associado a presença de impurezas.

Uma boa filtração é aquela que toda solução passa pela membrana filtrante num tempo menor que 3,5 minutos, considerando-se um açúcar de qualidade (CALDAS, 2008).

**Tabela 4.** Dados de filtrabilidade dos açúcares avaliados.

Amostras	Quantidade filtrante em (mL)		
	cristal	V.H.P	demerara
1	65,0	40,0	29,0
2	66,0	35,0	30,0
3	69,0	38,0	31,0
Média	66,7	37,7	30,0

Avaliando a (Tabela 4) pode-se observar que as amostras dos açúcares comerciais avaliados não apresentaram filtração eficiente (100%) no tempo estabelecido na metodologia, demonstrando a presença de impurezas e conseqüentemente a má qualidade do produto.

### Conclusões

Os açúcares cristal, VHP e demerara avaliados não se apresentaram quantitativamente e qualitativamente dentro dos padrões especificados quanto aos parâmetros de tamanho médio das partículas (AM) e o percentual do coeficiente de variação (CV).

Os experimentos de filtrabilidade comprovaram a qualidade inferior dos produtos comerciais avaliados constatando a presença de impurezas que atrapalham a cristalização uniforme dos cristais.

É necessário um acompanhamento nas etapas de cozimento e cristalização dos açúcares comerciais avaliados, visando otimizar a qualidade do produto, aumentar a produtividade dos cristais, redução de reprocesso e finalmente proporcionar economia da energia.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Professora Fabiola Dias da Silva Curbelo por ter concedido a estrutura física do laboratório o de Operações Unitárias da Engenharia Química da UFPB que nos permitiu realizar esse trabalho. A UFPB pelo suporte acadêmico que nos levou a elaborar o trabalho.

### Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de Fabricação do Açúcar**. Recife: Editora Universitária/UFPE, 2009.
- CALDAS C. **Manual de Análises selecionadas para indústria sucroalcooleira**. Ed. Central Analítica. Ltda., Maceió – AL. 2014.
- OLIVEIRA, D.T.; ESQUIAVETO, M.M.M.; SILVA-JUNIOR, J.F. **Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 99-102, 2007.
- PEREIRA, et al , 2014. **Influência Granulométrica na Medição de Cor do açúcar pelo Método Colorimétrico**, Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 6, p. 207-211, 2014.
- ZARPELON, FLORENAL. **Fabricação de açúcar cristal de boa qualidade**. Tecnal Indústria Comércio Importação e Exportação de Equipamentos para Laboratórios Ltda., São Paulo 2013.
- UNICA. Disponível em <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/> Acesso em 05/05/2010.

PALHA

## ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO RECOLHIMENTO E USO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Terezinha F. Cardoso, Mateus F. Chagas, Marcos D. B. Watanabe, Otávio Cavalett, Henrique C. J. Franco, Oscar A. Braunbeck, Manoel Regis L. V. Leal, Antonio Bonomi

Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), Campinas, SP, Brasil.

*terezinha.cardoso@bioetanol.org.br*

### Resumo

O Brasil tem a cultura de cana-de-açúcar como principal fonte de biomassa para produção de energia. A colheita de cana crua permite que parte da palha seja recolhida e enviada para a indústria, onde pode ser utilizada para geração de eletricidade e/ou para produção de etanol de 2ª geração. Este estudo tem como objetivo analisar a viabilidade técnico-econômica do aproveitamento da palha de cana-de-açúcar, considerando as fases agrícola e industrial de forma integrada, para produção de eletricidade. Verificou-se que a colheita integral é economicamente vantajosa na fase agrícola, com menor custo para cenários com 70% de recolhimento (R\$52,82/t palhabase seca). O enfiamento apresenta custos elevados (R\$88,60/t palhabase seca) para pequenas frações de recolhimento (30%), devido à menor eficiência na execução das operações agrícolas. A análise do modelo verticalizado de produção (fase agrícola e industrial) mostrou que a baixa eficiência da estação de limpeza a seco e a umidade da palha interferem nos rendimentos industriais, aumentando os custos dos produtos (etanol e eletricidade) e diminuindo a vantagem econômica da colheita integral, tornando o enfiamento mais atrativo para maiores taxas de recolhimento. A escolha do sistema de recolhimento da palha requer uma análise integrada das tecnologias utilizadas no campo e na indústria.

**Palavras chave:** biorrefinaria, fardos, colheita integral, etanol, eletricidade

### Summary

Sugarcane is the main feedstock for bioenergy production in Brazil. Sugarcane green harvest allows the straw to be recovered and used in industry to produce both electricity and second-generation ethanol. This study aims to assess the economic viability of sugarcane straw recovery for electricity production by considering a production system integrating agricultural and industrial phases. Results related to the agricultural phase point out that integral harvest is economically feasible and provides its lowest cost when 70% of available straw is recovered (R\$ 52.82/metric ton of dry straw). Baling system is associated with higher costs (R\$ 88.60/metric ton of dry straw) for low straw recovery fractions (30%) due to the lower efficiency in agricultural operations. The analysis of a vertically integrated system (agricultural + industrial phases) indicates that low efficiency in the dry cleaning station and straw moisture interfere in industrial yields by increasing both ethanol and electricity costs and decreasing the economic performance of integral harvest system. Consequently, baling is more economically attractive when considering higher straw recovery fractions. This work highlights that choosing a straw recovery system relies on an integrated assessment which takes into account both agricultural and industrial technologies.

**Keywords:** biorefinery, bales, integral harvesting, ethanol, electricity

### Introdução

A cultura de cana-de-açúcar é a principal fonte de biomassa para produção de energia no Brasil. Além do etanol, a cana-de-açúcar possibilita a cogeração de energia elétrica através da queima do bagaço e, mais recentemente, da palha nas caldeiras, produzindo energia (térmica e elétrica) suficiente para suprir toda a demanda da usina durante a safra e gerando excedentes de energia elétrica para comercialização.

A queimada antes da colheita da cana-de-açúcar, prática bastante utilizada no Brasil até a última década, eliminava praticamente toda a palha e proporcionava melhor rendimento do corte manual ou mecanizado (PAES, 2007). A região Centro-Sul produziu, aproximadamente, 617 milhões de toneladas de colmos de cana-de-açúcar na safra 2015/2016 (CONAB, 2016) que, considerando 140 kg (base seca) de palha por tonelada de colmo (HASSUANI *et al.*, 2005, RIPOLI e RIPOLI, 2009), representa cerca de 86 de milhões de toneladas de palha (base seca). Com o aumento expressivo da colheita de cana crua (sem queima prévia), há a possibilidade do aproveitamento desse material.

Neste contexto, a palha disponível pode ser utilizada para cobertura do solo auxiliando na redução de erosão, conservação da umidade (ROSSETTO, 2009) e no controle de algumas ervas daninhas (MONQUERO *et al.*, 2008). Entretanto, a presença de grandes quantidades de palha no solo representa risco de incêndio e o acúmulo desse material pode dificultar a brotação da soqueira, assim como favorecer a proliferação de pragas (ROSSETTO *et al.*, 2008). O cultivo da cana-de-açúcar com a presença da palha no solo implica em novas operações de manejo e ajustes nas máquinas e implementos agrícolas utilizados atualmente (BRAUNBECK *et al.*, 2008; MAGALHÃES *et al.*, 2012).

A palha da cana-de-açúcar também pode ser recolhida, encaminhada para a indústria e utilizada nas caldeiras, gerando vapor para a produção de energia elétrica, ou utilizada diretamente para produção de etanol de segunda geração, através do processo de hidrólise (MACEDO, 2004; SANTOS *et al.*, 2012).

Contudo, a quantidade e a forma de recolhimento da palha de cana-de-açúcar ainda não estão estabelecidas e algumas alternativas têm sido analisadas (HASSUANI *et al.*, 2005; CARDOSO *et al.*, 2015). Os sistemas de recolhimento de palha de cana-de-açúcar mais utilizados são o enfiamento e a colheita integral (Figura 1).



**Figura 1.** Sistemas de recolhimento de palha de cana-de-açúcar: (a) colheita integral, (b) enfardamento (Fonte: HASSUANI *et al.*, 2005)



No recolhimento através de fardos, a palha é lançada ao solo no momento da colheita, permanecendo sobre ele até que atinja umidade de 12% a 15%, o que corresponde a um período de 8 a 15 dias, dependendo das condições climáticas. Já o recolhimento de palha com colheita integral é realizado com a redução da velocidade de rotação dos ventiladores. A palha é lançada junto com os colmos no transbordo e, posteriormente, nos caminhões (CARDOSO, 2014).

O enfardamento possibilita o recolhimento da palha com menor umidade e de forma adensada, o que facilita o transporte e o armazenamento. Entretanto, aumenta o tráfego de máquinas no campo, em função das operações de enleiramento, enfardamento e carregamento, elevando a compactação do solo e o risco de pisoteio das soqueiras, podendo comprometer a produtividade das safras seguintes.

Na colheita integral, a redução da velocidade dos ventiladores, para possibilitar o recolhimento de palha, diminui a perda de colmos (HASSUANI *et al.*, 2005; NEVES *et al.*, 2004; NEVES *et al.*, 2006) e tem menor número de máquinas envolvidas na operação. Entretanto, a redução da densidade de carga aumenta os custos no transporte.

Cada processo de recolhimento apresenta vantagens e desvantagens e condições específicas devem ser consideradas na escolha do sistema mais apropriado. Os impactos da palha na usina variam de acordo com o tipo de recolhimento, a quantidade e a qualidade (umidade e impurezas minerais) do material. Os fardos apresentam grande quantidade de impurezas minerais que podem danificar as caldeiras; já a palha trazida junto com os colmos (colheita integral) interfere no processo de recepção, moagem e extração, pela baixa eficiência da estação de limpeza a seco (DIAS *et al.*, 2016).

Desta forma, a comparação entre os sistemas de recolhimento deve considerar as fases agrícola e industrial de maneira integrada. Este estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica do aproveitamento da palha de cana-de-açúcar, considerando o modelo verticalizado de produção (agrícola + industrial).

### **Materiais e Métodos**

Com o objetivo de avaliar o sucesso de desenvolvimentos tecnológicos, a Divisão de Avaliação Integrada de Biorrefinarias do CTBE/CNPEN vem desenvolvendo uma plataforma integrada de simulação computacional, denominada Biorrefinaria Virtual de Cana-de-açúcar (BVC). Através da simulação computacional de processos, a BVC estima os impactos socioeconômicos e ambientais, de uma tecnologia em uso, ou em desenvolvimento, comparada a uma cadeia de produção de referência do setor (BONOMI *et al.*, 2016). Neste trabalho, utilizou-se a BVC para avaliar a viabilidade econômica do recolhimento e uso da palha de cana-de-açúcar, analisando de forma integrada as fases agrícola e industrial.

Para a análise das rotas de recolhimento de palha de cana-de-açúcar foi utilizado o modelo CanaSoft, desenvolvido para a simulação da fase agrícola na BVC. Este modelo calcula os custos de produção a partir dos principais parâmetros que descrevem o sistema de produção de cana-de-açúcar - incluindo descrição dos cenários, operações envolvidas, maquinário, mão de obra requerida e insumo utilizado (CARDOSO *et al.*, 2015, CAVALETT *et al.*, 2016).

Foram avaliadas, para cada sistema, três quantidades diferentes de recolhimento, aproximadamente 30%, 50% e 70% da palha disponível, e um cenário base (sem recolhimento), totalizando sete cenários (Tabela 1).

Para os cálculos foi considerada uma usina com produção de 4 milhões de toneladas de colmos, plantio e colheita mecanizados, raio médio de 35 km, 5 cortes, produtividade média de 80 TC/ha, 140 kg palha (base seca) por tonelada de colmo (DIAS *et al.*, 2016).

**Tabela 1.** Descrição dos cenários avaliados

Cenário	Descrição
Base	Sem recolhimento de palha
F30	Fardos, com 30 % de recolhimento
F50	Fardos, com 50 % de recolhimento
F70	Fardos, com 70 % de recolhimento
I30	Colheita integral, com 30 % de recolhimento
I50	Colheita integral, com 50 % de recolhimento
I70	Colheita integral, com 70 % de recolhimento

Para determinar o custo da palha, nos cenários com fardos, considerou-se a diferença de custo entre o cenário Base (sem recolhimento) e os cenários com recolhimento. Para os cenários de recolhimento com colheita integral, a diferença foi alocada proporcionalmente às massas de palha (base úmida) e de colmo adicional, em função da menor perda na colheita (CARDOSO *et al.*, 2015).

Para a avaliação da fase industrial, a BVC utiliza o Aspen Plus®, bastante empregado na simulação de processos químicos industriais para avaliar rendimentos em diferentes condições operacionais (ALBARELLI, 2013). Foram consideradas destilarias autônomas otimizadas com caldeiras de 65 bar, peneira molecular, moendas eletrificadas, integração térmica, com produção de excedente de eletricidade (MORAIS *et al.*, 2016), com diferentes quantidades de palha utilizadas no sistema de cogeração para produção de eletricidade excedente (DIAS *et al.*, 2016).

### Resultados e Discussão

Após a simulação dos cenários com as rotas de recolhimento de palha no modelo CanaSoft, foi possível comparar o custo total de produção de colmo e palha, incluindo o transporte até a usina, considerando a produção para atender uma moagem de 4 milhões de toneladas de colmos ao ano.

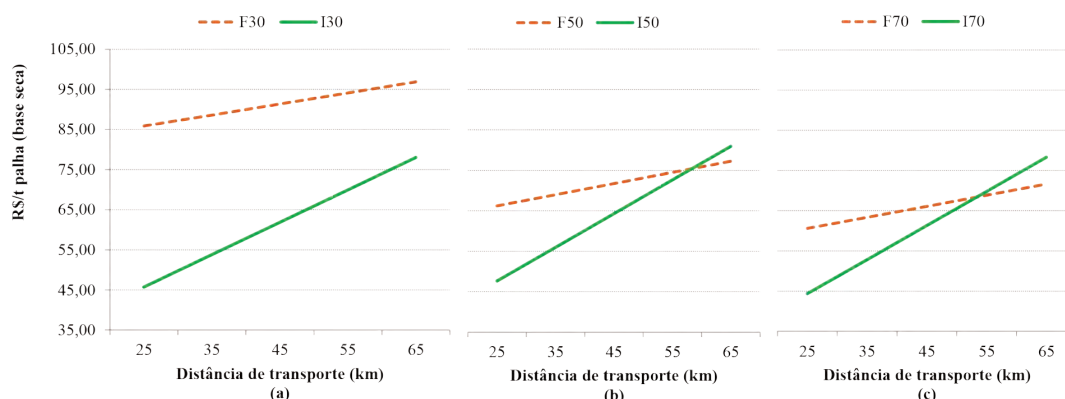
O sistema com fardos tem custo total elevado para pequenas quantidades de palha recolhida em função da menor eficiência operacional das máquinas necessárias neste sistema. Quando a quantidade recolhida aumenta, o enfardamento apresenta redução no custo por tonelada de palha. O recolhimento da palha através da colheita integral tem custos menores, para palha e colmo. Mesmo para maiores quantidades de recolhimento, o custo total (de colmos e palha) não sofre alterações significativas, pois a perda de densidade de carga é praticamente compensada pelo melhor aproveitamento dos colmos, com a redução de perdas na colheita (Tabela 2).

**Tabela 2.** Custo total de produção de colmo e recolhimento de palha

		Base	F30	F50	F70	I30	I50	I70
<b>Colmo</b>	R\$/TC	65,00	65,00	65,00	65,00	64,00	63,74	63,45
<b>Palha (base seca)</b>	R\$/t	-	88,60	68,98	63,33	53,78	55,97	52,82

(Valores em R\$ de 2014)

A quantidade de palha recolhida e a distância de transporte são os parâmetros que mais influenciam os custos de recolhimento, respectivamente, para fardos e colheita integral (DIAS *et al.*, 2016). Para pequenas frações de recolhimento, a colheita integral apresenta custos menores, mesmo para longas distâncias de transporte (Figura 2a). O enfardamento passa a ter custos mais atrativos para longas distâncias e maiores taxas de recolhimento (Figura 2b e 2c).

**Figura 2.** Custo total do recolhimento de palha para diferentes distâncias de transporte (Valores em R\$ de 2014)

As simulações com Aspen Plus® indicam que os rendimentos industriais variam de acordo com as características e a quantidade de palha recolhida, de acordo com a (Tabela 3). Os rendimentos da produção de eletricidade variam de acordo com o sistema de recolhimento. A umidade da palha enfardada é menor, produzindo mais eletricidade excedente. Com a colheita integral há maior embebição nas moendas (consumindo vapor) devido à maior quantidade de fibras (reduzindo a extração).

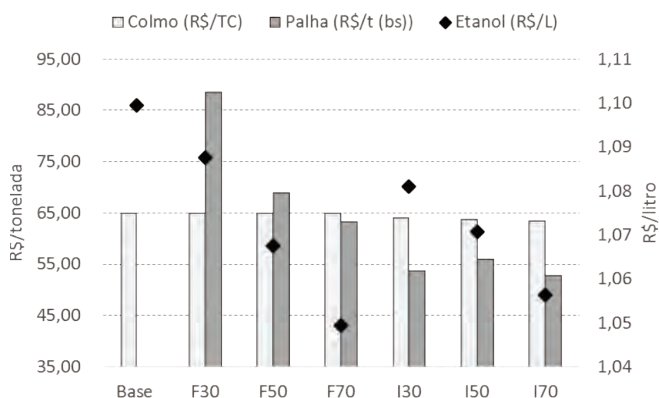
**Tabela 3.** Produção anual de etanol e eletricidade excedente

	Base	F30	F50	F70	I30	I50	I70
Etanol (milhões L/ano)	341,4	341,4	341,4	341,4	341,0	340,6	340,2
Eletricidade excedente (GWh/ano)	475,5	718,8	881,7	1.043,7	678,2	808,4	937,9

Com o aumento de fibras na moenda, pela baixa eficiência de separação da estação de limpeza a seco, o rendimento da extração cai, em função da quantidade de fibras na moenda, reduzindo a produção de etanol nos cenários com recolhimento de palha com a colheita integral.

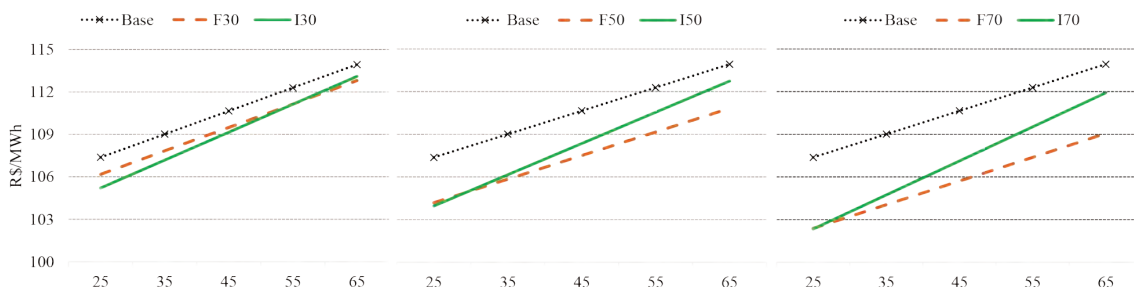
Os cenários com recolhimento de palha através de fardos não sofrem alterações na produção de etanol, quando comparados com o cenário Base (sem recolhimento), já que a palha chega separadamente na usina e não passa pela moenda (Figura. 3). Entretanto, cabe lembrar que os fardos possuem maior quantidade de impurezas minerais que ocasionam custos com desgastes nas caldeiras, tubulações e exaustores, ainda não quantificados.

**Figura 3.** Custo total de produção de colmo, palha (fase agrícola) e etanol (fase industrial)



**A Figura 4.** Compara o custo total de produção de energia elétrica em função da quantidade de palha recolhida e a distância de transporte. Considerou-se os investimentos industriais necessários, o custo total de produção de colmos e palha (Tabela 1) e a produção de etanol e eletricidade (Tabela 3).

**Figura 4.** Custo total de produção de eletricidade



Os resultados apontam vantagens econômicas do aproveitamento da palha na indústria, dado que o custo total de produção, do etanol e da eletricidade, nos cenários com recolhimento é menor que no cenário base, nas condições avaliadas.

**Conclusão**

Os impactos da palha na usina variam de acordo com o sistema de recolhimento, com a quantidade e com a qualidade (umidade e impurezas minerais) do material. O sistema de recolhimento de palha com colheita integral apresentou melhores resultados na fase agrícola. Entretanto, o sistema com fardos preserva os rendimentos industriais, apresentando ligeira vantagem na análise integrada. Importante

ressaltar que os custos de manutenção industrial causados pela impureza mineral na palha (tanto para a colheita integral como para o enfardamento) não foram considerados neste estudo, assim como a provável perda de produtividade nos canaviais causada pelo pisoteio das soqueiras e maior compactação do solo com as operações do enfardamento. Os resultados de análise de viabilidade econômica evidenciam a importância de reduzir perdas na fase agrícola, aumentar a densidade de carga na colheita integral e melhorar a eficiência de separação da palha na usina.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (projeto número 2010/17139-3) e ao CTBE/PNUD (Project BRA/10/G31 – Sugarcane Renewable Electricity) pelo suporte financeiro.

#### Referências Bibliográficas

- ALBARELLI, J.Q.. Produção de açúcar e álcool de primeira e segunda geração: simulação e otimização energética. 2013. 216 p. Tese (Doutorado). Convênio de pesquisa **UNICAMP-Shell Brasil**. Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas. 2013.
- BONOMI, A.; CAVALETT, O.; DA CUNHA, M. P.; LIMA, M.A.P. (Eds.). *Virtual Biorefinery: An Optimization Strategy for Renewable Carbon Valorization*. Series: Green Energy and Technology, **Springer International Publishing**, 1st ed. 2016, XL, 285 p. DOI: 10.1007/978-3-319-26045-7.
- BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; GARCIA, M. O. Colheita e recuperação de biomassa. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; OLIVARES, E.G. (Org.). *Biomassa para energia*. Campinas: **Editora UNICAMP**, v. 1, p. 63-92, 2008.
- CARDOSO, T. F. Avaliação socioeconômica e ambiental de sistemas de recolhimento e uso da palha de cana-de-açúcar. (Tese de doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/Unicamp), Campinas – SP, 2014.
- CARDOSO, T.F.; CHAGAS, M.F.; RIVERA, E.C.; CAVALETT, O.; MORAIS, E.R.; GERALDO, V.C.; BRAUNBECK, O.; CUNHA, M.P.; CORTEZ, L.A.B.; BONOMI, A. A vertical integration simplified model for straw recovery as feedstock in sugarcane biorefineries. **Biomass and Bioenergy**. Volume 81, 216–223, 2015.
- CAVALETT, O.; *et al.*. The Agricultural Production Model. In: Antonio Bonomi, Otávio Cavalett; Marcelo Pereira da Cunha; Marco Aurélio Pinheiro Lima. (Org.). **Green Energy and Technology**. 1ed. Switzerland: Springer International Publishing, v. 1, 2016, p. 13-51.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, v3, (Safra 2016/2017) – 1º levantamento – abril de 2016. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_04\\_18\\_14\\_27\\_15\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_16.pdf). Acesso em: abril de 2016.
- DIAS, M.O.S.; *et al.*. Use of the VSB to Assess Biorefinery Strategies. In: Antonio Bonomi; Otávio Cavalett; Marcelo Pereira da Cunha; Marco Aurélio Pinheiro Lima. (Org.). *Green Energy and Technology*. 1ed. Switzerland: **Springer International Publishing**, v. 1, 2016, p. 189-256.
- HASSUANI, S.J.; LEAL, M.R.L.V.; MACEDO, I.de C.. (Eds.); “Biomass power generation. Sugar cane bagasse and trash.” **Published by UNDP-UN and Centro de Tecnologia Canavieira-CTC**, Piracicaba, Brazil, 2005 (ISBN 85-99371-01-0). Disponível em: [http://www.sucre-ethique.org/IMG/pdf/CTC\\_energy\\_-\\_biomass\\_1\\_.pdf](http://www.sucre-ethique.org/IMG/pdf/CTC_energy_-_biomass_1_.pdf). Acesso em: 25 abril 2011.
- MACEDO, I.C.. As fontes de energia para Geração Distribuída - Gerando energia elétrica com biomassa da cana: início de um ciclo virtuoso, **Seminário de Geração Distribuída**, INEE, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- MAGALHÃES, P.S.G.; NOGUEIRA, L.A.H.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; FRANCO, H.C.J.; BRAUNBECK, O.A.. Agro-industrial technological paths. p. 27-69. In: **Sustainability of sugarcane bioenergy by Center of Strategic Studies and Management (CGEE)**, Brasília – DF. Brasil. 2012.
- MONQUERO, P. A.; AMARAL, R. L.; BINHA, D. P.; SILVA, P.V.; SILVA, A.C.; MARTINS, F.R.A..2008. Weed infestation maps under different sugarcane harvest systems. **Planta Daninha**, v. 26, p. 47-55.
- MORAIS, E.R.; *et al.*. Biorefinery Alternatives. In: Bonomi, A.; Cavalett, O.; Cunha, M.P.d.; Lima, M.A.P.. (Org.). **Virtual Biorefinery: An Optimization Strategy for Renewable Carbon Valorization**. 1ed.: Springer, v. 1, 2016, p. 53-132.
- NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; OTA, W.M. **Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.764-770, 2004.
- NEVES, J.L.M. *et al.* **Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.3, p.787-94, 2006.
- PAES, L. A. D.. Emissões nas queimadas de cana, controle. In: Macedo, I.C. (org). **A energia da cana-de-açúcar. Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade**. 2ª ed. São Paulo: Berlinds & Vertecchia:Unica, p. 85-89, 2007.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 333p., 2009.
- ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar – Implicações da queimada, Agência de Informação **Embrapa**, 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>, acesso em: 02/03/2012.
- SANTOS, F.A.; QUEIRÓZ, J. H. DE; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**. Química Nova, São Paulo, v. 35, n. 5, 2012 .

## QUANTIDADES DE PALHADA RETIRADA DO SOLO E IMPACTOS NO SISTEMA RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR

Gisele Silva De Aquino<sup>1</sup>; Cristiane De Conti Medina<sup>1</sup>; Aquilino Leonel Porteira Junior<sup>2</sup>; Danilo Augusto Silvestre<sup>2</sup>; Emerson Crivelaro Gomes<sup>2</sup>; Dairi Cortez Costa<sup>2</sup>; Ana Carolina Benitez Cunha<sup>3</sup>; Deise Akemi Omori Kussaba<sup>3</sup>; Jaime Higino Dos Santos Júnior<sup>3</sup>, Luis Fernando Almeida<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professora de Energia Renovável, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina; Londrina - PR

<sup>2</sup>Engenheiro agrônomo (Universidade Estadual de Londrina - PR

<sup>3</sup>Graduandos em Agronomia

*gisele.s.aquino@hotmail.com*

### Resumo

A quantidade de palhada de cana-de-açúcar necessária permanecer no campo para sustentabilidade do sistema de produção e quanto poderia ser utilizado em setores como cogeração e produção de bioetanol, otimizando a geração de energia, são questões não esclarecidas. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada sobre sistema radicular e a produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar, var SP 801816. Foram testados os efeitos de seis tratamentos: cana-queimada, 0%; 25% (5 t ha<sup>-1</sup>); 50% (10 t ha<sup>-1</sup>); 75% (15 t ha<sup>-1</sup>); 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de massa seca de palhada sobre o enraizamento e a produtividade da cana-de-açúcar (TCH). O sistema radicular foi avaliado na colheita, a 0,45 m de distância horizontal da touceira, até 0,60 m de profundidade. Obteve-se a produtividade na colheita, pesando-se todos os colmos de cada parcela. Em períodos de deficiência hídrica, os tratamentos 50, 75 e 100% de palhada proporcionaram maior massa de raízes até os 0,20 m de profundidade, não interferindo abaixo dessa camada. Os tratamentos 50 e 75% de palhada não diferiram entre si e apresentaram produtividade 43% maior que cana-queimada, podendo se retirar 50% de palhada excedente do campo sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura.

**Palavras-chave:** enraizamento, colheita mecanizada, palhicho, biomassa, etanol 2G.

The amount of sugarcane straw needed to remain in the field for sustainability of the production system and how much could be used in sectors such as cogeneration and bioethanol production, optimizing power generation, are unclear issues. The objective of this study was to evaluate the effect of different amounts of straw on root system and yield in the first ratoon of sugarcane, var SP 801816. Effects of six treatments were tested: cane burned, 0%; 25% (5 t ha<sup>-1</sup>); 50% (10 t ha<sup>-1</sup>); 75% (15 t ha<sup>-1</sup>); 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) dry mass of straw on root system and productivity of sugarcane (Mg ha<sup>-1</sup>). The root system was evaluated at harvest, 0.45 of horizontal distance from the planting line, up to 0.60 m deep. Yield was evaluated in the harvest period by 420 days after planting, weighing up all the stalks of each plot. In periods of water stress, treatments 50, 75 and 100% straw provided greater root mass up to 0.20 m deep, not interfering below this layer. Treatments 50 and 75% straw did not differ and showed productivity 43% higher than cane burned, being able to remove 50% of surplus straw in the field without incurring damage to the cropField.

**Keywords:** Rooting, mechanical harvesting, straw, biomass, 2G ethanol.

### Introdução

A palhada que permanece no solo após a colheita mecanizada da cana-de-açúcar ocasiona mudanças nas condições químicas, físicas e biológicas do agroecossistema, tais como: aumento e estabilização da umidade do solo; elevação dos teores de matéria orgânica; alterações na fertilidade e na temperatura; incidência de pragas; maior eficácia no controle da erosão; interferência na incidência de luz na superfície do solo; e mudança da flora infestante (COSTA *et al.*, 2011). Essas alterações no ambiente de produção podem interferir na dinâmica de enraizamento e na produtividade final (SOUZA *et al.*, 2005, COSTA *et al.*, 2011).

O sistema radicular da cana-de-açúcar representa um importante componente de estudo, uma vez que desempenha papel essencial na regeneração das soqueiras após a colheita. Apesar disso, tem sido frequentemente relegado nas pesquisas, devido, principalmente, à dificuldade de acesso e de visualização, sobretudo em avaliações a campo.

VASCONCELOS E GARCIA (2005) ressaltam que a morte ou renovação do sistema radicular não decorrem do corte da cana, mas sim da condição hídrica a que a cultura está submetida em determinado período de desenvolvimento. Neste sentido, o microclima criado pela palhada sobre o solo, caracterizado por elevada umidade, restrição da perda de água do solo e estabilidade da temperatura, proporciona maior disponibilidade hídrica do que a encontrada em solo descoberto, podendo contribuir para minimizar a queda de produção de um ciclo para outro, principalmente nos períodos de deficiência hídrica.

Diversos autores (RESENDE *et al.*, (2006)) apontaram aumento significativo na produtividade da cana-de-açúcar em cultivo sob palhada, entretanto, não foi abordado na literatura qual quantidade seria suficiente para promover a melhoria na produção.

A definição da quantidade necessária de palhada a permanecer no campo, constitui importante informação para o setor sucroenergético do país, considerando que o excedente pode ser utilizado para a produção de bioetanol ou bioeletricidade, setores que necessitam de grande quantidade desse material.

Considerando esses aspectos, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada sobre o sistema radicular e a produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar, variedade SP 80 1816, em Latossolo Vermelho eutrófico.

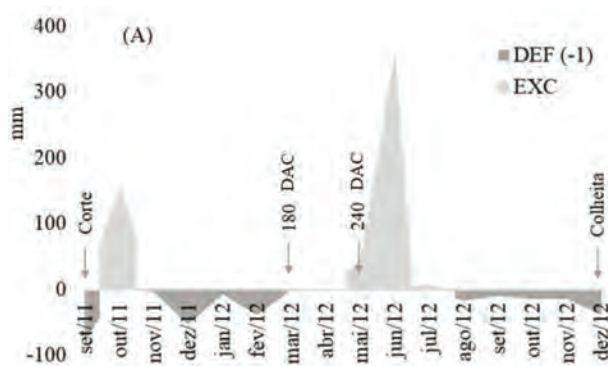
### Material e Métodos

O experimento foi implantado em área pertencente a Usina de Açúcar e Álcool Bandeirantes, localizado no município de Bandeirantes, PR, em Latossolo Vermelho eutrófico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013).

O estudo foi conduzido durante um ciclo da cultura de cana-de-açúcar (1ª soqueira), variedade SP 80-1816. O balanço hídrico climatológico (Figura 1) do período foi calculado de acordo com THORNTHWAITE E MATHER (1955). Foram utilizados dados normais de temperatura média mensal e de chuva total mensal, cedidos pela estação meteorológica do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), localizada a três quilômetros do local do experimento. Como capacidade de água disponível (CAD), utilizou-se o valor de 100mm.

**Figura 1.** Cada unidade experimental foi constituída por 10 fileiras de cana-de-açúcar, com 10 m de comprimento (10 linhas x 10 m) e espaçamento de 1,50 m.

**Figura 1.** Extrato do balanço hídrico mensal ocorrido durante o ciclo de primeira soqueira (B), Bandeirantes, PR. Fonte: Iapar.



Foram avaliados seis tratamentos: 0, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada e cana queimada (onde 100% da palhada foi queimada).

Para avaliação do sistema radicular, no momento da colheita, foram abertas trincheiras nas entrelinhas, com dimensões de 0,80 x 1,00 x 0,80 m (largura, comprimento e altura, respectivamente) e utilizados cilindros metálicos com 0,074 m de diâmetro, 0,10 m de altura e volume de anel de 0,00043 m<sup>3</sup> (AZEVEDO *et al.*, 2011). Estes foram cravados com auxílio de um esticador hidráulico, na parede perpendicular à linha de plantio, a 0,45 m de distância desta linha, nas profundidades de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m, em quatro repetições por tratamento.

Cada repetição foi formada por uma amostra composta de três amostragens realizadas em cada parcela, com o intuito de favorecer a maior representatividade dos resultados. Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Estudo das Raízes, do Departamento de Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

Cada amostra composta foi colocada em um balde plástico com água e agitada manualmente; a água e as raízes em suspensão foram vertidas em uma peneira de malha de dois milímetros. Essa operação foi repetida até não haver mais terra.

Todas as raízes retidas na peneira foram coletadas e levadas à estufa a 65 °C, até peso constante. Depois de secas, foram pesadas em balança de precisão e os resultados apresentados em mg de raízes por cm<sup>3</sup> de solo.

A massa fresca dos colmos, em toneladas de cana por hectare (TCH), foi avaliada aos 450 DAC (dezembro/2012), através da coleta total dos colmos contidos na área útil das parcelas. Foram retiradas as folhas verdes e secas, realizado o desponte e, então, a pesagem.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Duncan (P<0,05).

### Resultados e Discussão

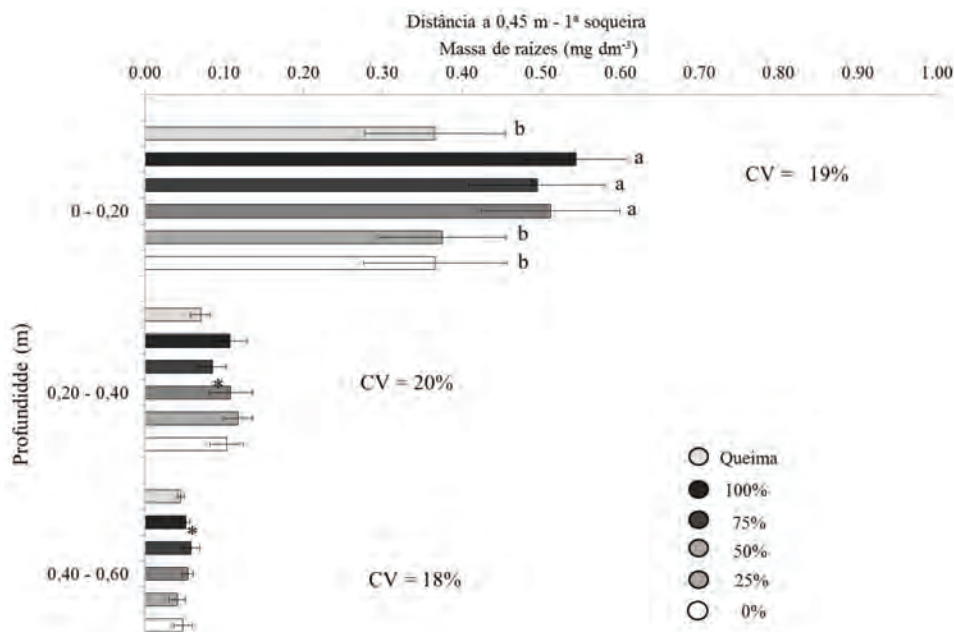
Na primeira soqueira, período em que ocorreu deficiência hídrica até os 180 DAC, exceção de outubro de 2011 (Figura 1), na distância a 0,45 m da linha de plantio, os tratamentos 50, 75 e 100% de palhada não diferiram entre si e apresentaram maior massa de raízes na camada de 0-0,20 m (0,52 mg cm<sup>-3</sup>), em comparação com menores quantidades de palhada (0, 25% de palhada e cana queimada), que tiveram média de 0,37 mg cm<sup>-3</sup>.

Esse efeito foi verificado por VASCONCELOS (2002), que verificou que, em condições de deficiência hídrica a cana-de-açúcar não consegue manter a quantidade de raízes já adquiridas, resultando em mortalidade e por FARONI (2005) que ao avaliar as raízes ativas de cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho distrófico, observou que as raízes superficiais foram as primeiras a morrerem durante o período de estiagem, e foram também as primeiras a se renovarem durante o período chuvoso, ocorrendo renovação parcial em um mesmo ciclo da soqueira quando o solo volta a ter umidade suficiente.

Abaixo de 0,20 m de profundidade, não houve efeito da palhada sobre o sistema radicular.

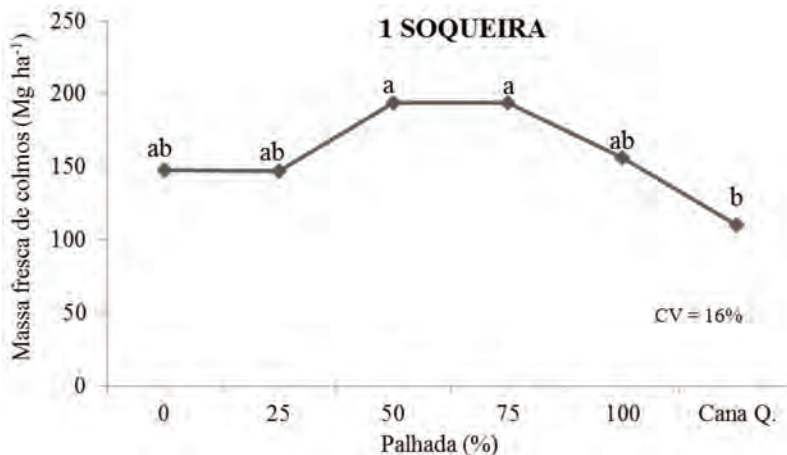
**Figura 2.** Em relação à produtividade (TCH), na primeira soqueira, em que ocorreu deficiência hídrica até os 180 DAC, houve efeito estatisticamente significativo da palhada (Figura 3). As quantidades 50 e 75% de palhada não diferiram entre si e apresentaram, estatisticamente, as maiores médias de produção (194,30 e 193,67 TCH, respectivamente), 43% a mais do que o tratamento cana queimada (110,33 TCH). Observou-se ainda, que os tratamentos 50 e 75% de palhada proporcionaram produção 24% maior em relação aos tratamentos 0 e 25% de palhada, apesar de não diferirem estatisticamente.

**Figura 2.** Massa seca de raízes (mg cm<sup>-3</sup> de solo) da primeira soqueira, à distância 0,45 m (distância 1) da touceira, aos 450 DAC, nas camadas 0 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m.



**Figura 3.** Esses dados corroboram os obtidos por outros autores, que afirmam que o déficit hídrico na fase inicial do ciclo afeta drasticamente o rendimento da cultura, reduzindo algumas variáveis de crescimento, resultando em diminuição do peso de colmos (SILVA et al., 2008).

**Figura 3.** Produção de cana-de-açúcar (TCH) em relação à porcentagem de palhada em superfície (%), na primeira soqueira (safra 2011/12). Bandeirantes-PR.



CHAVES (2008) destaca que a deficiência hídrica é um dos fatores de estresse que causam maiores danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, acarretando reduções na produtividade, especialmente pela redução da fotossíntese. Um ligeiro ressecamento do solo, ainda que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa aumento na concentração de ABA (ácido abscísico) produzido na coifa das raízes; levando ao fechamento estomático e a diminuição de substrato para fotossíntese. Interrompido o déficit, o desenvolvimento é recuperado somente nas folhas mais jovens.

Assim, verifica-se que a maior massa de raízes, proporcionada por quantidades acima de 50% de palhada, provavelmente devido a manutenção de maior umidade no solo, possibilitaram que a cultura tivesse melhores condições de desenvolvimento, acarretando em maior produtividade.

A estiação prolongada, ocorrida até metade do ciclo, proporcionaram condições para que a palhada influenciasse no desenvolvimento das plantas, visto que um dos principais benefícios desta, é promover maior infiltração e retenção de água no solo.

Os resultados obtidos por AQUINO e MEDINA (2014), ao avaliarem a produtividade de cana-planta (variedade SP80 1816) sob diferentes quantidades de palhada, e por AQUINO *et al.*, 2016 ao avaliarem o sistema radicular, corroboram com o presente trabalho. Os autores verificaram que, com a ocorrência de severa deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, os tratamentos com 50 e 75% de palhada proporcionaram aumento de 25% na produtividade média da cultura e aumentou a massa de raízes até 0,20 m de profundidade, em relação aos tratamentos com menores quantidades de palhada. RESENDE *et al.*, (2006) observaram que a manutenção da palhada no sistema proporcionou aumento de 28% na produção de colmos ao longo de 12 ciclos.

No presente trabalho, em condições de deficiência hídrica, a quantidade 50% de palhada foi suficiente para promover melhorias no sistema radicular e na produtividade da cultura, e, acima desse valor, não houve respostas significativas, podendo ser empregado o restante desse resíduo em outros setores, como na produção de bioetanol ou bioenergia, maximizando o aproveitamento energético advindo da cultura, sem prejuízos à sustentabilidade do sistema de cultivo.

### Conclusões

- 1) A mudança do sistema de colheita de cana queimada para cana sob palhada é benéfica ao sistema radicular e a produtividade da cultura.
- 2) Em período de deficiência hídrica, as quantidades 50, 75 e 100% de palhada promovem maior massa de raízes até a profundidade de 0,20 m.
- 3) A colheita com cana queimada diminui a produtividade da cultura, em períodos de deficiência hídrica.
- 4) A manutenção de 50% de palhada (10 t ha<sup>-1</sup>) são suficientes para proporcionar aumento da produtividade, em períodos de suprimento hídrico inadequado, podendo se retirar os 50% de palhada excedente do campo para os processos industriais, sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura.

### Agradecimentos

À PETROBRÁS, pelo financiamento do trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo. À Usina de Bandeirantes, pela cessão da área experimental e apoio técnico nas avaliações.

### Referências Bibliográficas

- AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49, n. 3, 173-180, 2014.
- AQUINO, G. S., MEDINA, C. C., TRONCHINI, E. R., PASINI, A., MENEZES JUNIOR, A. O., HOSHINO, A. T., DE OLIVEIRA, E. C., BRITO, O. R. Root system and yield of sugarcane cultivated under different amounts of straw in southern Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, 11 (7), 563-571, 2016.
- CHAVES, M.M; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 551-560, 2008.
- COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. R. G.; GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 56-63, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013b. 353p.
- FARONI, C.E. Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado) Piracicaba: **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, 2005.
- RESENDE, A. S. *et al.* Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p. 937-941, 2006.
- SILVA, M.A; JERONIMO, E.M.; LÚCIO, A.D. Perfilamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.979-986, 2008.
- SOUZA, Z. M. *et al.* Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v.35, n. 5, p. 1062-1068, 2005.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.
- VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. Encarte técnico **POTAFOS – Informações técnicas**, Piracicaba, n.110, 2005. 32p.
- VASCONCELOS, A.C.M. Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.



# MATÉRIA-PRIMA

## COLHEITA MECANIZADA DE CANA BISADA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA

Juliana Pelegrini Roviero<sup>1</sup>; Gustavo Henrique Gravatim Costa<sup>2</sup>, Igor dos Santos Masson<sup>3</sup>, Márcia Justino Rossini Mutton<sup>4</sup>, Miguel Angelo Mutton<sup>5</sup>; Lidyane Aline de Freitas<sup>6</sup>; Cristhyane Millena de Freitas<sup>7</sup>; Aline Ferreira da Silva<sup>8</sup>; Vitor Teixeira<sup>9</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Microbiologia Agropecuária – FCAV/Unesp Jaboticabal

<sup>2</sup> Doutor em Microbiologia Agropecuária – FCAV/Unesp Jaboticabal

<sup>3</sup> Mestre em Microbiologia Agropecuária – FCAV/Unesp Jaboticabal.

<sup>4</sup> Professora Titular Doutora FCAV/Unesp Jaboticabal

<sup>5</sup> Professor Assistente Doutor FCAV/Unesp Jaboticabal

<sup>6</sup> Doutoranda em Microbiologia Agropecuária – FCAV/Unesp Jaboticabal

<sup>7</sup> Mestranda em Microbiologia Agropecuária – FCAV/Unesp Jaboticabal

<sup>8</sup> Doutoranda em Microbiologia Agropecuária – FCAV/Unesp Jaboticabal

<sup>9</sup> Mestrando em Microbiologia Agropecuária – FCAV/Unesp Jaboticabal

*juroviero@hotmail.com*

### Resumo

A qualidade da matéria-prima é fator que interfere diretamente sobre o processo de industrialização da cana-de-açúcar. A cana bisada é a matéria-prima que permanece no campo por mais de uma safra, podendo carrear maior quantidade de impurezas vegetais e minerais. Com o sistema de colheita mecanizada a quantidade de impurezas pode aumentar, influenciando negativamente a produção do açúcar e de etanol. Objetivou-se avaliar a qualidade da matéria-prima de duas cultivares de cana bisada, SP80-3280 e SP83-2847, em comparação com uma cultivar de cana soca, RB855156 colhidas mecanicamente. Foram avaliadas as características tecnológicas BRIX, POL, Pureza, pH, Acidez, Açúcares Redutores, Açúcares Redutores Totais, Fibra e Impurezas Minerais. Os resultados obtidos indicam que a variedade SP80-3280 (bisada) apresentou qualidade tecnológica inferior quando comparada com demais variedades estudadas. A quantidade de impurezas minerais influenciou negativamente a qualidade tecnológica da variedade RB855156, não bisada.

### Summary

The quality of the raw material is a factor that influences the industrialization of sugarcane. The bisada cane is the raw material that remains in the field for a crop, which may carry larger amount of vegetable and mineral impurities. With mechanical harvesting system the amount of impurities may increase, adversely affecting the production of sugar and ethanol. The objective was to evaluate the quality of the raw material of two sugarcane cultivars bisada, SP80-3280 and SP83-2847 compared to a cultivar RB855156 harvested mechanically. Technological characteristics BRIX were evaluated, POL, purity, pH, acidity, Reducers Sugars, Total Reducers Sugars, Fiber and Impurities Minerals. The results indicate that SP80-3280 variety (bisada) had lower technical quality compared to other varieties studied. The amount of mineral impurities negatively influenced the technological quality of the variety RB855156.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, características tecnológicas, impurezas.

### Introdução

Considerando-se a busca por alternativas energéticas que sejam sustentáveis e economicamente viáveis, o Brasil destaca-se como o maior produtor mundial no cultivo da cana-de-açúcar, além de grande produtor de bioetanol a partir desta matéria-prima. As usinas da região Centro-Sul processaram 2,69 milhões de toneladas na primeira metade de fevereiro de 2016, totalizando, no acumulado desde o início da safra 2015/2016, a moagem atingiu 602,69 milhões de toneladas com aumento de 5,63% comparado com a safra anterior. Este avanço da moagem em período atípico se deu devido ao volume de cana Bisada, os preços atrativos e, pela situação financeira complicada de algumas empresas (UNICA, 2016)

Com a expansão da agricultura energética, aliada às medidas de responsabilidade quanto as mudanças climáticas, foi assinado um Protocolo Agroambiental de cooperação entre o governo e o setor, em junho de 2007, visando consolidar o desenvolvimento sustentável da indústria da cana-de-açúcar no estado de São Paulo (NOVAES *et al.*, 2011). De acordo com o protocolo, a exigência já era de 70%, sendo que a Lei Estadual 10.547/00, alterada pela Lei 11.241/02 previa que a queima em 2011 fosse eliminada em 50% da área de colheita.

Neste contexto houve um aumento da colheita de cana-de-açúcar de forma mecanizada, sem a queima prévia da palhada, amparada pelo Decreto Federal nº 2.661, de 8/7/98, que estabelece a eliminação gradual da queima da cana-de-açúcar. No entanto, as normas que regem a questão das queimadas são em âmbito federal, estadual e municipal (MORAES, 2007).

Ao fim da safra, podem ocorrer problemas que dificultam a colheita da cana-de-açúcar, como por exemplo, o excesso de chuvas, dificuldades na indústria que impossibilitam o processamento, problemas de ordem econômica, excesso de oferta dos produtos no mercado, dentre outros. Sob estas condições a colheita pode ser interrompida, e a cana-de-açúcar permanece no campo por mais um verão sendo denominada cana 'Bisada'.

Neste caso, a matéria-prima fica mais sujeita ao ataque de pragas, ventos e chuvas que podem provocar tombamentos e enraizamentos aéreo, influenciando negativamente a qualidade tecnológica da cana, reduzindo a eficiência dos processos industriais e a qualidade do açúcar e do etanol produzido.

Embora a cana bisada possa apresentar características prejudiciais ao processo industrial, esta também pode beneficiar o processamento industrial, por conter elevados teores de açúcares e de fibra, que podem resultar em maior produção de açúcar cristal e bagaço, utilizado na cogeração de energia. Neste sentido, os conhecimentos gerados nesta área são de extrema importância, e poderão subsidiar a melhor utilização da cana bisada.

Objetivou-se neste estudo comparar qualidade tecnológica do caldo extraído em início de safra de duas variedades de cana bisada e uma variedade de cana não bisada, colhidas mecanicamente.

### Material e Métodos

O experimento foi instalado em áreas de unidade produtora na região de Pradópolis-SP, no período de março a junho de 2010 (safra 2010/2011), e conduzido no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool da FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos foram constituídos de três variedades de cana-de-açúcar: RB855156 (maturação precoce – não bisada), SP80-3280 e SP83-2847 (bisadas).

A coleta de amostras foi realizada após o corte mecanizado da planta, sendo os caminhões carregados enviados ao Laboratório de Pagamento de Cana por Teor de Sacarose (PCTS), onde foram amostrados por “sondas amostradoras horizontais”, retirando-se, aproximadamente, 10kg de material por carga. Estas amostras foram submetidas a ação de desfibrador e, em seguida, à prensa hidráulica para a extração do caldo (TANIMOTO, 1964).

A seguir, foram realizadas as seguintes análises:

- a) BRIX (% de sólidos solúveis): determinado por refratometria a 20°C de acordo com SCHENEIDER (1979);
- b) POL (% de sacarose aparente) segundo SCHENEIDER (1979);
- c) Pureza calculada: POL/BRIX x 100
- d) Acidez: COPERSUCAR (2001);
- e) pH do caldo determinado por leitura direta em medidor digital com correção de temperatura;
- f) Fibra: CONSECANA (2006);
- g) Açúcares Redutores expressos em glicose e dosados pelo método volumétrico de LANE e EYNON (1934);
- i) Açúcares Redutores Totais expressos em glicose e dosados pelo método volumétrico de LANE e EYNON (1934);
- j) Impurezas Minerais: CTC (2005);

Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo Teste F, e as médias obtidas analisadas segundo Teste de Tukey (5%), segundo BANZATO e KRONKA (2006).

### Resultados e Discussão

A (Tabela 1) apresenta os resultados de BRIX, que representa a quantidade de sólidos solúveis, desses 15 a 19% representam açúcares; POL, representando a sacarose aparente (14,5 a 19); e a Pureza que é determinada pela POL/BRIX x100, sendo que quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar.

Observou-se um BRIX maior para a variedade bisada SP83-2847, caracterizando uma matéria-prima adequada ao processamento industrial, pois segundo Delgado e César, (1977) os teores de BRIX ideais para processamento industrial deve ser  $\geq 18$  (Tabela 1). Considerando o padrão de qualidade citado por Amorim, (2005), neste experimento, apenas a SP80-3280 não atendeu os valores recomendados para POL (>14) e PUREZA (>85) do caldo extraído.

NOGUEIRA, 2010 relata que a cana bisada conta com uma produtividade maior, mas com qualidade inferior, o que pode ser observado, comparando-se os resultados obtidos de PUREZA entre a variedade não bisada e as duas variedades não bisadas, verificando-se que estes foram inferiores.

**Tabela 1.** Valores médios obtidos para BRIX, POL e Pureza do caldo extraído para as cultivares estudadas. Pradópolis/SP. Safra 2010/2011.

Cultivares	BRIX	POL	Pureza
RB855156 (ano)	17,24AB	15,13A	87,37A
SP83-2847 (bisada)	18,23A	15,32A	86,37AB
SP80-3280 (bisada)	15,78B	13,06B	83,27B
DMS	2,17	1,98	3,12
Teste F	4,32*	5,34*	6,08*
CV	8,50	9,14	2,44

As médias na coluna seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 = < p < 0,05$ ). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Analisando-se o teor de AR no caldo extraído das 3 variedades (Tabela 2), verificou-se que somente a RB855156 apresentou valores recomendados por Amorim (2005), abaixo de 0,8%. Maior quantidade destes compostos para as variedades bisadas eram esperadas, uma vez que o segundo verão no campo induz novo estágio vegetativo na planta (STUPIELLO, 2009).

Os açúcares redutores são essenciais para a produção de açúcar pois auxiliam na cristalização da sacarose, além de serem utilizados na produção de etanol, quando metabolizados pelas leveduras, aumentando o rendimento da indústria (ALBUQUERQUE, 2011).

As médias de ART (Tabela 2) não foram significativas entre as cultivares, não atendendo os valores recomendados por AMORIM (2005), que recomenda valores maiores que 15%. Os valores obtidos para pH não foram significativos, mostrando que o caldo apresentava características semelhantes no momento da amostragem.

A Acidez Total das duas cultivares bisadas (Tabela 2) está acima do recomendado por AMORIM (2005) que é menor que 0,80 (g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L), o que está relacionado ao pH, que está baixo para as cultivares, podendo ser explicado pelo seu estágio de maturação que ainda não era o ideal (MUTTON, 2003).

**Tabela 2.** Valores médios obtidos para Açúcares Redutores, Açúcares Redutores Totais, pH e Acidez do caldo extraído para as cultivares estudadas. Pradópolis/SP. Safra 2010/2011.

Cultivares	AR (%)	ART (%)	pH	Acidez (g/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
<b>RB855156 (ano)</b>	0,71B	12,57A	4,83A	1,51A
<b>SP83-2847 (bisada)</b>	1,05AB	13,17A	4,92A	1,05B
<b>SP80-3280 (bisada)</b>	1,16A	11,29A	4,55A	1,18AB
<b>DMS</b>	0,39	3,29	0,44	0,37
<b>Teste F</b>	4,84*	1,14ns	2,52ns	5,72*
<b>CV</b>	26,56	17,81	6,23	19,62

As médias na coluna seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 ≤ p < 0,05). ns não significativo (p ≥ 0,05). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Com relação aos valores médios Impurezas Minerais e Fibra (Tabela 3) verificou-se diferença significativa entre as cultivares. A cultivar SP83-2847, bisada, apresentou maiores valores de Fibra e, Segundo CAMPOS *et al.*, (2008), a cana crua tem maior quantidade de massa verde em sua estrutura foliar o que pode, dentre outros problemas, dificultar a colheita mecanizada.

Quando se observa a presença de impurezas vegetais secas, o incremento da fibra é muito mais intenso, sendo que este comportamento é resultante da reabsorção do caldo pelas fibras durante a prensagem, promovendo o aumento do peso úmido, refletindo diretamente na fibra % cana (STUPIELLO e MUTTON, 2015).

**Tabela 3.** Valores médios obtidos Impurezas minerais e Fibra comparando as cultivares estudadas. Pradópolis/SP. Safra 2010/2011.

Cultivares	Impureza Mineral (%)	Fibra (%)
<b>RB855156 (ano)</b>	7,88A	11,61B
<b>SP83-2847 (bisada)</b>	2,66B	13,83A
<b>SP80-3280 (bisada)</b>	3,78AB	12,19B
<b>DMS</b>	1,07	0,73
<b>Teste F</b>	4,57*	33,35**
<b>CV</b>	35,19	3,89

As médias na coluna seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01). \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 ≤ p < 0,05). (p ≥ 0,05). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Considerando-se que os valores recomendados de Fibra são de 11% a 13% (AMORIM, 2005), verifica-se que as variedades bisadas apresentaram maior teor de fibra. O maior teor de fibra da cana bisada é importante, uma vez que contribui a geração de energia no início da safra.

Resultados apresentados na literatura mostram efeito significativo para a interação tipo e teores de impurezas, mostrando que os tipos de impurezas comportam diferentemente à medida que os teores se elevam (STUPIELLO e MUTTON, 2015).

A quantidade de Impurezas Minerais contidas na RB855156, foi elevada quando comparada com o parâmetro de qualidade sugerido por AMORIM (2005), que deve ser menor que 5 kg/t cana. Este fato pode influenciar negativamente a microbiologia fermentativa desta matéria-prima, além de interferir diretamente em determinações analíticas, elevando a quantidade de torta-de-filtro formada pela unidade industrial (ALBUQUERQUE, 2011).

### Conclusões

Com os resultados obtidos pode-se observar que a variedade SP80-3280 (bisada) apresentou qualidade tecnológica inferior quando comparada com demais variedades estudadas. A quantidade de impurezas minerais influenciou negativamente a qualidade tecnológica da variedade RB855156, não bisada. É necessário que haja uma avaliação das cultivares a serem bisadas, para que a indústria não sofra grandes perdas.

## Agradecimentos

À Usina São Martinho por ceder o material desta pesquisa.

## Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, F. M. Processo de fabricação do açúcar. Editora Universitária UFPE. 3ª edição. Recife, 2011.
- AMORIM, H. V. de Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia. Piracicaba: Fermentec, 2005. 448 p.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006, 237 p.
- CAMPOS, CASSIANO M.; MILAN, MARCOS; SIQUEIRA, LUIZ F. F.. **Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 28, n. 3, p.554-564, 2008.
- CONSECANA. **Normas de avaliação da qualidade da cana-de-açúcar**. 2006.
- COPERSUCAR. **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Piracicaba, 2001.
- CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2005.
- DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Sertãozinho:Zanini, 1977. v. 2, 752 p.
- LANE, J. H.; EYNON, L. **Detemination of reducing sugars by fehling solution with methylene blue indicator**. London: Norman Rodger, 1934. 8p.
- MORAES, M. A. F. D. **O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades**. Econ. Apl., Ribeirão Preto , v. 11, n. 4, p. 605-619, 2007.
- MUTTON, M. J. R. **Reflexos da qualidade da matéria-prima no processo industrial: perdas de açúcares: do campo ao produto final**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DA STAB, Águas de São Pedro. **Anais**. Águas de São Pedro, 2003 (CD ROOM).
- NOGUEIRA G. Cana Bisada: a primeira a ser processada em 2010. **Revista Canavieiros**, 2010.
- NOVAES, M. R.; RUDORFF, B. F. T; ALMEIDA, C. M. e AGUIAR, D. A. **Análise espacial da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar: perspectivas futuras ao cumprimento do protocolo agroambiental**. Eng. Agríc. [online]. 2011, vol.31, n.3, pp. 572-583.
- SCHENEIDER, F. **Sugar analysis ICUMSA methods**. 1979. 265p.
- STUPIELLO, J. P. **Aumento da cana bisada preocupa especialistas**. Data. Disponível em: <http://www.jornaldacana.com.br>. Acesso em: 2009.
- STUPIELLO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Conversando com a Cana. **Revista STAB**, Julho/Agosto, 2015.
- TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiians Planter's Record**, Aiea, 1964. v. 57, p. 133-150.
- UNICA, **Acompanhamento da safra atual na região centro-sul**, <http://www.unicadata.com.br/> acesso em 13/05/2016, 2016.

## ADIÇÃO DE IMPUREZAS VEGETAIS NA CANA CRUA E INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DO CALDO E DA CANA

Leonardo Lucas Madaleno<sup>1</sup>, Elaine Hartmann Ferri<sup>2</sup>, Rodrigo Vezzani Franzé<sup>2</sup>,  
Caio Augusto Fermino<sup>2</sup>, Josiene Rocha Teixeira<sup>1</sup>, Márcio Roberto De Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fatec Nilo De Stéfani – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Av. Eduardo Zambianchi, 31, Zona Industrial, Jaboticabal-SP.

<sup>2</sup>Usina Santa Fé S.A., Açúcar Itaquerê – Nova Europa-SP.

*leonardo.madaleno@fatecjaboticabal.edu.br*

### Resumo

Uma lacuna no setor é a definição do impacto do aumento das impurezas vegetais (folhas, palmito e palhas) sobre a produção do açúcar e etanol. O objetivo do presente trabalho foi estudar a crescente adição de impurezas vegetais em duas variedades e verificar a influência na qualidade da cana e do caldo. O delineamento experimental utilizado foi em fatorial (2x5) em blocos casualizados, com 4 repetições. O primeiro fator foram as duas variedades, RB867515 e SP83-2847, de primeiro corte. O segundo fator foi: a adição de impurezas, a saber: testemunha (colmos limpos), 3, 6, 9 e 12% de impurezas com folhas, palmito e palha adicionadas de forma conjunta. O experimento foi realizado em julho, durante a safra 2015/2016, em área da Usina Santa Fé, Nova Europa-SP. Foram feitas análises tecnológicas no caldo extraído e na cana. Houve aumento de 47% no AR, na comparação da cana limpa em relação ao nível de 12% de impurezas vegetais, 32% para acidez sulfúrica e 9% para o teor de cinzas. Para o volume do caldo houve redução da extração pelo aumento de fibra, principalmente na variedade RB867515. Para a Cor ICUMSA e amido não houve diferenciação para as impurezas vegetais adicionadas.

**Palavras-chave:** matéria-prima, folhas verdes, palmito, palha, cana-de-açúcar, colheita, caldo extraído.

### Summary

A gap in alcohol and sugar industry is the definition of impact of vegetables impurities (green leaf, tops and straw) in it products. The aim of this study was verify effect of impurity addition on two varieties in juice extracted and cane quality. The experimental design was factorial (2x5) with randomized blocks, and four repetitions. The first factor was two varieties (RB867515 and SP83-2847, first harvest) and second factor was vegetable impurities: control treatment (clean stalks), 3, 6, 9 and 12% with green leaves, tops and straw blended. The experiment was made on July, during 2015/2016 season, at Santa Fé sugar mills, Nova Europa-SP, Brazil. Technological analysis of cane and extracted juice was made. Reducing sugars increases 47%, comparing clean stalks with 12% vegetables impurities levels, 32% for acidity and 9% for ash. The juice volume was reduced with increase of fiber, main with RB867515 variety. ICUMSA color and starch was no different with increase of vegetables impurities.

**Keywords:** raw material, green leaves, palm, straw, sugarcane harvest, the juice extracted.

### Introdução

A matéria-prima utilizada para a produção de açúcar e etanol é definida como o conjunto das características tecnológicas da cana colhida mais as impurezas que são carreadas no momento da colheita (FERNANDES, 2011). As impurezas podem ser de origem vegetal (partes da cana como palha, palmito, folhas e plantas daninhas) (EGGLESTON et al., 2010) e parte mineral (partículas de solo e areia) (FERNANDES, 2011).

A colheita da cana pode ser feita com queima prévia ou sem queima (cana crua), o que leva também a interferência sobre a qualidade. Áreas de cana crua tem maior quantidade de impurezas vegetais que são adicionadas à matéria-prima, pois se utilizam de colheita com máquinas, enquanto que nas glebas que sofreram queimadas, o corte é facilitado, podendo ser manual ou mecanizado e as impurezas ocorrem em menor grau (EGGLESTON et al., 2010).

Uma lacuna no setor é a definição do impacto do aumento das impurezas vegetais (folhas, palmito e palhas) na cana crua sobre a produção do açúcar e etanol. A folha é responsável pela fotossíntese e no momento da colheita pode ficar aderida aos colmos e não ser retirada. Essa parte vegetativa é rica na concentração de amido e ácidos orgânicos que estão presentes nas células e podem reduzir a qualidade do caldo (BOVI e SERRA, 2001).

O palmito é localizado em torno da gema apical da planta (região do cartucho). Essa parte é descartada no momento da colheita por conter teores elevados de biomoléculas que atrapalhariam o processamento industrial como os compostos fenólicos, amido e apresenta ainda reduzida quantidade de açúcares. A palha é a folha seca (morta) e pode atuar como efeito “esponja” no momento da extração e diminuir a quantidade do caldo extraído. O potássio (K), no momento da extração pode ser arrastado da palha e aumentar os teores deste nutriente no caldo. Esse elemento é conhecido por tornar mais difícil a cristalização no processo de produção de açúcar (efeito melassigênico), levando à menor recuperação da sacarose (ALBUQUERQUE, 2011).

Poderia se regular a colhedora para que, no momento da colheita, se evitasse o aumento de impurezas ou mesmo se ter previsão do que acontece quando o excesso de impureza entra no processamento industrial de produção de açúcar e etanol e quais providências poderiam ser tomadas para minimizar os efeitos negativos. Dentro deste contexto, o objetivo do presente trabalho foi estudar a crescente adição de impurezas vegetais em duas variedades e verificar a influência na qualidade da cana e do caldo extraído.

### Materiais e Métodos

O experimento foi realizado em conjunto entre a FATEC Jaboticabal e a usina Santa Fé, Nova Europa-SP. A usina cedeu a cana e na FATEC foi utilizado os laboratórios para a desintegração da cana, extração do caldo e realização das análises tecnológicas. O delineamento experimental utilizado foi em fatorial (2x5) em blocos casualizados, com 4 repetições. O primeiro fator foram duas variedades, RB867515 e SP83-2847, de primeiro corte. O segundo fator foi a adição de impurezas, a saber: testemunha (colmos limpos), 3, 6, 9 e 12% de impurezas com folhas, palmito e palha adicionadas de forma conjunta. O experimento foi realizado em julho, durante a safra 2015/2016.

A cana foi obtida em área de colheita da usina, que se utilizou de colaboradores da indústria para realizarem a separação das impurezas vegetais da cana: folha verde, palmito (cartucho) e palha. O material foi conduzido para a Fatec Jaboticabal, onde se realizaram a simulação de adição das impurezas. Para todos os tratamentos as canas (com ou sem impureza) foram submetidas ao desintegrador e foram separados 500g para ser extraído o caldo em prensa hidráulica. Para o tratamento testemunha foi utilizada somente a cana desintegrada. Para o crescente aumento de impurezas, por exemplo, foram adicionadas 5g de cada tipo de impureza desintegrada (folha, palmito e palha) em 485g de cana desintegrada para simular o tratamento com 3%, como apresentado na tabela 1.

Utilizou-se de 3 a 6% para simular o máximo de impurezas vegetais permitido para colheita mecanizada, segundo DINARDO-MIRANDA *et al.*, (2008) e 9% com todas impurezas juntas, comumente encontrado na Usina Santa Fé que possui 98% das áreas de cana colhida mecanicamente. O tratamento com 12% seria extremo e o dobro do encontrado na literatura.

**Tabela 1.** Tratamentos de impurezas empregados e respectivas quantidades de colmos limpos e tipos de impurezas (palmito, folha verde e palha) a adicionar.

Tratamentos (%)	Colmos limpos (g)	Cada impureza (g)	Impureza total (g)
0	500	0	0
3	485	5	15
6	470	10	30
9	455	15	45
12	440	20	60

A extração do caldo foi realizada por prensa hidráulica e as características da cana e do caldo foram determinadas utilizando os seguintes atributos: a) Teor de sólidos solúveis (<sup>o</sup>Brix), por refratometria a 20 °C e Pol do caldo (SCHENEIDER, 1979); b) pH do Caldo, por leitura direta utilizando-se de peagômetro digital; c) Acidez Total, por titulometria e expressa em g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> L<sup>-1</sup> segundo Copersucar (2001); d) Fibra % Cana (CONSECANA, 2008 e TANIMOTO, 1964), Pureza Aparente do Caldo e Cálculo de Açúcares redutores (AR), segundo método indicado pela Consecana (2008) e AR determinado, segundo CTC (2011); e) Umidade, através da secagem da cana desintegrada em estufa a 65 °C por 48 horas, segundo Madaleno (2010), amido (mudança do delineamento com realização de três repetições) e cor (CTC, 2011). Foi determinado o volume de caldo extraído na prensa hidráulica, com aferição em proveta de 500 mL. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de Tukey (P≤0,05) (BARBOSA & MALDONADO JÚNIOR, 2015).

## Resultados e Discussão

Nas (Tabelas de 2 a 4) se verifica que houve diferença estatística entre as variedades, o que é comum, apesar das duas serem de primeiro corte e colhidas no mesmo dia. No entanto, as duas se apresentam com a maturação incompleta, sendo que a SP83-2847 mais atrasada em relação a variedade RB867515. A primeira apresenta AR consecana, acidez sulfúrica mais elevados, pH e principalmente Pureza, que estava muito baixa (75,24%) em relação a segunda. A maturação não plena prejudica os processos de recuperação de açúcar e etanol, pois o tratamento do caldo não será eficiente, com, por exemplo, maior quantidade de ácidos que impedem a formação de coloides (MADALENO, 2010). A pureza baixa dificulta a cristalização no momento do cozimento (ALBUQUERQUE, 2011). O maior nível de ácidos prejudica o processo fermentativo (RAVANELI *et al.*, 2011).

Para a quantidade de impurezas adicionadas se verificou que houve diferença significativa para AR determinado, acidez sulfúrica (Tabela 2), volume de caldo extraído, fibra Consecana e Tanimoto e teor de cinzas (Tabela 3). Houve aumento de 47% no AR, na comparação da cana limpa em relação ao nível de 12% de impurezas vegetais. Para os outros atributos, como a acidez sulfúrica o aumento foi de 32%, com todas as implicações que podem ter na dificuldade de recuperação de açúcar e dificuldade do processo fermentativo. O teor de cinzas também aumentou (9%), implicando na maior dificuldade de cristalização, pelo efeito melassigênico durante a formação do cristal no cozimento (ALBUQUERQUE, 2011).

Para o volume do caldo houve interação significativa (Tabela 3), demonstrada na (Figura 1 A), que revela que houve redução da extração pelo aumento de fibra, principalmente na variedade RB867515. Para as fibras tanto na análise por Consecana (Figura 1 B) e Tanimoto (Figura 1 C), houve aumento nas duas variedades, no entanto, com mais intensidade para a variedade RB867515. As variedades possuíram diferença entre a quantidade de fibra e esse é um dos principais efeitos quando se aumenta a quantidade de impurezas, que implica na maior dificuldade de extração.

**Tabela 2.** Análise de variância e teste de Tukey para Brix, Pol, Pureza, Açúcares redutores (AR) determinado, AR Consecana, Acidez sulfúrica (g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> L<sup>-1</sup>) e pH do caldo extraído de cana crua com adição crescente de impurezas vegetais (folha + palmito + palha) em duas variedades colhidas em julho, durante a safra 2015/2016, Nova Europa – SP.

Causas de variação	Brix	Pol	Pureza	AR determinado	AR Consecana	Acidez sulfúrica	pH
<b>Variedades (V)</b>	0,22 <sup>ns</sup>	14,51 <sup>**</sup>	15,16 <sup>**</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	15,12 <sup>**</sup>	160,66 <sup>**</sup>	46,79 <sup>**</sup>
RB867515	19,19	15,91 A	82,90 A	1,06	0,79 B	1,24 B	4,83 B
SP83-2847	19,1	14,39 B	75,24 B	1,10	1,06 A	2,11 A	5,15 A
<b>Impurezas Vegetais (I)</b>	0,11 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	2,86 <sup>*</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	5,83 <sup>**</sup>	1,62 <sup>ns</sup>
0	19,05	15,89	83,40	0,86 B	0,78	1,45 B	5,09
3	19,25	14,89	77,28	1,01 AB	0,98	1,53 B	5,03
6	19,13	14,62	76,26	1,15 AB	1,02	1,76 AB	4,98
9	19,16	15,55	81,13	1,11 AB	0,86	1,73 AB	4,94
12	19,15	14,79	77,27	1,26 A	0,99	1,91 A	4,92
<b>Blocos</b>	9,39 <sup>**</sup>	6,33 <sup>**</sup>	3,41 <sup>*</sup>	6,45 <sup>**</sup>	3,36 <sup>*</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	29,93 <sup>**</sup>
<b>Interação V x I</b>	0,24 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
<b>CV</b>	3,17	8,32	7,87	23,67	23,02	12,92	2,95

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, <sup>ns</sup> não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05).

**Tabela 3.** Análise de variância e teste de Tukey para Volume de caldo (mL) extraído na prensa hidráulica, Fibra Consecana, Fibra Tanimoto, Umidade (%), Pol cana, Açúcares redutores (AR) da cana, e cinzas (% m.v<sup>-1</sup>) do caldo extraído de cana crua com adição crescente de impurezas vegetais (folha + palmito + palha) em duas variedades colhidas em julho, durante a safra 2015/2016, Nova Europa – SP.

Causas de variação	Volume (mL)	Fibra Consecana	Fibra Tanimoto	Umidade	Pol Cana	AR Cana	Cinzas
<b>Variedades (V)</b>	2,90 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	6,15 <sup>*</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	14,52 <sup>**</sup>	15,22 <sup>**</sup>	536,03 <sup>**</sup>
RB867515	323	12,84	13,15 A	69,66	13,28 A	0,66 B	0,94 B
SP83-2847	319	12,67	12,50 B	68,63	12,04 B	0,88 A	1,32 A
<b>Impurezas Vegetais (I)</b>	17,94 <sup>**</sup>	26,08 <sup>**</sup>	6,27 <sup>*</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	4,36 <sup>**</sup>
0	335 A	11,76 C	11,91 C	70,16	13,50	0,66	1,11 B
3	330 A	12,17 C	12,46 BC	68,18	12,57	0,83	1,11 B
6	316 B	13,04 B	12,75 ABC	68,92	12,16	0,85	1,16 AB
9	316 B	13,07 B	13,15 AB	70,02	12,92	0,71	1,16 AB
12	308 B	13,74 A	13,86 A	68,43	12,14	0,81	1,21 A
<b>Blocos</b>	2,27 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	4,35 <sup>*</sup>	6,55 <sup>**</sup>	3,41 <sup>*</sup>	13,56 <sup>**</sup>
<b>Interação V x I</b>	3,78 <sup>*</sup>	6,77 <sup>**</sup>	2,91 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
<b>CV</b>	2,31	3,41	6,44	8,23	8,09	23,14	4,92

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, <sup>ns</sup> não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05).

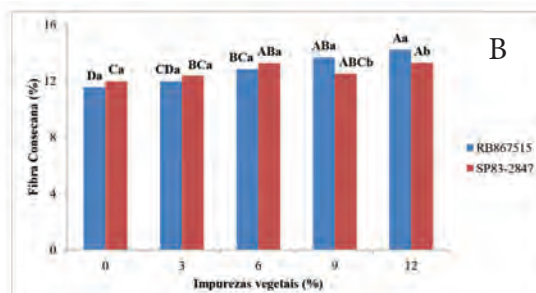
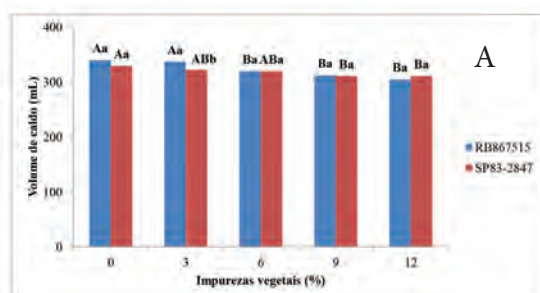
**Tabela 4.** Análise de variância e teste de Tukey para Cor ICUMSA (U.I.) e Amido (mg L<sup>-1</sup>) do caldo extraído de cana crua com adição crescente de impurezas vegetais (folha + palmito + palha) em duas variedades colhidas em julho, durante a safra 2015/2016, Nova Europa – SP.

Causas de variação	Cor ICUMSA	Amido
<b>Variedades (V)</b>	40,07 <sup>**</sup>	39,69 <sup>**</sup>
RB867515	8563 B	262 B
SP83-2847	12482 A	363 A
<b>Impurezas Vegetais (I)</b>	0,20 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
0	10329	304
3	10212	324
6	10973	315
9	10387	319
12	10707	301
<b>Blocos</b>	4,58 <sup>*</sup>	1,60 <sup>ns</sup>
<b>Interação V x I</b>	0,36 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>
<b>CV</b>	18,60	14,02

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, <sup>ns</sup> não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05).

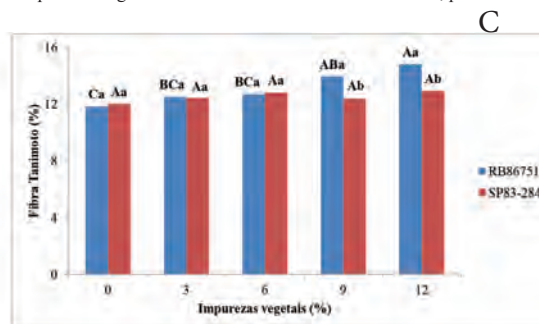
Na (Tabela 4) se verifica que não houve diferença estatística para as impurezas em fatores esperados como a Cor ICUMSA e o amido. A literatura está concentrada em relatos de aumento desses atributos, com aumento das impurezas vegetais na matéria-prima. No entanto, pode ser o problema no processo de extração que se utilizou, no presente estudo, da prensa hidráulica, em que não há embebição. A água usada com temperatura elevada ajuda na remoção dos açúcares, mas também do amido e compostos coloridos que estão retidos nas folhas verdes (BOVI e SERRA, 2001).

A determinação dos efeitos desses fatores na análise do caldo deve ser feita com outro modo de simulação, pois para estes atributos não reflete a realidade que ocorre dentro da indústria. Para diferenciação das variedades, as análises se mostraram significativas, com possibilidades de problemas para a produção de açúcar e etanol com a variedade SP, pois esta se apresentou com elevada cor e teor de amido, em relação a RB.





**Figura 1.** Interação entre as variedades e a quantidade adicionadas de impurezas vegetais para: A. Volume do caldo (mL); B. Fibra Consecana; C. Fibra Tanimoto. Letras Maiúsculas comparam entre as impurezas vegetais e letra minúscula entre as variedades, pelo Teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).



### Conclusão

A adição de impurezas vegetais na cana crua diminui a qualidade da cana, com aumento da fibra e redução do volume de caldo extraído. Para a qualidade do caldo, o aumento de impurezas eleva a quantidade de açúcares redutores, acidez e cinzas.

### Agradecimentos

À Fapesp pelo auxílio financeiro, através do projeto BIOEN, em pesquisa regular, processo 2015/05567-4.

### Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. 3ª edição, Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011, 447p.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação Agrônômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015, 396 p.
- BOVI, R.; SERRA, G. E. **Folhas verdes, folhas secas, fibra do colmo e a clarificação do caldo da cana-de-açúcar**. Scientia Agricola, Piracicaba, v.58, n. 3, p. 457-463, 2001.
- CONSECANA. **Normas de avaliação da qualidade da cana-de-açúcar**. Disponível em: < <http://www.unica.com.br> >. Acesso em: 21 Set. 2008.
- COPERSUCAR. **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Piracicaba, 2001. 1 CD-Rom.
- CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2011. Disponível em CD Rom.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Ed: Instituto Agrônômico, Campinas, 2008, 882p.
- EGGLESTON, G.; GRISHAM, M.; ANTOINE, A. **Clarification properties of trash and stalks tissues from sugarcane**. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 58, p. 366-373, 2010.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar**. 3ª Edição, STAB: Piracicaba, 2011, 416p.
- MADALENO, L. L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido**. 2010. 80f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.
- RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J. P.; MUTTON, M. J. R. **Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 2, p. 120-129, 2011.
- SCHENEIDER, F. (Ed.) **Sugar analysis ICUMSA methods**. Peterborough:ICUMSA 1979, 265 p.
- TANIMOTO, T. **The press method of cane analysis**. Hawaiians Planter's Record, Aiea, v. 57, p. 133-150, 1964.

## ARMAZENAMENTO DA CANA CRUA PICADA E EFEITO SOBRE A QUALIDADE DO CALDO E DA CANA

Leonardo Lucas Madaleno<sup>1</sup>, Elaine Hartmann Ferri<sup>2</sup>, Rodrigo Vezzani Franzé<sup>2</sup>,  
Caio Augusto Fermino<sup>2</sup>, Natália Novais Ribeiro<sup>1</sup>, César Aparecido Rateiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fatec Nilo De Stéfani – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Jaboticabal-SP.

<sup>2</sup>Usina Santa Fé S.A., Açúcar Itaquerê – Nova Europa-SP.

leonardo.madaleno@fatecjaboticabal.edu.br

### Resumo

Uma das operações mais importantes para as usinas está na colheita e a entrega da cana. Para reduzir o custo da colheita foi idealizado, por várias unidades industriais, o sistema “bate e volta” que diminui o tempo de espera dos caminhões dentro da usina. O objetivo do presente estudo foi avaliar o armazenamento da cana crua picada e o efeito sobre a qualidade do caldo e da cana. O delineamento experimental foi o em parcelas subdivididas (4x3) em blocos casualizados, com 4 repetições. O tratamento principal foi os tipos de armazenamento, a saber: testemunha (horário de chegada da cana na usina, com processamento imediato, sendo este o tempo zero), 6, 12, 18 e 24h. O tratamento secundário foram épocas de colheita: maio, agosto/setembro e novembro/dezembro, para simulação do início, meio e final de safra. Esses tratamentos foram avaliados durante a safra 2015/2016. Foram feitas análises tecnológicas da cana e do caldo extraído. Os resultados revelam que o efeito do armazenamento sobre a qualidade da matéria-prima é complexo, no entanto, se observa que há redução da qualidade do caldo através da acidez, perda de massa da cana armazenada e, quando há precipitação sobre a carga, ocorre a lixiviação da sacarose.

**Palavras-chave:** bate e volta, provisionamento, análises tecnológicas, colheita.

### Summary

One of most important operation for sugar mills are sugarcane harvest and raw material delivery. To reduce harvest cost was idealized, for many industrial units, the “hit and back” system that decrease the trucks lead time on sugar industry. The aim of this study was evaluate storage of green cut cane and consequent effect on sugarcane and juice quality. The experimental design was split-plots (4x3) with randomized blocks and four repetitions. The main treatment was sugarcane storage that was processed with zero time (as soon as sugarcane arrives), 6, 12 and 24h after, whereby the sugar mill. The second treatment was harvest that was made on May, August/September and November/December, to simulation beginning, middle and final, during 2015/2016 season. We made technological analysis of cane and extracted juice. Results shows that storage effects on raw material quality were complex, however, there was extracted juice quality reduction by acidity, loss of cane storage weight and, when rain falls on the box (that represents cane storage on trucks), sucrose leaching occurred.

**Keywords:** Hit and back, storage, thecnological analysis, harvest.

### Introdução

O setor sucroenergético é responsável por 1,5% do PIB do Brasil (NEVES, 2008) e possui como principais produtos o açúcar, etanol e a energia produzida com a queima do bagaço da cana. Na safra 2014/2015 a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) processada pelas indústrias foi de 632.127 mil toneladas, sendo o estado de São Paulo responsável por 53,43% (UNICADATA, 2016). Segundo os mesmos autores, foram produzidos naquela safra aproximadamente 35 milhões de toneladas de açúcar e 28 bilhões de litros de etanol no país.

Uma das operações mais importantes para as usinas está na colheita e a entrega da cana. Após o corte, o colmo passa por processos de degradação fisiológicos como a transpiração e a respiração com a metabolização da sacarose em outros compostos, degradação microbológica pela ação de micro-organismos e a degradação tecnológica pela adição de impurezas (SOLOMON, 2009). Portanto, os estudos sobre a qualidade da matéria-prima são muito amplos e, apesar da quantidade, existem lacunas que ainda precisam ser preenchidas para aumentar a eficiência da indústria.

Uma das lacunas é o provisionamento da cana picada que chega à unidade industrial. Atualmente, a usinas têm se utilizado do sistema “bate e volta” para colheita da cana, por ser o mais rápido e eficiente para que não falte cana ao processamento. A cana colhida é adicionada as carretas dos caminhões e transportada até a usina. Quando a matéria-prima chega à fábrica, o caminhão se desacopla da carreta cheia, deixando-a esperando para ser processada. Após deixar a carreta cheia, o caminhão se conecta a outra vazia e vai para a mesma frente ou outra que necessite de caminhão para transporte.

O tempo para cana crua e picada ficar provisionada é fator a ser estudado, pois em média, a cana que chega à indústria demora em torno de 2 h para ser processada, sem contar o tempo de transporte do campo para a usina que em média gira em torno de 30 a 40 min. Esse tempo pode ser maior em dias de chuva. Como a cana é picada em toletes que medem de 15 a 20 cm, o processo de degradação pode ser mais rápido do que a cana inteira queimada, por possuir maior área de contato (locais de corte expostos).

Dentro deste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o armazenamento da cana crua picada, simulando o sistema bate e volta, verificando o efeito na qualidade do caldo e da cana.

### Material e Métodos

O experimento foi realizado em conjunto entre a FATEC Jaboticabal e a usina Santa Fé, Nova Europa-SP. A usina cedeu a cana e laboratório para a realização da extração do caldo e na FATEC foram realizadas as análises tecnológicas do caldo. O delineamento experimental foi o em blocos casualizados com parcelas subdivididas (4x3), com 4 repetições. O tratamento principal foi os tipos de armazenamento,

a saber: testemunha (horário de chegada da cana na usina, com processamento imediato, sendo este o tempo zero), 6, 12, 18 e 24h. O tratamento secundário foi épocas de colheita: maio, agosto/setembro e novembro/dezembro, para simulação do início, meio e final de safra. Esses tratamentos foram avaliados durante a safra 2015/2016.

Na realização de cada repetição (bloco – dias de colheita com diferentes variedades) a área de cana-de-açúcar a ser colhida foi determinada pela unidade industrial e a matéria-prima foi transportada para usina, por carro próprio da usina. A cana foi colocada em caixas plásticas perfuradas (simulando o caminhão). Essas caixas permaneceram ao lado de fora do laboratório PCTS (pagamento de cana pelo teor de sacarose) para simulação dos tempos de armazenamento sem proteção e expostas as condições ambientais (com chuva no início e final de safra e sem chuva no meio da safra).

As caixas foram cheias até o máximo volume (como é feito com o caminhão no momento de enchimento com o transbordo, que vem da área de colheita), sendo mensurado a massa inicial que ficou entre 18 a 20 kg para o início e final de safra e de 20 a 25 kg no meio da safra. A diferença entre as massas das caixas se deu porque nos diferentes dias de colheita houve diferentes níveis de impurezas vegetais adicionadas, e no meio de safra com menor impureza e maior quantidade de cana adicionada. Para o mesmo dia (bloco) se procurou ao máximo a homogeneização de volume de matéria-prima entre as caixas.

No momento de chegada (tempo zero), a amostra de cana foi processada para extração e análise do caldo. Após 6 horas, outra amostra foi processada e assim nos tempos de 12, 18 e 24h. A extração do caldo foi realizada por prensa hidráulica e as características da cana e do caldo foram determinadas utilizando os seguintes atributos: a) Teor de sólidos solúveis (<sup>o</sup>Brix), por refratometria a 20 °C e Pol do caldo (SCHENEIDER, 1979); b) pH do Caldo, por leitura direta utilizando-se de peagômetro digital; c) Acidez Total, por titulometria e expressa em g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> L<sup>-1</sup> segundo Copersucar (2001); d) Fibra % Cana e Fibra Tanimoto (TANIMOTO, 1964), Pureza Aparente do Caldo e Cálculo de Açúcares redutores (AR), segundo método indicado pela Consecana (2008); e) Umidade, através da secagem da cana desintegrada em estufa a 65 °C por 48 horas, segundo Madaleno (2010), amido e cor (CTC, 2011).

Foi determinada a massa das caixas no momento da chegada da cana na usina e posteriormente no momento de trituração da cana em desintegrador para início da extração do caldo. A perda de massa foi calculada, a seguir: % perda de massa = 100 - (((Massa da cana no momento de desintegrar-tara)\*100)/(massa da cana no momento que chega na usina-tara)). Amido, cor e a porcentagem de massa perdida foram feitos somente no meio e final de safra.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de Tukey (P<0,05) (BARBOSA & MALDONADO JÚNIOR, 2015).

## Resultados e Discussão

Nas (Tabelas de 1 a 3), se verifica que não houve diferença estatística para sólidos solúveis, teor de sacarose aparente, pureza, açúcares redutores (Consecana e determinado), pH, fibra (Consecana e Tanimoto), Pol e AR cana, umidade, cinzas, amido e cor ICUMSA do caldo extraído para os tempos de armazenamento até 24h. Houve tendência em alguns parâmetros principalmente entre o tempo 0 e 24h, no entanto, não houve tempo suficiente para degradação significativa da matéria-prima. Com exceção da acidez sulfúrica (Tabela 1) que aumentou conforme passou o tempo de provisionamento. O maior nível de acidez indica a ação de micro-organismos na cana que iniciam a deterioração da matéria-prima através da transformação de sacarose em ácidos (RAVANELI et al. (2011), pela fermentação láctica e acética (BASSO et al., 2014). O maior nível de acidez também pode influenciar negativamente o processo de clarificação do caldo, dificultando a formação de colóides para a produção de açúcar (MADALENO, 2010).

**Tabela 1.** Análise de variância e teste de Tukey para Brix, Pol, Pureza, Açúcares redutores (AR) determinado e Consecana, Acidez sulfúrica (g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> L<sup>-1</sup>) e pH do caldo extraído de cana crua armazenada em tempo crescente de 0 a 24h, no início (Maio), meio (Agosto/Setembro) e final da safra (Novembro/Dezembro), 2015/2016, Nova Europa – SP.

Causas de variação	<sup>o</sup> Brix	Pol	Pureza	AR determinado	AR Consecana	Acidez	pH
<b>Blocos</b>	118,54**	105,74**	19,78**	17,34**	19,51**	1,57 <sup>ns</sup>	4,85*
<b>Armazenamento (A)</b>	1,79 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>	2,78 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	4,33*	0,97 <sup>ns</sup>
0	15,69	12,66	79,69	0,99	0,91	0,75 B	5,30
6	16,23	13,03	79,11	1,00	0,93	0,79 B	5,29
12	16,22	13,13	79,53	1,01	0,91	0,83 AB	5,28
18	15,72	12,50	78,05	1,12	0,97	0,87 AB	5,26
24	15,93	12,36	75,14	1,12	1,06	1,01 A	5,25
CV parcela	4,23	6,48	5,12	12,63	14,45	20,01	1,54
<b>Época (E)</b>	214,36**	145,49**	36,02**	43,03**	35,56**	111,13**	2,86 <sup>ns</sup>
Maio	13,41 C	9,55 C	70,19 C	1,36 A	1,23 A	0,39 B	5,27
Agosto/Setembro	19,57 A	16,74 A	85,37 A	0,8 C	0,71 C	1,13 A	5,32
Novembro/Dezembro	14,89 B	11,91 B	79,37 B	0,97 B	0,92 B	1,01 A	5,24
CV subparcela	6,15	10,67	7,27	18,91	20,56	19,90	2,04
<b>Interação A x E</b>	0,45 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns não significativo; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

**Tabela 2.** Análise de variância e teste de Tukey para Fibra (%) Consecana e Tanimoto, Pol da cana, Açúcares redutores da cana, Umidade (%) da cana e cinzas (% m. v-1) do caldo extraído de cana crua armazenada em tempo crescente de 0 a 24h, no início (Maio), meio (Agosto/Setembro) e final da safra (Novembro/Dezembro), 2015/2016, Nova Europa – SP.

Causas de variação	Fibra consecana	Fibra Tanimoto	Pol Cana	AR cana	Umidade	Cinzas
<b>Blocos</b>	19,51**	5,13**	63,81**	26,37**	9,54**	174,68**
<b>Armazenamento (A)</b>	0,47 <sup>ns</sup>	1,97 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	2,99 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
0	13,42	14,25	10,45	0,75	73,58	1,00
6	14,08	15,47	10,63	0,76	71,86	1,02
12	13,92	15,52	10,73	0,75	72,32	1,02
18	13,97	17,09	10,15	0,79	70,99	1,02
24	13,99	15,46	10,08	0,87	72,00	1,04
CV parcela	9,63	16,09	7,3	13,25	4,01	7,53
<b>Época (E)</b>	16,71**	15,14**	128,58**	39,77**	7,43**	21,05**
Maio	12,89 C	13,42 C	7,96 C	1,03 A	73,79 A	1,28 A
Agosto/Setembro	13,83 B	15,48 B	13,71 A	0,58 C	69,71 B	1,06 B
Novembro/Dezembro	14,90 A	17,78 A	9,55 B	0,74 B	72,81 A	0,71 C
CV subparcela	7,93	16,13	11,24	20,28	4,85	27,33
<b>Interação A x E</b>	2,20 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns não significativo; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabela 3.** Análise de variância e teste de Tukey para Perda de massa (%) do carregamento parado, Cor ICUMSA (U.I.) e Amido (mg L-1) do caldo extraído de cana crua armazenada em tempo crescente de 0 a 24h, no meio (Agosto/Setembro) e final da safra (Novembro/Dezembro), 2015/2016, Nova Europa – SP.

Causas de variação	Perda de massa	Cor ICUMSA	Amido
<b>Blocos</b>	4,58*	26,73**	8,56**
<b>Armazenamento (A)</b>	27,07**	3,32*	1,48 <sup>ns</sup>
0	0,00 C	14072	229
6	3,28 B	12375	272
12	5,77 B	11976	213
18	6,00 B	12300	238
24	9,54 A	11939	231
CV parcela	39,12	10,92	21,29
<b>Época (E)</b>	10,50**	40,97**	33,37**
Agosto/Setembro	5,97 A	9496 B	316 A
Novembro/Dezembro	3,87 B	15568 A	157 B
CV subparcela	41,71	23,94	36,86
<b>Interação A x E</b>	7,58**	0,18 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns não significativo; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

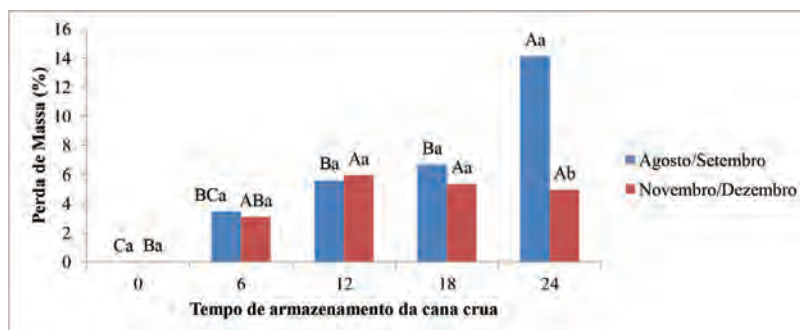
A perda de massa (Tabela 3) também aumentou significativamente com o tempo de armazenamento. Em agosto/setembro, com temperaturas amenas e baixas precipitações, houve intensa perda de massa nas caixas (Figura 1). Isto pode significar que existe perda elevada de massa da cana armazenada no caminhão, conforme se aumenta o tempo de provisionamento.

Esse efeito de perda de massa se esperaria maior no final da safra (Novembro/Dezembro). No entanto, com chuvas sobre as caixas e umidade externa elevada, a massa de algumas repetições armazenadas, que tiveram chuva sobre as mesmas, não reduziu (Figura 1). Observou-se que nas repetições (blocos) que houve precipitação sobre as amostras a qualidade tecnológica diminuiu bruscamente, saindo, por exemplo, da Pol do caldo extraído no início de safra, de 8,26 para 3,71 após 24h. Neste dia choveu 47 mm, a maior parte dessa chuva caiu sobre a amostra que estava esperando para ser processada. Esse valor de Pol era baixo quando a cana chegou, e ficou com menos da metade com a precipitação. Outro exemplo foi a diminuição de 22,35% (de 12,49 para 10,21%) na Pol do caldo extraído de uma repetição no final da safra. A chuva que caiu neste dia sobre a caixa foi de 1 mm entre o tempo de 12 e 18h de armazenamento.

Os resultados revelam que o efeito do armazenamento sobre a qualidade da matéria-prima é complexo, no entanto, se observa que há redução da qualidade do caldo através da acidez, perda de massa da matéria-prima que estava armazenada nas caixas e quando há precipitação sobre a carga, ocorre a lixiviação da sacarose.

Para as épocas (Tabela 1, 2 e 3) se observou diferença significativa para todos os atributos, com exceção do pH, que ficou entre 5,24 a 5,32 em média, indicando que a cana foi processada com pouca deterioração. A primeira época, com bastante efeito da precipitação, foi pior para a maioria das análises tecnológicas, comparada com a segunda e terceira época. A segunda época, por ser meio de safra, teve melhor desempenho que o final da safra.

**Figura 1.** Interação entre o tempo de armazenamento da cana crua, de 0 a 24h da cana crua e época de avaliação, meio (Agosto/Setembro), final (Novembro/Dezembro) para perda de massa (%). Letras Maiúsculas comparam entre os tempos de armazenamento e letra minúscula entre as épocas, pelo Teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).



### Conclusões

O armazenamento da cana até 24h diminui a massa da cana, aumenta a quantidade de acidez do caldo extraído e quando há chuva sobre a matéria-prima estocada há intensa perda de sacarose, prejudicando a recuperação de açúcar e etanol pela indústria.

### Agradecimentos

À Fapesp pelo auxílio financeiro, através do projeto BIOEN, em pesquisa regular, processo 2015/05567-4.

### Referências Bibliográficas

- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação Agrônômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015, 396 p.
- BASSO, L. C.; BASSO, T. O.; ROCHA, S. N. **Ethanol Production in Brazil: The Industrial Process and Its Impact on Yeast Fermentation**. Disponível em: <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/20058.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2014.
- CONSECANA. **Normas de avaliação da qualidade da cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 21 Set. 2008.
- COPERSUCAR. **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Piracicaba, 2001. 1 CD-Rom.
- CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2011. Disponível em CD Rom.
- MADALENO, L. L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido**. 2010. 80f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.
- NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSOLI, M. **Mapeamento e quantificação do setor sucroenergético**. Relatório Final, Centro de Pesquisa e Marketing estratégico (Markestrat), Universidade Paulista, p 1- 34, 2008.
- RAVANELI, G. C. et al. **Spittlebugs impacts on sugarcane quality and ethanol production**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 2, p. 120-129, 2011.
- SCHNEIDER, F. (Ed.) **Sugar analysis ICUMSA methods**. Peterborough:ICUMSA 1979, 265 p.
- SOLOMON, S. **Post-harvest deterioration of sugarcane**. Sugar Tech, v. 11, n. 2, p. 109-123, 2009.
- TANIMOTO, T. **The press method of cane analysis**. Hawaiians Planter's Record, Aiea, v. 57, p. 133-150, 1964.
- UNICADATA. Produção <http://www.unicadata.com.br/> Acesso em: 03 de fevereiro de 2016.

# DIVERSIFICAÇÃO

## CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO

Lays Fabiana dos Santos Costa<sup>1</sup>; Wilson Mozena Leandro<sup>2</sup>; Mariana Guimarães Silva<sup>3</sup>; Rafael Calixto de Araújo Ribeiro<sup>4</sup>; Ana Maria Bezerra do Nascimento<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Agronomia; <sup>2</sup> Doutor em Agronomia; <sup>3</sup>Graduanda em Agronomia; <sup>4</sup>Graduando em Agronomia; <sup>5</sup>Engenheira Agrônoma; <sup>1,2,3,4,5</sup> Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO

*lays.fabiana@yahoo.com.br*

### Resumo

Numerosos resíduos são gerados a partir do processamento da cana-de-açúcar, nas etapas da cadeia produtiva de açúcar e etanol. Estes resíduos vêm sendo utilizados pela própria indústria, seja para produção de energia com a queima do bagaço ou aplicados na lavoura como fonte de nutrientes ao solo. Apesar de hoje serem chamados de subprodutos, não é realizado o bom manejo destes resíduos aproveitando também seu potencial energético. O presente trabalho teve como objetivo, verificar a produção de biometano de resíduos gerados pelo processamento da cana-de-açúcar. O trabalho foi realizado no Laboratório de Biomassa e Biogás da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Foram realizados testes em batelada para avaliar o potencial de produção de biogás de cada resíduo. Os tratamentos foram: inóculo + vinhaça, inóculo + torta de filtro e o blend (mistura de torta de filtro e vinhaça) + inóculo. Os resultados mostraram que a co-digestão apresentou resultados satisfatórios, uma vez que a produção de biometano foi superior nos testes de avaliação do potencial de rendimento de metano, o que aponta para uma opção viável para o tratamento desses resíduos, produzindo energia limpa, renovável e o biofertilizante podendo ser usado nas lavouras sem nenhum prejuízo quanto ao poder fertilizante dos resíduos.

**Palavras-chave:** resíduos da cana-de-açúcar, bioenergia, biogás.

### Summary

Many wastes are generated from the processing of sugarcane in the stages of the production chain of sugar and ethanol. These residues have been used by the industry itself, either for energy production with bagasse or applied in farming as a source of nutrients to the soil. Despite today being called by-products, it is not carried out the proper management of this waste also taking advantage of its energy potential. This study aimed to verify the production of biomethane from waste generated by the processing of sugarcane. The work was carried out on Biomass and Biogas Laboratory of the Agronomy School of the Federal University of Goiás. Tests were conducted in batch mode to evaluate the biogas potential of each residue. The treatments were: inoculum + vinasse, inoculum + filter cake and the blend (filter cake mixture and vinasse) + inoculum. The results showed that co-digestion showed satisfactory results, since the production of bio-methane was higher in the evaluation tests of methane yield potential, which indicates a viable option for the treatment of such waste to produce clean, renewable energy and bio-fertilizer can be used in crops without any prejudice as to fertilising waste.

**Keywords:** waste from sugarcane, bio-energy, biogas.

### Introdução

O uso das fontes alternativas de energia passou a ter um crescimento ininterrupto e, no mundo todo, programas e pesquisas começaram a ganhar espaço, mostrando a necessidade de se utilizar outros recursos geradores de eletricidade, como o aproveitamento de resíduos oriundos de atividades industriais. O resíduo industrial, depois de gerado, necessita de destino adequado, pois não pode ser acumulado indefinidamente no local em que foi produzido. A disposição dos resíduos no meio ambiente, por meio de emissões de matéria e de energia lançados na atmosfera, nas águas ou no solo deve ocorrer após os resíduos sofrerem tratamento e serem enquadrados nos padrões estabelecidos na legislação ambiental para não causarem poluição (AQUARONE, 1990).

Os efluentes oriundos de atividades industriais e agrícolas possuem elevadas taxas de matéria orgânica, que deve ser degradada previamente ao seu lançamento final. Nesse sentido a biodigestão anaeróbia surge como alternativa de baixo custo e fácil manejo, servindo como substrato para a produção de energia sob forma de biogás (CASSINI, 2003). A biodigestão anaeróbia é uma complexa interação entre microrganismos que degradam os compostos orgânicos do resíduo formando biofertilizante e biogás, o qual é composto basicamente por metano, dióxido de carbono, apresentando grande potencial energético, podendo ser empregado na produção de energia elétrica e energia térmica (STARR *et al.*, 2012).

A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, sendo proveniente do processo de clarificação do açúcar. O lodo formado passa por um processo de filtração a vácuo, recebendo, então, a denominação de torta de filtro (FRAVET *et al.*, 2010). Para cada tonelada de cana moída, são produzidos de 30 a 40 kg de torta de filtro (SANTOS *et al.*, 2010). É também uma fonte potencialmente poluidora, pois se usada de forma inadequada, pode causar danos ambientais graves como a contaminação dos cursos d'água e do solo. A torta de filtro apresenta altos teores de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, cálcio e possui, ainda, teores consideráveis de potássio e magnésio, com composição variável, dependendo da variedade da cana e da sua maturação (NUNES JUNIOR, 2005; SANTOS *et al.*, 2010). Desta forma, a biodigestão anaeróbia da torta de filtro é uma alternativa interessante, pois o biogás produzido apresenta considerável potencial energético e é um combustível renovável e disponível (YUAN *et al.* 2008. SZMANSKI *et al.*, 2010).

A vinhaça é um líquido poluente, resultante da fermentação do caldo de cana-de-açúcar ou melaço e devido a sua riqueza principalmente em potássio e matéria orgânica, passou a ser aplicada na cultura da cana-de-açúcar, com objetivo minimizar o impacto ambiental e incorporar nutrientes ao solo (AZANIA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2007). A quantidade despejada pelas destilarias pode

variando de 10 a 18 litros de vinhaça por litro de álcool produzido, dependendo das condições tecnológicas da destilaria (SILVA *et al.*, 2007). Constitui-se no principal resíduo da industrialização da cana e apresenta um alto potencial poluidor quando lançada em cursos d'água, em função da sua alta demanda bioquímica por oxigênio, alta concentração de sais, particularmente potássio, e alta carga de matéria orgânica (JUNQUEIRA *et al.*, 2009).

A utilização do processo anaeróbio constitui em uma tecnologia adequada para a estabilização das altas concentrações de matéria orgânica presente na vinhaça e a produção de metano, que pode ser utilizado na indústria como energia (MUTTON, *et al.*, 2015). Em estudo realizado por CABELLO *et al.*, (2009), o processo de biodigestão anaeróbia da vinhaça apresentou eficiência de remoção de carga poluidora acima de 50%, neutralização do pH, produzindo também uma mistura gasosa de elevado valor energético. É comum, que além do processo de biodigestão anaeróbia ocorra a co-digestão, que pode ser definida como um sistema de tratamento anaeróbio combinado, com diferentes resíduos.

O processo de co-digestão anaeróbia é o tratamento simultâneo de duas ou mais substâncias biodegradáveis pela biodigestão anaeróbia (UENO *et al.*, 2013). A utilização de co-substratos geralmente melhora o rendimento de biogás do biodigestor devido ao positivo sinergismo estabelecido no meio da biodigestão fornecendo os nutrientes em falta (ALVAREZ & LIDÉN, 2008). Pode ocorrer combinando-se a fração orgânica dos resíduos agrícolas juntamente com resíduos de lodo industrial. Estudos sobre a co-digestão apontam um sinergismo e antagonismo no processo combinado com diferentes substratos. FÉRNANDEZ *et al.* (2005) comentam sobre o efeito tampão da co-digestão, quando a otimização da relação carbono/nitrogênio na biodigestão de resíduos urbanos e lodo de esgoto, melhorando a produção de metano.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de produção de biometano a partir da co-digestão anaeróbia entre vinhaça e torta de filtro, bem como a utilização racional dos resíduos produzidos nas indústrias sucroalcooleiras, embora já venham recebendo o nome de subprodutos ao invés de resíduo industrial devido a inúmeras utilizações que podem ser direcionadas, podendo produzir energia elétrica alternativa, sem causar danos ao meio ambiente.

#### Material e Métodos

O experimento foi realizado no laboratório de Biomassa e Biogás da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), município de Goiânia (GO) com coordenadas geográficas 16°40'22"S e 49°15'19"W e altitude média de 730m. A escolha dos resíduos utilizados no processo de biodigestão anaeróbia foi o passo inicial de todo o processo. Os resíduos utilizados advindos do processamento da cana-de-açúcar foram vinhaça e torta de filtro. Os resíduos, produzidos na safra 2014/2015, foram gentilmente doados pela Denusa Destilaria Nova União S/A, localizada no município de Jandaia (GO).

Os resíduos foram coletados e levados ao laboratório, onde foram armazenados em câmara fria a 5°C com a finalidade de preservar a integridade e a composição dos substratos. Inicialmente foram retiradas amostras representativas e em triplicatas para a realização de análises químicas e determinação de sólidos totais e sólidos voláteis.

Para a caracterização física as amostras dos substratos foram acondicionadas em cadinhos de porcelana previamente tarados, pesados (10 g para cada substrato, sendo realizado em triplicatas) para se obter a massa úmida do material. Posteriormente, foram levadas à estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 105 °C até atingir peso constante e, a seguir, foram pesadas novamente em balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se o peso seco (massa seca orgânica). Para a determinação do teor de sólidos voláteis, os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais, foram levados à mufla e mantidos a temperatura de 550 °C durante um período de três horas e trinta minutos e, após resfriamento em dessecador, os materiais foram pesados em balança com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso de cinzas (massa seca inorgânica).

Na realização dos testes de atividade metanogênica foi utilizado equipamento da marca Bioprocess Control, modelo AMPTSII - Automatic Methane Potential Test System (Figura 1), doado pela Agência Alemã de Cooperação GIZ, através da embaixada da Alemanha no Brasil, para os membros da Rede de Avaliação de Substratos (RAS). O sistema de medição permite determinar o potencial de produção de metano e o perfil de degradação do substrato.

**Figura 1.** Sistema de teste de potencial metanogênico (AMPTS II).





O equipamento consta de um sistema de banho-maria com controle de temperatura automático, além de quinze reatores idênticos com volume de 650 mL e com agitação controlada por software. Os testes foram realizados sob mesma condição de agitação programada. O sistema é fechado hermeticamente e dispõe de um sistema de purificação de biogás onde os frascos são preenchidos com hidróxido de sódio 3M e, à medida que o biogás se forma, é levado através de mangueiras específicas de TYGON até estes frascos, onde ocorre, o arraste alcalino. O CO<sub>2</sub> e traços de gás sulfídrico são retirados, deixando somente o metano alcançar o sistema de contagem de bolhas. Isso ocorre porque o metano é inerte na solução alcalina, o CO<sub>2</sub> e o gás sulfídrico reagem com a solução e são removidas do fluxo de gás.

A contagem de metano ocorre com a passagem de gás até o contador de bolhas, que contabiliza, através de um equilíbrio mecânico de uma estrutura de plástico, interligada ao sistema elétrico. Quando o gás chega ao mecanismo de contagem, o arraste de gás desequilibra o empuxo do material plástico, fazendo com que se movimente, identificando a produção controlada de biogás. Este sistema de reatores e de contagem é monitorado on-line por um computador pelo software Bioprocess Control, que permite definir as condições da relação entre inóculo e substrato, e monitora sob condições padrão, a quantidade de gás produzido, gerando arquivos numéricos e gráficos. Para a avaliação foram utilizados como substrato vinhaça e torta de filtro em três condições diferentes:

- Vinhaça e inóculo
- Torta de filtro e inóculo
- Blend: Vinhaça + torta de filtro (50% m/m) e inóculo

Foram três reatores para cada amostra padrão, ou seja, o experimento ocorreu em triplicata por 30 dias, com monitoramento 24 horas pelo computador integrado ao sistema.

### Resultados e Discussão

O inóculo corresponde a uma suspensão de microrganismos que favorece o processo de biodigestão contribuindo para a melhoria nos teores de metano. As (Tabelas 1 e 2) correspondem aos resultados das análises químicas realizadas nos substratos antes e após o processo de biodigestão anaeróbia.

**Tabela 1.** Características químicas dos substratos antes da biodigestão anaeróbia.

Substratos	pH	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Inóculo	7,57	9,1	0,18	9,4	0,4	0,7	9	114	13	9,1
Vinhaça	3,73	1,4	0,55	4,8	0,8	0,3	11	110	13	9,5
Torta de filtro	6,8	1,4	1,73	1,5	2,5	3,4	-	200	11	2,0

**Tabela 2.** Características químicas dos substratos após a biodigestão anaeróbia.

Substratos	MO	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Vinhaça	8,0	2,5	0,83	18,6	2,2	2,1	13,0	236,0	37,0	11,6
Torta de Filtro	17,0	24,4	5,62	2,0	4,1	4,0	7,0	162,0	18,5	29,5
Blend	7,0	10,9	1,98	13,2	2,4	3,3	222,0	319,0	53,0	15,3

Nota-se que houve incremento no teor de nutrientes, como a biodigestão anaeróbia provoca a alteração principalmente da fração de carbono do substrato, os nutrientes contidos são preservados integralmente. Segundo DÖHLER *et al.* (1999), o processo de digestão anaeróbia torna-os mais solúveis e, portanto aumenta a sua fitodisponibilidade, além disso, há melhoramento do efeito breve do nitrogênio pelo aumento do teor de nitrogênio de rápida ação.

Observa-se na (Tabela 2) um aumento considerável nos teores de nitrogênio. A degradação da matéria orgânica ocasiona a conversão do nitrogênio fixado em orgânico a inorgânico, aumentando, portanto a fração de amônio (aprox. 60% a 70%) no nitrogênio total da biomassa fermentada. A digestão provoca a redução do teor de MS dos substratos. Além disso, a relação C/N no biofertilizante se torna menor em função da fermentação metanogênica, conforme o grau da digestão. Isso é favorável à adubação, uma vez que aumenta a fração de amônio disponível às plantas (DOHLER, 1996).

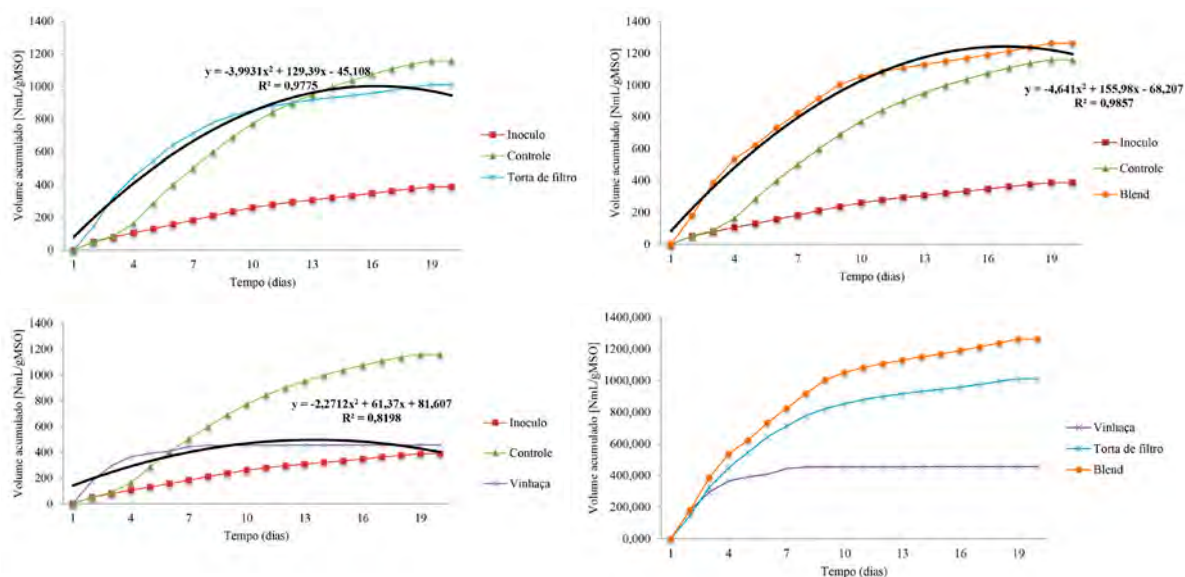
A utilização de subprodutos com a possibilidade da presença de metais potencialmente tóxicos pode acarretar sérios problemas ao solo e até ser absorvido pelas plantas. Assim, faz-se necessário que se faça o monitoramento desses elementos no meio ambiente, pois a alta toxicidade e sua concentração ao longo da cadeia alimentar poderão acarretar impactos toxicológicos (FREITAS, 2014). A presença de contaminantes inorgânicos no biofertilizante está abaixo dos limites máximos permitidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Tabela 3), e assim não apresenta riscos de contaminação meio ambiente, podendo ser utilizado como fonte de nutrientes e matéria orgânica ao solo, suprimindo total ou parcialmente a necessidade de adubação da cultura.

**Tabela 3.** Contaminantes inorgânicos presentes no biofertilizante obtido a partir da biodigestão anaeróbia dos substratos.

Substratos	Cd	Pb	Cr	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>			
Vinhaça	0,0	0,0	0,0	10,0
Torta de Filtro	0,0	20,0	50,0	20,0
Blend	0,0	10,0	10,0	10,0
Limite máximo*	3,0	150,0	200,0	70,0

A produção de biogás no decorrer do período experimental é apresentada na (Figura 2). A vinhaça apresentou maior produção de metano em relação aos demais substratos. Isto pode ser explicado pelo fato de que a vinhaça já venha de um processo de fermentação que ocorre na indústria durante a produção do etanol, que facilitou a degradação da matéria orgânica pelos microrganismos neste período inicial. Posteriormente, o blend e a torta de filtro, superaram a produção de metano da vinhaça. O pico de produção de metano ocorreu logo nos primeiros dias demonstrando uma rápida adaptação dos microrganismos aos substratos.

A produção de metano do blend, comparado à produção da vinhaça e da torta de filtro proporcionou maior rendimento de metano. Esta mistura de vinhaça com torta de filtro pode ser uma alternativa interessante, pois promove o aproveitamento de dois subprodutos importantes da indústria sucroalcooleira: a vinhaça e a torta de filtro.

**Figura 2.** Produção acumulada de biometano dos substratos.

Segundo SOUZA (1992), através das estimativas do potencial brasileiro de produção de biogás e a partir do processamento do álcool de cana de açúcar, nota-se a importância relativa que o biogás pode ocupar na matriz energética nacional. Os dados indicam também a grande competitividade com vários energéticos, particularmente os de origem fóssil, cujas importações têm um peso relativo considerável na balança comercial brasileira. Lembrando-se, ainda que a queima de combustível fóssil provoque grave impacto ao meio ambiente e que o tratamento da vinhaça reduz sua carga orgânica poluente e produz um energético competitivo com esses combustíveis, conclui-se que se trata de uma alternativa viável e duplamente benéfica ao meio ambiente.

### Conclusão

Nos testes da atividade metanogênica, observou-se grande rendimento de biometano para a mistura de torta de filtro e vinhaça, indicando que este tratamento pode se tornar uma alternativa viável para ser utilizada no aproveitamento destes resíduos.

### Agradecimentos

O desenvolvimento deste projeto foi possível graças as parcerias realizadas entre a Universidade Federal de Goiás, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Universidade de Rostock e a GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit).

### Refêrencias Bibliográficas

- ALVAREZ, R. & LINDEN, G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Renewable Energy*, 33: 726-734, 2008.
- AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, U. A. *Biotecnologia: tópicos de microbiologia industrial*. v. 2. São Paulo: E. Blücher, 1990.
- AZANIA, A. A. P. M., AZANIA, C. A. M., MARQUES, M. O., PAVANI, M. C. M. D. Emergência e desenvolvimento de guanxuma (*Sida rhombifolia*), capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) influenciados por subprodutos da destilação do álcool. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v.22, n.3, p.331-336, 2004.

- CASSINI, T. S. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- DOHLER, H. (1996): Landbauliche Verwertung stickstoffreicher Abfallstoffe, Komposte und Wirtschaftsdünger. **In Wasser und Boden**, 48 Jahrgang, 11/1996
- DOHLER, H.; SHIEBI, K.; SCHWAB, M. BMBF – Förderschwerpunkt, Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung. KTBL Folha de trabalho 272. KTBL Darmstadt, 1999.
- FÉRNANDEZ, A., SÁNCHEZ, A. & FONT, X. 2005. Anaerobic codigestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. **Biochemical Engineering Journal**, 26: 22-28.
- FRAVET, P. R. F., SOARES, R. A. B., LANA, R. M. Q., LANA, Â. M. Q., KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.3, p.618-624, 2010.
- FREITAS, R. A. Biodigestão anaeróbia como proposta de gerenciamento de torta de filtro e vinhaça na indústria do etanol. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, IFG, Goiânia, 2014.
- JUNQUEIRA, C. A. R., MOLINA JUNIOR, V. E., LOSSARDO, L. F., FELICIO, B. C., MOREIRA JUNIOR, O., FOSCHINI, R. C., MENDES, R. M., LORANDI, R. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo-SP, v.39, n.3, p.507-518, 2009.
- Mutton <http://citec.fatecjab.edu.br/index.php/files/article/view/595/591>
- NUNES JÚNIOR, D. O insumo torta de filtro. Idea News, Ribeirão Preto, 2005.
- SANTOS, D. H., TIRITAN, C. S., FOLONI, J. S. S., FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.4, p.454-46, 2010.
- SILVA, M. A. S., GRIEBELER, N. P., BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.108-114, 2007.
- SOUZA, M. E., FUZARO, G. & POLEGATO, A. R. Thermopile Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor. **Water Science and Technology**, vol. 25 n.º 7, p.p. 212-223, 1992.
- STARR, K.; GABARREL, X.; VILLALBA, G.; TALENS, L.; LOMBARDI, L. Life cycle assessment of biogas up grading technologies. **Waste Management**, v.32, p.991-999, 2012.
- SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N.; **Biodigestão anaerobia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono. Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 31, n.4, p 901-912, 2010.
- UENO, C. R. J.; FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; ZANIN, G. M. Influência da adição fracionada de vinhaça na produção de biogás. **Revista brasileira de Biociências**, v.11, n.1, p.115-118, 2013.
- YUAN, J.; TYLER, K.; AL-AHMAD, H.; STEWART, N.; STEWART JR, C. Plants to power: bioenergy to fuel the future. **Trends in plants science**. v.13, p.421- 429, 2008.

## CARACTERIZAÇÃO DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA APROVEITAMENTO COMO NUTRIENTE DE MICRORGANISMOS PRODUTORES DE CELULASE

Larissa Cavalcanti de Sousa Medeiros<sup>1</sup>; Luan Maia de Araújo<sup>1</sup>; Maira Raely Lira Azevedo<sup>1</sup>  
Erika Adriana de Santana Gomes<sup>2</sup>; Solange Maria Vasconcelos<sup>2</sup>; Pablo Nogueira Teles Moreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente – Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira/CTDR/UFPB

<sup>2</sup>Docente – Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira/CTDR/UFPB

Universidade Federal da Paraíba – UFPB - Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional – CTDR - Campus I - Unidade  
Lynaldo Cavalcanti (Mangabeira VII), João Pessoa - PB - Brasil.

*erikaasgomes@hotmail.com*

### Resumo

O melaço de cana-de-açúcar é a porção resultante da separação dos cristais de açúcar por centrifugação da massa cozida, caracterizando-se como mel final contendo diferentes teores de sacarose, açúcares redutores e quantidades significativas de minerais. As celulases são uma classe de enzimas capazes de quebrar ligações glicosídicas da celulose, revelando grande potencial para aplicações tecnológicas. Esse estudo visa à caracterização do melaço para avaliação do seu aproveitamento como fonte de carbono para microrganismos produtores da enzima celulase. Para que seja absorvida pelos microrganismos a sacarose do melaço precisa ser hidrolisada em açúcares redutores, dentre os quais o mais importante é a glicose. Foram analisadas amostras de melaço comercial, artesanal e de usina de açúcar. A caracterização dos melaços foi feita pelos parâmetros: Pol, Brix, Pureza em Sacarose, AR, ART, umidade, goma, acidez e cor. O resultado mostrou que os melaços comercial e artesanal são mais ricos em açúcares redutores, com menor degradação. O melaço de usina de açúcar quanto ao AR e à cor pode-se concluir que ocorreu um esgotamento mais eficiente da sacarose, entretanto, a cor elevada demonstra o aquecimento excessivo no processo. É necessário acompanhar a termodinâmica do esgotamento, pois o aquecimento excessivo degrada os compostos orgânicos, fazendo aparecer substâncias corantes que prejudicam a qualidade do açúcar e deixam resíduos no melaço que são pouco absorvidos pelos microrganismos produtores de celulase.

**Palavras-chave:** melaço, caracterização, Pol, Brix, pureza, AR, ART, cor, umidade, goma, acidez.

### Summary

Molasses of the cane is produced after separation of the sugar crystals from the massecuite by centrifugation, forming crystals and final syrup containing various amounts of sucrose and significant amounts of calcium, iron, magnesium, potassium and vitamin B6. This study aims at molasses characterization for assessment of use as a carbon source for micro-organisms producers of the enzyme cellulase. To be absorbed by micro-organisms molasses sucrose to be hydrolyzed. We analyzed three types of commercial, craft and other sugar mill molasses. The analyzes were: Pol, Brix, Purity (Pol/ Brix), AR, ART, moisture, gum, acidity and color. Evaluating the results of commercial and artisanal molasses, due to the simplified production technology, it can be observed that there was the lowest depletion of sucrose, resulting in molasses with higher levels of reducing sugars. Evaluating the industry molasses as the AR and the color can be concluded that there was a more efficient breakdown of sucrose, however, show high color overheating in the process. You must follow the thermodynamics of exhaustion because excessive heat degrades organic compounds, making it appear colorants that impair the quality of the sugar and leave residues in the molasses.

**Keywords:** Molasses, characterization, Pol, Brix, purity, AR, ART, color, moisture, pH, starch, alcohol and acidity.

### Introdução

O melaço é um líquido viscoso que se obtém como resíduo seja da fabricação do açúcar cristalizado, seja do melado ou seja da refinação do açúcar bruto. Dependendo da forma como foi produzido, o melaço possui diferentes teores de sacarose, e quantidades significativas em cálcio, ferro, magnésio, potássio e vitamina B6. No Brasil, o melaço constitui o principal subproduto da indústria do açúcar, sendo produzido na proporção de 40 a 60 quilos por tonelada de cana processada. Devido ao elevado teor de açúcares totais e demais componentes, o melaço é utilizado, principalmente, na fabricação de álcool etílico, sendo aproveitado, também, em outros processos biotecnológicos como matéria-prima para a produção de proteína e ração animal (MEZARROBA, 2010).

TYAGI e SURESH, 2015 avaliaram a produção da enzima celulase, utilizando como fonte de carbono para os microrganismos o melaço da cana-de-açúcar hidrolisado e acidificado na proporção de 1:4 (melaço:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sob aquecimento. Foi verificado que o meio acidificado e aquecido apresentou melhores resultados com relação à produção da enzima.

ROSSMANN, 2008 avaliou a otimização da produção de biossurfactantes, utilizando o melaço da cana e a manipueira (líquido residual da produção da farinha de mandioca) como fonte de carbono. A utilização de substratos agroindustriais tem sido uma alternativa para estimular e viabilizar a produção de enzimas por microrganismos, reduzindo os custos com os insumos dos meios de cultura. Nesse estudo, o surfactante produzido por uma das culturas testadas formou emulsões estáveis com o querosene em diferentes condições de salinidade, temperatura e pH comumente encontrados na área ambiental.

GONÇALVES *et al.*, 2006, estudou a produção de carvão ativado utilizando o bagaço de cana acrescido em diferentes proporções de melaço, visando otimizar a agregação das partículas. A caracterização dos carvões ativados foi realizada pela análise de isotermas de adsorção física de nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>). Os carvões ativados preparados com pequena adição de melaço apresentaram-se tão eficientes na descoloração de líquidos quanto um carvão ativado comercial, utilizado como referência, demonstrando aplicabilidades variadas desse subproduto.

PINHO *et al.*, em 2015 caracterizou o melão produzido no município de Igarapé-Mirim no Pará quanto ao: pH, condutividade elétrica, acidez, teor de voláteis, umidade e cinzas com a finalidade de comparar qualitativamente com a legislação alimentar vigente. Foi possível constatar que os produtos analisados apresentaram-se dentro dos padrões exigidos: pH = 4,69 a literatura de SILVA *et al.*, (2003) recomenda pH = 4,7; condutividade elétrica 0,67 mS/cm a qual depende de ácidos orgânicos e dos sais minerais (ALVES *et al.*, 2005); valor médio da acidez 54,40 meq/kg, estando acima do valor estabelecido pela legislação que permite acidez máxima de 10% (ANVISA, 1978); o teor de voláteis ou umidade variou entre 14,65 e 25,87%, com média igual a 20,24%, estando dentro da faixa estabelecida pela legislação para o melado, que permite um máximo de 25% (ANVISA, 1978). Entretanto, está abaixo do valor encontrado nas análises realizadas para compor a Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos, que apresenta um teor de 22,10% para o melado (TACO, 2006); o teor de cinzas variou entre 1,93 e 5,75%, com média de 3,49%, estando dentro do estabelecido pela legislação para o melado que permite o máximo de 6% (ANVISA, 1978).

Muitos estudos estão sendo realizados, buscando aplicabilidades para o melão. Nesse estudo, realizou-se a caracterização de melões oriundo de diferentes fontes, visando identificar as diferenças existentes nas composições que venham a interferir sinergicamente na alimentação de microrganismos que possam aumentar a produção da enzima celulase.

### Material E Métodos

A caracterização dos melões foi realizada utilizando as metodologias analíticas de domínio das análises físico-químicas da área sucroalcooleira (CALDAS, 2005) limitando-se, porém a: Pol, Brix, Pureza em Sacarose, AR, ART, umidade, goma, acidez e cor. A partir dos resultados, buscou-se identificar as condições de utilização desse subproduto como fonte de carbono para microrganismos produtores de celulase. Em todas as análises, as leituras foram realizadas em triplicata para melhor aumentar a representação das amostragens.

### Pol do Melão

A Pol representa o teor sacarose aparente existente no melão. Para a realização dessas análises foram utilizados 100,0 g de amostra e 400,0 g de água destilada. Pesou-se 26,000 g da amostra posteriormente dissolvida com a adição de 100,0 mL de água destilada. Adicionou-se 8,0 g de Octapol (clarificante) e agitou-se até homogeneizar. Filtrou-se, utilizando papel de filtro quantitativo, desprezando os primeiros 10,0 ml da amostra e coletando o restante para realizar a leitura sacarimétrica (Sacarímetro Bellingham Stanley). O resultado da Pol foi obtido através da equação 1:

$$\%Pol_{melão} = Pol_{leitura} \times 5$$

### Brix Refratométrico

Para a determinação do Brix do melão que representa a porcentagem aparente de sólidos dissolvidos em solução açucarada, pesou-se 100,0 g da amostra de melão, adicionaram-se 400,0 g de água destilada, homogeneizou e realizou-se a leitura no refratômetro (Refratômetro Bellingham Stanley-RFM 712). O °Brix foi calculado aplicando a Equação (2).

$$Brix_{melão} = Brix_{leitura} \cdot 5$$

### Pureza em Sacarose

A pureza em sacarose nas amostras de melão foi determinada, utilizando a Equação (3).

$$Pureza = \left( \frac{Pol_{MELÃO}}{Brix_{MELÃO}} \right) \times 100$$

### Umidade do melão

A umidade das amostras foi medida em base úmida, aplicando-se a Equação (4), após a secagem em estufa a 105°C até alcançar massa constante.

$$Umidade = \left( \frac{m_{inicial} - m_{seca}}{m_{inicial}} \right) \times 100$$

### Açúcares Redutores (AR)

Mede-se 4,0 g de melão, dilui-se em 100,0 mL de água e homogeneiza-se como solução amostra. Transfere-se para um balão de 500,0 mL e completa-se com água destilada. Realiza-se a titulação da solução-amostra em ebulição com azul de metileno 1%, 5,0 ml de solução Fehling A, 5ml de solução Fehling B e 25,0 ml de água destilada em condensador Redutec até a mistura atingir uma coloração “vermelho tijolo” e anota-se o seu volume gasto. Calcula-se o AR, utilizando a Equação (5).

$$AR = \frac{625}{Volume_{gasto}}$$

### Açúcares Redutores Totais (ART)

Mede-se 2,0 g de melão e dilui-se em 100,0 mL de água e homogeneiza-se como solução amostra. Transfere-se para um balão de 500,0 mL e completa-se com água destilada. Em seguida, transfere-se para um béquer apropriado e aquece-se em banho-maria a 70 °C por 10 minutos. Adiciona-se 10,0 mL de uma solução de ácido clorídrico 1:1, e após esfriar, adicionam-se 3 gotas de fenolfaleína e neutraliza-se com solução de NaOH a 26% (m/v) até coloração o primeiro surgimento de coloração avermelhada. Realiza-se a titulação da solução-amostra em ebulição com azul de metileno 1%, 5,0 ml de solução Fehling A, 5ml de solução Fehling B e 25,0 ml de água destilada em condensador Redutec até a mistura atingir uma coloração “vermelho tijolo” e anota-se o seu volume gasto. Calcula-se o ART, utilizando a Equação (6).

$$ART = \frac{1250}{Volume_{gasto}}$$

**% Goma**

Para determinar o teor de goma nas amostras de melação, dilui-se 50,0 mL do melação em 50,0 mL de água destilada, transfere-se 10,0 mL dessa solução para uma proveta graduada de 100,0 mL e adiciona-se 10,0 mL de ácido clorídrico (1:1), completando o volume com álcool etílico anidro até 60,0 mL. Agita-se vigorosamente a solução e mantém-se o repouso por 20 minutos. Após os 20 minutos, anota-se o volume de material decantado. Calcula-se o teor de amido, utilizando a equação (7).

$$\%goma = Volume_{decantado} \times 3,33$$

**Acidez**

Dilui-se 10,0 mL de melação em 100,0 mL de água destilada, filtra-se com algodão. Utiliza-se 10,0 mL dessa amostra com 3 gotas de fenolftaleína e titula-se com solução de NaOH 0,1%N até a virada de cor e anota-se o volume gasto. Quantificar a acidez, utilizando a Equação (8).

$$Acidez = Volume_{gasto} \times 0,49$$

**Cor ICUMSA**

A leitura da cor ICUMSA foi determinada, utilizando uma diluição do melação 1:6 (m/m) em água destilada. Em seguida mediu-se Brix no refratômetro e determinou-se a massa para a análise de cor (Equação 9);

$$m = \frac{100}{Brix_{cor}}$$

Mede-se nova amostra no valor da massa calculada e completa-se para 100,0 g com água destilada, homogeneizando, pré-filtrando com membrana de vidro e filtrando à vácuo com membrana de 0,45µm. Corrige-se o pH até 7,0 com solução de NaOH ou HCl (5% - v/v). Realizar-se a leitura da cor em espectrofotômetro (FEMTO CIRRUS 60SA). Relaciona-se o valor obtido com a tabela de transmitância e aplica-se a Equação (10).

$$CorICUMSA = Valor\ na\ Tabela * 0,1002 * 1000$$

**Resultados e Discussão**

A (Tabela 1) ilustra as médias dos valores das análises físico-químicas dos melações realizadas.

**Tabela 1.** Valores médios de triplicatas das análises físico-químicas dos melações.

Melação	Pol	Brix	%Pureza	Umidade %(b.u.)	AR	ART	% goma	Acidez	Cor (U.I)
Usina de açúcar	48,75	67,00	72,76	18,57	12,86	62,81	8,33	4,90	47,09
Artesanal	34,80	80,00	43,50	17,14	35,11	77,16	6,66	2,45	21,51
Comercial	43,70	80,50	54,29	21,57	29,76	83,33	5,00	3,33	24,36

Avaliando os dados da (Tabela 1) pode-se observar a variação nos valores, entretanto, para o Brix dos melações artesanais e comerciais, o teor de sólidos solúveis foi aproximado provavelmente devido à similaridade da técnica de extração da sacarose ser simplificada bem como a utilização de matéria-prima com características similares. A qualidade da cana-de-açúcar engloba as características físico-químicas e microbiológicas que podem afetar, significativamente, a recuperação do açúcar.

A pureza representa a relação entre o teor de sacarose e de sólidos totais, entretanto relacionando com os dados de AR e ART pode-se verificar que o melação da usina apresentou índice de sacarose reduzido e teor de sólidos elevados, indicando uma boa recuperação da sacarose no processo. Entretanto avaliando a cor dos produtos pode-se perceber o aquecimento excessivo realizado no esgotamento do melação da usina, elevou a cor, o que pode interferir na qualidade do produto final, deixando resíduos orgânicos no mel final.

As umidades dos produtos avaliados encontram-se dentro dos padrões exigidos na literatura, ou seja, abaixo de 22,10% (TACO, 2006). O amido e a dextrana são polissacarídeos presentes no caldo. Entretanto, a dextrana é decorrente da degradação enzimática da sacarose e polimerização da glicose onde a frutose permanece na solução, podendo ser determinada analiticamente. O amido está presente no caule e nas folhas da cana e é representado pelo teor de goma, onde a presença de ambos dificulta a recuperação da sacarose no processo. Ou seja, avaliando os dados da (Tabela 1) pode-se constatar que a recuperação poderá ser otimizada com o controle do teor de degradação enzimática reduzindo o tempo de estocagem pós-colheita e acompanhando as variedades utilizadas, pois as canas com menor teor de fibras são mais propensas a ataques microbiológicos.

Os ácidos orgânicos, como o ácido cítrico presente nos melações avaliados, influenciam o sabor, odor, cor, estabilidade e a manutenção de qualidade. Produtos mais ácidos são naturalmente mais estáveis quanto à deterioração, uma vez que a acidez elevada reduz o risco de desenvolvimento de microrganismos. Portanto, o melação artesanal e o comercial respectivamente, são menos propensos a contaminações microbiológicas, devido aos baixos índices de acidez apresentados sendo os mais indicados para aplicações em processos biotecnológicos.

### Conclusões

ROSSMANN, 2008, ressaltou que a natureza da fonte de carbono, as concentrações de N, P, Mg, Fe, Mg e as condições de cultivo (pH, agitação, temperatura) afetam a ação dos microrganismos produtores de enzimas e TYAGI e SURESH, 2015, demonstraram que a disponibilidade de glicose como fonte de carbono é determinante na produção de celulase por microrganismos, portanto, dentre os melaços avaliados o artesanal e o comercial apresentaram maiores teores de açúcares redutores. É necessário identificar analiticamente dentre os resíduos avaliados o qual apresenta maior potencial de glicose, possibilitando utilizar o melaço de forma otimizada no processo de produção da enzima celulase.

Os resultados de acidez também direcionam a utilização dos melaços artesanal e comercial avaliados como fonte de carbono microbiana.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Sr<sup>a</sup> Marlene Oliveira gerente industrial e a equipe de laboratório da usina de açúcar e álcool Monte Alegre, pelo fornecimento das amostras, reagentes, estrutura física o que nos permitiu realizar esse trabalho. A UFPB pelo suporte acadêmico que nos levou a elaborar o trabalho.

### Referências Bibliográficas

- ALVES, R. M. O. *et al.*, Características físico-químicas de amostras de mel de *Melipona mandacai* Smith (Hymenoptera: Apidae). **Cienc. Technol. Aliment.** v 25, nº4. Campinas out./dez.. 2005.
- ANVISA, Resolução – Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA), nº 12, de 30 de março de 1978. **Aprova normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas em todo o território brasileiro.** Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12\\_78\\_melaco.htm](http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_melaco.htm), acesso em 29/04/2016.
- CALDAS, C. Teorias Básica das Análises Sucoalcooleiras. Maceió - AL. Ed. Central Analítica, 2005.
- GONÇALVES, G. C., MENDES, E. S., PEREIRA, N. C. e SOUSA, J. C.. Produção de carvão ativado a partir de bagaço e melaço de cana-de-açúcar. **Acta Sci. Technol. Maringá**, v. 28, n. 1, p. 21-27, Jan./Jun, 2006.
- MEZARROBA, S.; MENEGUETTI, C. C. GROFF, A. M. **Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema.** In: **Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial.** VII, 2010. Campo Mourão-PR, novembro de 2010.
- PINHO, A. C.; SILVA, B.P. P. C.; BARBOSA, I.C.C.; SILVA, A. S.; SOUZA, E. C. Caracterização físico-química do melado de cana produzido no município de Igarapé-Mirim-PA. In: Congresso Brasileiro de Química, Recursos Renováveis Inovação e Tecnologia. 55º, 2015 Goiânia – GO, **Anais** ISBN 978-85-85905-15-6, Goiânia, novembro 2015.
- ROSSMANN, M. Otimização da produção e propriedades tensoativas de biossurfactantes em meio à base de melaço e manipueira. 2008. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- SILVA, F. C. da; CESAR, M. A. A.; SILVA, C. A. B. Pequenas Indústrias rurais da cana-de-açúcar: melado, rapadura e açúcar mascavo. – Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2003.
- TACO. Tabela Brasileira de composição de alimentos - NEPA-UNICAMP. - Versão II. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006.
- TYAGI, N.; SURESH, S. Production of cellulose from sugarcane molasses using *Gluconacetobacter intermedius* SNT-1: optimization & characterization. **Journal of Cleaner Production.** Índia. v. 112, p.71 – 80, julho 2015.

## MULTIPLICAÇÃO DE *RHODOTORULA RUBRA* EM MEIO DE GLICOSE, SUPLEMENTADO COM MICRONUTRIENTES PARA PRODUÇÃO DE CAROTENÓIDES

Lidyane Aline de Freita<sup>1</sup>, David Banzatto<sup>1</sup>, Cristhyane Millena de Freita<sup>1</sup>, Leticia Fernanda Tralli<sup>1</sup>, Aline Ferreira Silva<sup>1</sup>, Vitor Teixeira<sup>1</sup>, Juliana Pelegrini Roviero<sup>1</sup>, Márcia Justino Rossini Mutton<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool, Departamento de Tecnologia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal-SP

*lidyane.freita@gmail.com*

### Resumo

Carotenóides são pigmentos amplamente encontrados na natureza, responsáveis pelas cores laranja, amarela e vermelha em frutas, tubérculos e flores. Eles apresentam funções de pró-vitamina A, antioxidante e anti-carcinogênico, além de anular os radicais livres. A levedura *Rhodotorula rubra* tem capacidade para sintetizar os diferentes tipos de terpenoides em diferentes condições de desenvolvimento. Com base nesse contexto, foi avaliada através de base de glicose, com a suplementação de nutrientes, a produção de carotenóides em um ambiente adaptado, à avaliação das condições ambientais, à quantificação da produção de biomassa e, subsequentemente, de rendimento. A utilização da suplementação do meio de cultivo com Zinco+Magnésio+Manganês eleva a quantidade de massa seca e volumétrica da estirpe L18 e, consequentemente da produção de carotenóides.

**Palavras-chave:** Levedura, corantes naturais,  $\beta$ -caroteno

### Summary

Carotenoids are pigments widely found in nature, they are responsible by colors orange, yellow and red in fruits, tubers and flowers. They present functions pro vitamin A, antioxidant and anticarcinogenic beyond annul free-radicals. The yeast *Rhodotorula* have ability to synthesize different kinds of terpenoids in different development conditions. Based on this context, it was evaluated through glucose base, with nutrients supplementation, carotenoids production and an adapted environment, evaluating the environmental conditions, quantification of the biomass production and yield consequence. The use of supplementation of culture medium with Zinc + Magnesium + Manganese increases the amount of dry mass and volume of the yeast L18 and consequently the production of carotenoids.

**Keywords:** Yeast, Natural dyes,  $\beta$ -carotene

### Introdução

Os carotenóides são compostos naturais abundantes, responsáveis pela cor da maioria das frutas e vegetais, variando desde o amarelo até o vermelho vivo. Na natureza são encontradas duas classes de carotenóides: os carotenos, tais como  $\beta$ -caroteno, hidrocarbonetos lineares, que podem ser ciclizados em uma ou em ambas as extremidades da molécula, e os derivados oxigenados de carotenos, como a luteína, violaxantina, neoxantina e zeaxantina, denominados xantofilas (SANDMANN, 2001).

Esses compostos são utilizados como corantes no enriquecimento de alimentos e também por apresentarem atividade pró-vitáminica A, com propriedades que resultam em possíveis funções biológicas benéficas à saúde.

De acordo com PERES *et al.* (2003) a ação protetora exercida pela vitamina A e pelos carotenóides inclui o aumento da função imunológica, dos canais de comunicação intracelular e da atividade antioxidante.

Estudos realizados por OLSON (1999) destacam a relação entre o consumo de alimentos ricos em carotenóides e a redução no risco de diversas doenças. Os carotenóides sequestram o oxigênio singlete, removendo os radicais peróxidos. Atuam ainda na modulação do metabolismo carcinogênico, inibe a proliferação celular, estimula a comunicação entre células e eleva a resposta imune.

As lesões causadas pelos radicais livres nas células podem ser prevenidas ou reduzidas por meio da atividade de antioxidantes, sendo estes encontrados em muitos alimentos (PAPAS, 1999).

Os antioxidantes podem agir diretamente na neutralização da ação dos radicais livres ou participar indiretamente de sistemas enzimáticos com essa função. Dentre os antioxidantes estão a vitamina C, a glutatona, o ácido úrico e os carotenóides (HALLIWELL e GUTTERIDGE, 1999), sendo estes encontrados em muitos alimentos.

Atualmente, a produção biotecnológica de carotenóides tem-se destacado pela possibilidade de utilização de substratos de baixo custo, utilização da denominação de substâncias naturais e emprego de pequeno espaço para produção não sujeita às condições ambientais (clima, estação do ano), além do total controle das condições de cultivo.

Com esse propósito, buscam-se alternativas, tais como o melhoramento das linhagens, adequação e padronização das condições de fermentação, assim como a identificação e caracterização de novas estirpes. Neste contexto, o conhecimento das exigências nutricionais das estirpes a serem cultivadas, como a suplementação do meio de cultivo com micronutrientes, é etapa fundamental tanto para o crescimento do microrganismo quanto para a carotenogênese.

As leveduras destacam-se como fonte proteica, desenvolvendo-se em substratos de baixo custo e alto teor de açúcar (TATSCH, 2008), além de apresentarem capacidade de produção de pigmentos, em concentrações variáveis de acordo com as espécies e as condições de cultivo.



Os gêneros *Rhodotorula rubra* e *Rhodospidium* produzem principalmente  $\beta$ -caroteno e toruleno, ao passo que *Phaffia rhodozyma* é produtora de astaxantina (MAEDA, 2004).

Vários estudos foram realizados objetivando avaliar as melhores condições de cultivo, tanto a produção de biomassa quanto de carotenóides em leveduras. Os resultados obtidos demonstram que o processo de carotenogênese está diretamente relacionado à exposição do meio de cultivo em presença de luminosidade (BHOSALE e GADRE, 2002) e aeração (SAKAKI et al., 2002).

Ao mesmo tempo, para algumas linhagens de levedura, a produção de carotenóides se dá em resposta à ação de agentes oxidativos ou danos causados por radiação ultravioleta. Além desses fatores, condições de estresse, tais como temperatura elevada, intensidade de aeração, presença de metais pesados e estresse osmótico, podem provocar alterações na formação de pigmentos (MAEDA, 2004).

O melaço constitui-se um excelente substrato por conter, além de açúcares, elevadas quantidades de outros componentes que podem interferir sobre a multiplicação e a carotenogênese em leveduras. Apresenta-se como um meio bastante complexo. Verifica-se que os teores de nutrientes podem se apresentar abaixo do ideal em virtude dos processos destinados a produção de açúcar.

Estudos realizados com melaço (BANZATTO et al., 2013) suplementado com ureia e Nitrofós KL (aditivo comercial), composto de fósforo, nitrogênio, magnésio, manganês e zinco, estimularam a síntese de biomassa e produção volumétrica de carotenóides.

Neste contexto, objetivou-se avaliar o crescimento da biomassa e a produção de carotenóides por *Rhodotorula rubra*, cultivada em meio de glicose suplementada com nutrientes.

### Material e Métodos

A levedura utilizada nesse experimento foi a *Rhodotorula rubra*, estirpe L18 (Figura 1), pertencente à coleção do Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool da FCAV – UNESP, Jaboticabal-SP. O microrganismo foi identificado através de testes bioquímicos convencionais, técnicas de RAPD (GUIDI, 2000) e sequenciamento do fragmento purificado do 18S rDNA (DUARTE, 2004). A manutenção foi realizada através de replicagem periódica em tubos inclinados contendo YM Agar (extrato de levedura 0,3%, peptona 0,5%, dextrose 1%, Agar 2%) com armazenamento a 8°C.

Para as suplementações, o meio utilizado para o cultivo da levedura foi composto por 240g/L de glicose, 30g/L de ureia, 6g/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 6g/L de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . Ambos suplementos foram adicionados aos meios de cultura antecedendo a adequação do pH para 5,5 e da esterilização em autoclave. O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado com 3 repetições, utilizando-se os nutrientes Zinco (Zn); Magnésio (Mg) e Manganês (Mn) isolados e/ou combinados entre si (Zn; Mg; Mn; Mg+Mn; Zn+Mg; Zn+Mn; Zn+Mg+Mn), além da testemunha, totalizando 8 tratamentos. Os resultados foram submetidos a análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade (BANZATTO e KRONKA, 2006).

Para reativação e crescimento das leveduras utilizou-se 250mL do meio YM líquido, ao qual se inoculou uma alíquota, mantida por 72 horas, a 30°C, com agitação constante de 200rpm. Após esse período, o material foi centrifugado, sendo o “*pellet*” formado ressuspenso em 10mL de solução salina estéril (0,85%). A concentração de células dessa suspensão foi determinada em câmara de Neubauer (LEE et al., 1981), que foi inoculada nos meios de cultura, preparados a partir de glicose com e sem suplementação de nutrientes, definidos através do tratamento estudado. A concentração inicial de células foi de  $10^6$  UFC/mL que foram transferidas para cada Erlenmeyer relativo ao tratamento a ser estudado.

Para o crescimento de massa e produção de carotenóides, utilizaram-se Erlenmeyers de 500 mL, contendo 250 mL do meio de cultura, todos com adequação do pH para 5,5. A seguir, submeteu-se a agitação em 200rpm e iluminação com duas lâmpadas fluorescentes com 1.600lm de luminescência, por 72 horas. O conteúdo de cada Erlenmeyer foi centrifugado a 15.000g por 10 min. e o “*pellet*” formado foi ressuspenso com 10mL de água deionizada. As amostras de leveduras foram liofilizadas por 72 horas até a secagem total do material, e armazenadas sob refrigeração para posterior utilização. A cultura liofilizada foi quantificada gravimetricamente e macerada com celite e acetona a 6°C, até extração exaustiva para obtenção dos carotenóides (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999). O extrato foi transferido para um funil de separação contendo éter petróleo adicionado de 3 a 4 volumes de água destilada para remoção da acetona. Foi utilizado sulfato de sódio anidro para secagem da fase apolar e, posterior concentração dos pigmentos em evaporador rotativo a temperaturas menores que 35°C até o volume de 6mL. Todos esses procedimentos foram realizados em condições de baixa luminosidade.

Para quantificação dos carotenóides, empregou-se o coeficiente de absorção de 2500 em éter de petróleo e absorvância medida a 450nm, segundo a Lei de Beer-Lambert, utilizando-se o coeficiente de extinção  $E=2500$  proposto por DAVIES (1976). Os carotenóides majoritários foram separados por cromatografia em camada delgada (CCD) analítica, em placas de sílica gel (Sílica GeL G 60, 10 x 20 cm e 0,25mm de espessura), utilizando-se como fase móvel éter de petróleo-tolueno (1:9v/v) e metanol – acetona – tolueno (5:20:75, v/v/v).

Para a identificação dos carotenóides efetuou-se uma cromatografia em camada delgada (CCD) preparativa, em placas de sílica gel (Sílica GeL G 60, 10 x 20 cm e 0,60mm de espessura), utilizando-se como fase móvel éter de petróleo-tolueno (1:9v/v) e metanol – acetona – tolueno (5:20:75, v/v/v). Comparou-se o espectro de absorção, e o  $R_f$  (fator de retenção), com os valores provenientes da literatura (PERRIER et al., 1995).

### Resultados e Discussões

Os resultados obtidos indicam que as maiores produções de biomassa seca de levedura foram obtidas em meio suplementado com Mg de modo isolado (0,96g/L) ou em combinação Zn+Mg+Mn (1,84g/L), (Figura 1). Considerando-se a produção volumétrica, os valores foram da ordem de 0,0275mg/L e 0,056mg/L, respectivamente (Figura 2). Da análise dos resultados obtidos, verifica-se que o Zn tem ação direta no processo metabólico e fisiológico da levedura. O Mg estimula a absorção de  $\text{H}_2\text{PO}_4$  e mantém a integridade e permeabilidade das membranas, regula o transporte de cátions bivalentes, auxiliam na atividade enzimática e na estruturação das organelas celulares (AMORIM

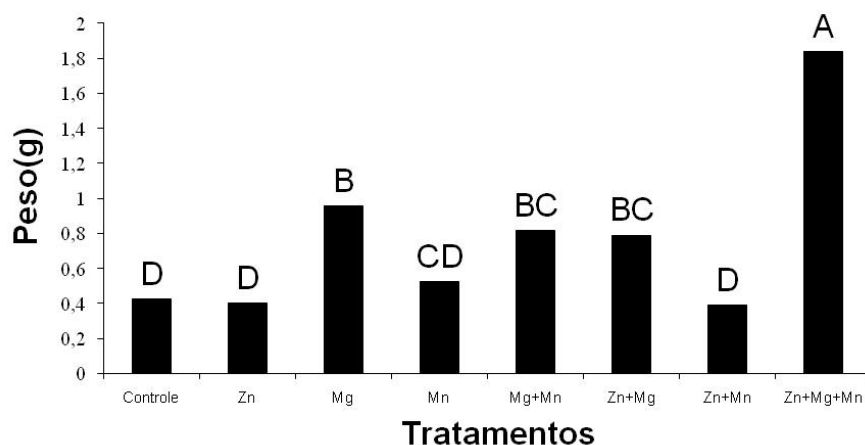
et al., 1996). Esses resultados ressaltam a importância da suplementação adequada de nutrientes no meio de cultivo, objetivando otimizar a produção de carotenóides por *Rhodotorula rubra*.

Os menores teores de carotenóides foram obtidos em meios suplementados com Zinco, isoladamente. Por meio das (Figuras 1 e 2), pode-se verificar que a produção de massa seca e a produção volumétrica foram de 0,4017g/L e 0,0036mg/L para este tratamento, enquanto para o tratamento controle os valores foram de 0,4234g/L e 0,0046mg/L. Para o tratamento combinado de Zn+Mn, os valores foram de 0,3887g/L e 0,0034mg/L, respectivamente. O Zn é o elemento fundamental como cofator catalítico em várias enzimas e não pode ser substituído por outro íon em suas funções (TATSCH, 2008).

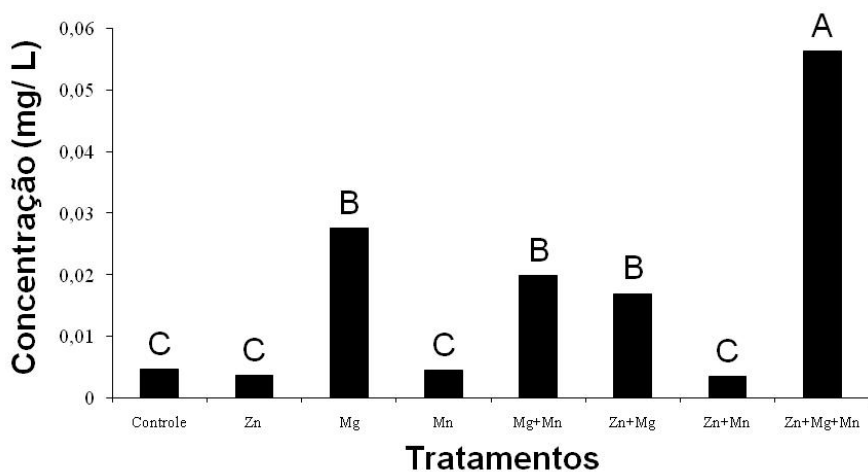
Os resultados corroboram com BANZATTO *et al.*, (2013), utilizando-se melaço suplementado com ureia e a produção volumétrica de carotenóides de 3,40mg/L a partir de *R. rubra*. De modo semelhante, FARIA (2008), trabalhando com a mesma cepa de levedura cultivada em meio suplementado com melaço, constatou que o sulfato de magnésio proporcionou a maior produção de biomassa seca (8,69g/L), enquanto as menores foram observadas para o tratamento com sulfato de zinco (7,39g/L). Estudando *R. rubra*, BONADIO (2008) observou maior produção de biomassa seca (1,9408g) quando a fonte utilizada foi maltose e a sacarose, ambos suplementados com Mg. Ao mesmo tempo, observou-se menor produção de biomassa seca para os tratamentos com maltose suplementados P+Zn (0,4743g) e para os tratamentos com sacarose N+P+Zn (0,4274g).

Esse comportamento deve estar relacionado com a função dos minerais no metabolismo, atuando como componentes funcionais de proteínas, ativadores de enzimas ou estabilizadores de proteínas. De acordo com MORRIS (1958), embora alguns compostos minerais não sejam essenciais para o processo de multiplicação, podem ser fundamentais por estimularem o crescimento de leveduras.

**Figura 1.** Representação gráfica dos resultados obtidos para massa seca com os micronutrientes.



**Figura 2.** Representação gráfica dos resultados obtidos para concentração de carotenóides com os micronutrientes.



Os dados obtidos por CCD e o Rf observado foram comparados aos obtidos na literatura. Os resultados mostraram que os carotenóides majoritários observados foram toruleno, torularrodina e  $\beta$ -caroteno (Tabela 1). Esses estão de acordo com os reportados anteriormente em experimentos com *R. Rubra* (BANZATTO *et al.* (2013), MAEDA, (2004), PERRIER *et al.*, (1995), SHIH e HANG, (1996).

Tabela 1. Identificação dos principais carotenóides produzidos pela *R. rubra*.

Pigmentos	R <sub>f</sub>	Max (nm)		Identificação	Fase móvel utilizada
		Espectro obtido	Espectro de referência		
1	0,96	457,481,512	459,482,514	Toruleno	Metanol-Acetona-Tolueno 5:20:75
2	0,74	460,492,520	460,494,524	Torularrodina	Metanol-Acetona-Tolueno 5:20:75
3	1	420,450,474	425,450,475	B-caroteno	Éter-petróleo-tolueno 1:9

### Conclusão

A utilização de suplementação do meio de cultivo com Zinco+Magnésio+Manganês eleva a quantidade de massa seca e volumétrica da estirpe L18 e, conseqüentemente da produção de carotenóides.

### Referências Bibliográficas

- AMORIM, H. V.; BASSO, L. C.; ALVES, D. M. G. Processos de produção de álcool. In: AMORIM, H. V.; BASSO, L. C.; ALVES, D. M. G. **Controle e monitoramento**. 1 ed. Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, 1996. p. 56-59.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação Agrícola. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.
- BANZATTO, D.; FREITA, L.A.; MUTTON, M.J.R. Carotenoid production by *Rhodotorula rubra* cultivated in sugarcane juice, molasses, and syrup. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 33(Supl. 1), p. 14-18, fev. 2013.
- BHOSALE, P.; GADRE, R. V. Manipulation of temperature and illumination conditions for enhanced b-carotene production by mutant 32 of *Rhodotorula glutinis*. **Letters in Applied Microbiology**, v. 34, p. 349-353, nov. 2002.
- BONADIO, M. P. Produção de carotenóides por *Rhodotorula rubra* em caldo de cana, com diferentes nutrientes. In: XX Congresso de Iniciação Científica, 2008, São José dos Campos. **Anais...São José dos Campos: XXCIC**, 2008. p. 1-4.
- BUZZINI, P.; MARTINI, A.; GAETANI, M.; TURCHETTI, B.; PAGNONI, U. M.; DAVOLI, P. Optimization of carotenoid production by *Rhodotorula graminis* DBVPG 7021 as a function of trace element concentration by means of response surface analysis. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 36, p. 687-692, abr. 2005.
- DAVIES, B. H., Carotenoids in: GOODWIN, T. W. (Ed.) **Chemistry and biochemistry of plant pigments**. New York: Academic Press, p.38-165, 1976.
- DUARTE, R. M. Isolamento e identificação de leveduras selvagens, da fermentação etanólica, através de técnicas moleculares e bioquímicas. 2004. 67f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.
- FARIA, M. A. O. Produção de carotenóides por *Rhodotorula rubra* cultivada em meio de melaço suplementado com magnésio, manganês e zinco e suas associações. 2008. 40f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2008.
- GUIDI, R.H. Caracterização, classificação e determinação de marcadores genético moleculares para estirpes de leveduras contaminantes da fermentação etanólica. 2000. 99f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2000.
- HALLIWELL B.; GUTTERIDGE J.M.C. Free radical, other reactive species and disease. In: HALLIWELL B.; GUTTERIDGE J.M.C. Free radicals in biology and medicine. **Oxford: Clarendon Press**, 3 ed, 1999, p.617-783.
- LEE, S. S.; ROBINSON, F. M.; WONG, H. Y. Rapid determination of yeast viability. **Biotechnology and Bioengineering Symposium, Gatlinburg**, TN, USA, n. 11, p. 641-649, jan. 1981.
- MAEDA, F. Análise de carotenóides produzidos pela *Rhodotorula rubra*. 2004. 58f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.
- MORRIS, E. O. The Chemistry and Biology of Yeasts. In: MORRIS, E. O. H. COOK, (Ed.). New York: Academic Press, 1958, p.251-321.
- OLSON J.A. Carotenoids and human health. **Arch Latinoam Nutr**, 49 (3 Suppl 1) : p. 7-11, sept. 1999.
- PAPAS, A.M. Diet and antioxidant status. **Food Chem Toxicol**, Elsevier, Oxford, v. 37, p. 999-1007, set/out. 1999.
- PARK, P. K.; CHO, D. H.; KIM, E. Y.; CHU, K. H. Optimization of carotenoid production by *Rhodotorula glutinis* using statistical experimental design. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 21, p. 429-434, jun. 2005.
- PERES, W. A. F., PAULA, T. P. de., SILVA, R. A. R. N. de., COELHO, H. S. M. Atuação da vitamina A e carotenóides na hepatocarcinogênese, **Revista Brasileira de Cancerologia**, 49(2): p. 113-120, mar. 2003.
- PERRIER, V.; DUBREUCQ, E.; GALZY, P. Fatty acid and carotenoid composition of *Rhodotorula strains*. **Archives of Microbiology**, v. 164, p. 173-179, sept. 1995.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoids analysis in foods. Washington, D.C.: International Life Science Institute, 1999, p. 71.
- SANDMANN, G. Carotenoid biosynthesis and biotechnological application. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 385, n. 1, p. 4-12, jan. 2001.
- SAKAKI, H.; NOCHIDE, H.; KOMEMUSHI, S.; MIKI, W. Effect of active oxygen species on the productivity of torularhodin by *Rhodotorula glutinis* n. 21. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Osaka, v. 93, n. 3, p. 338-340, mar. 2002.
- SHIH, C. T.; HANG, Y. D.. Production of carotenoids by *Rhodotorula rubra* from sauerkraut brine. In: SHIH, C. T.; Hang, Y. D.. **LWT - Food Science and Technology**, Geneva, New York, v. 29, p. 1996, 570-572.
- TATSCH, O. P.; Produção de carotenóides em meio sintético por *Sporidiobolus salmonicolor* CBS 2636 em biorreator. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Erechim-RS, Brasil, 2008.

## DESENVOLVIMENTO DE UMA ROTA TECNOLÓGICA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL CELULÓSICO DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Samara Soares<sup>1</sup>, Alexei Barban do Patrocínio<sup>2</sup>, Fábio César da Silva<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Mestranda da Universidade de São Paulo – ESALQ.

<sup>2</sup> Professor e pesquisador, Faculdade de Tecnologia “Deputado Roque Trevisan”, Piracicaba -SP.

<sup>3</sup> Professor e pesquisador, Embrapa Informática Agropecuária / Faculdade de Tecnologia “Deputado Roque Trevisan”, Piracicaba - SP.

*alexepatrocinio@yahoo.com.br*

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o pré-tratamento ácido no bagaço de cana-de-açúcar com planejamento fatorial 2<sup>3</sup> com os parâmetros: tempo, temperatura e razão sólido/líquido (bagaço/ácido) para determinar quais desses parâmetros são significativos e suas interações em relação ao rendimento em AR (açúcares redutores). Foram determinados os seguintes parâmetros neste trabalho através das metodologias usuais do setor sucroalcooleiro: Açúcares Redutores (AR), compostos fenólicos, holocelulose, celulose e lignina. O principal resultado desse estudo foi um valor de rendimento em atividade nas condições otimizadas de 3780%. O rendimento previsto variou em função do experimental em 1,4%, estando o mesmo dentro dos valores esperados. O pré-tratamento separou a matriz da lignina, reduziu a cristalinidade da celulose, aumentou a amorfia da mesma e solubilizou a hemicelulose, como se esperava, apresentando um rendimento de conversão de 89,54 % de celulose.

**Palavras-chave:** etanol, bagaço de cana-de-açúcar, renovável, Brasil.

### Summary

The aim of this work is to evaluate the pre-acid treatment in sugarcane bagasse with factorial planning 2<sup>3</sup> with the parameters: time, temperature and solid reason/liquid to determine which of these parameters are significant and the interactions in relation to the performance in AR (reducing sugars). We determined the following parameters in this work through the usual methods of this sector: Reducing Sugars (AR), phenolic compounds, holocellulose, cellulose and lignin. The main result of this study was a yield value in activity under optimized conditions of 3780%. The planned yield varied in function of the experiment in 1.4%, within the expected values. Pre-treatment separated the matrix from the lignin, reduced cellulose crystallinity, increased its amorphousness and solubilized the hemicelluloses, as expected, presenting conversion yield of 89.54 % of cellulose.

**Keywords:** ethanol, sugarcane bagasse, renewable, Brazil.

### Introdução

Petróleo, gás natural e seus derivados representam 55% do consumo mundial de energia. São esses combustíveis que permitem a existência dos meios de transporte rápidos e eficientes que temos hoje, bem como boa parte das atividades industriais. Lamentavelmente, a previsão de durabilidade para as fontes de petróleo, que não são renováveis, não ultrapassa mais do que algumas décadas. Assim, as reservas dos combustíveis fósseis são finitas e a segurança de abastecimento é problemática para muitos países que os importam. Ainda, o seu uso é a principal fonte de gases que estão provocando mudanças climáticas e o aquecimento global.

Dessa forma, é importante e necessário o desenvolvimento de tecnologias renováveis de geração de energia e biocombustíveis a partir da biomassa, que é constituída pelo material produzido por todos os seres vivos em seus diferentes processos, isto é, a matéria orgânica viva, desde quando fixa energia solar nas moléculas constituintes de suas células, passando por todas as etapas da cadeia alimentar, ou trófica (BRISTOTI *et al.*, 1993; JOHANSSON *et al.*, 1993; WEREKO, *et al.*, 1996; e mais).

As biomassas vegetais contêm grandes quantidades de celulose, além de outros polissacarídeos hidrolisáveis em glicose para fermentação a etanol combustível ou para a produção de produtos químicos de interesse. Na natureza a biodegradação é lenta, pois a lignina e a cristalinidade dos substratos restringem o acesso das enzimas hidrolíticas aos componentes dos polissacarídeos. Entretanto, a biomassa pode ser pré-tratada e fracionada, utilizando processos que envolvem altas temperaturas e pressão, combinadas a catálises ácidas ou básicas, liberando os materiais lignocelulósicos em condições mais acessíveis ao ataque das enzimas (PALONEN *et al.*, 2004).

No Brasil, o etanol produzido da cana-de-açúcar já substitui hoje metade da gasolina que seria consumida e seu custo é competitivo sem os subsídios que o viabilizaram no programa Proálcool em seu início. Com a crescente demanda do mercado nacional e internacional de álcool, faz-se necessário expandir as áreas de cultivo de cana-de-açúcar para que a mesma seja atendida. No entanto, para evitar a expansão desmedida das áreas de cultivo, têm se desenvolvido processos biotecnológicos que permitam a utilização dos resíduos industriais lignocelulósicos já existentes para a produção de etanol de segunda geração. Dentre estes resíduos, os resíduos celulósicos encontrados no bagaço da cana-de-açúcar constituem uma das fontes mais promissoras de carboidratos para a produção de etanol de segunda geração, com o excedente proveniente da geração de energia a partir do mesmo.

### Materiais e Métodos

#### **Bagaço de cana-de-açúcar**

As amostras de bagaço de cana-de-açúcar, utilizadas nas análises, vieram de uma usina próxima da cidade de Piracicaba, no interior de São Paulo. Foram colocados 2 kg de bagaço de cana-de-açúcar na estufa por 48 horas a 45°C (RABELLO, 2010) e depois armazenado em temperatura ambiente, para evitar contaminação por microrganismos. Para o pré-tratamento ácido o bagaço foi lavado, filtrado e seco em uma estufa Biopar a 60°C por 24 h, desfibrado em um desintegrador modelo D-2500-II da marca Dedini separado em peneiras da série de Taylor de 14 e 60 mesh e armazenado em local fresco (MORAIS *et al.*, 2012).

**Pré-tratamento ácido**

O bagaço de cana-de-açúcar foi pesado 50 g em Erlenmeyer, onde se adicionou ácido clorídrico comercial P. A. concentrado de acordo com os valores determinados no planejamento fatorial (Tabela 1). Sendo agitado a 150 rpm, o tempo e a temperatura foram determinados também por planejamento fatorial. Em seguida, o bagaço foi lavado, neutralizado e analisado quanto aos açúcares redutores (AR), compostos fenólicos, hemicelulose, lignina e celulose.

Foram determinados os seguintes parâmetros neste trabalho através das metodologias usuais do setor sucroalcooleiro: Açúcares Redutores (AR), compostos fenólicos, hemicelulose, celulose e lignina.

**Delineamento Experimental do Pré-Tratamento do Bagaço de Cana-de-açúcar em meio Ácido**

Os parâmetros aqui estudados foram: tempo (A), temperatura (B) e razão sólido-líquido (bagaço/ácido) (C).

O delineamento experimental para verificação dos parâmetros sobre o pré-tratamento ácido foi realizado segundo um esquema fatorial completo do tipo 2<sup>3</sup> com 4 ensaios no ponto central e em duplicata. Os níveis dos parâmetros utilizados são mostrados na (Tabela 1), onde (-1), (0) e (+1) significam o menor nível, nível médio e maior nível, respectivamente.

**Tabela 1.** Valores dos níveis dos parâmetros avaliados no planejamento fatorial completo 2<sup>3</sup> com 4 ensaios no ponto central utilizado no pré-tratamento ácido.

Parâmetros	Níveis		
	(-1)	0	(+1)
A = Tempo de hidrólise (min.)	20	40	60
B = Temperatura (°C)	30	45	60
C= Razão sólido/líquido (g/mL)	1:10	1:15	1:20

**Resultados e Discussão**

Durante a hidrólise ácida, a xilose é rapidamente degradada a furfural, fenol e outros co-produtos de condensação, os quais são inibitórios as enzimas e leveduras. Visando o pré-tratamento ácido, um planejamento experimental foi realizado, através do estudo dos parâmetros: tempo de hidrólise, temperatura, razão sólido/líquido e suas interações e foram determinados rendimento em AR (açúcar redutor), determinação de fenol (mg/L) e AR (mg/mL) e os resultados são apresentados na (Tabela 2).

**Tabela 2 -** Esquema Matriz do planejamento fatorial 2<sup>3</sup> com 4 ensaios no ponto central, rendimento em AR (açúcar redutor), determinação de fenol (mg/L) e AR (mg/mL).

Ensaio	Rendimento em AR (%)	Rendimento em Fenol (mg/L)	Rendimento em AR (mg/mL)
1	635,8	93,4	9,6
2	2157,7	78,4	29,4
3	4476,9	35,9	59,5
4	1376,9	79,7	19,2
5	613,8	94,7	9,3
6	1489,2	48,4	20,6
7	3256,2	44,7	43,6
8	2847,7	40,9	38,3
9	2608,5	72,3	35,2
10	3139,2	82,4	42,1
11	2412,3	94,0	32,6
12	3053,8	87,4	41,0

Os resultados determinados estão de acordo com o que se esperava na literatura, ou seja, o ensaio onde se obteve maior quantidade de açúcar foi o qual se obteve menor valor em fenol e vice-versa. Isso pode ser observado ao analisar a (Tabela 2) constatando-se que o ensaio 3 obteve-se a maior quantidade de AR (mg/mL) e o menor valor de fenol (mg/L) e o ensaio 5 ao contrário. Ainda, ao analisar a (Tabela 2), constata-se que o ensaio 3 foi o que se obteve-se o maior rendimento em AR, com os parâmetros razão sólido/líquido e tempo

em seu menor nível (-) e temperatura no seu maior nível (+) e o ensaio 5 obteve o menor rendimento em AR, com os parâmetros tempo e temperatura no menor nível (-) e razão sólido/líquido no seu maior nível (+).

Estas observações podem ser comprovadas pela análise estatística dos resultados, apresentadas na (Tabela 3). Os resultados comprovam as observações anteriores, ou seja, o parâmetro temperatura apresenta efeitos significativos. O mesmo não acontece com o tempo e razão sólido/líquido. Sendo assim, esses resultados são muito importantes, pois o que interessa é obter o maior rendimento em açúcares redutores com o menor consumo de ácido e menor quantidade de fenol.

Ao analisar os parâmetros significativos, constata-se que o parâmetro B apresenta um sinal positivo, o que indica que, para haver aumento do rendimento em atividade, será preciso aumentar os valores deste parâmetro. Os parâmetros A e C não apresentaram efeito significativo juntamente com suas interações, apresentando um valor ( $p < 0,05$ ). Estas observações podem ser comprovadas através da (Tabela 4) onde se pode também notar através da análise da variância que a curvatura não é significativa ( $p < 0,05$ ), o que indica que o modelo é melhor representado por uma equação linear.

**Tabela 3.** Efeitos estimados, valores do teste t de “Student” e erros-padrão obtidos no planejamento fatorial completo  $2^3$  com 4 ensaios no ponto central.

Efeitos e interações	Estimativas	Erros-Padrão	T
Média	2106,72	234,4889	8,98433
A	-277,7	468,9778	-0,59214
B	1765,4	468,9778	3,76436*
C	-110	468,9778	-0,23455
AB	-1476,55	468,9778	-3,14844*
AC	511,15	468,9778	1,08992
BC	235,05	468,9778	0,5012

A = Tempo de hidrólise (min.); B = Temperatura (°C) C = Razão sólido/líquido (g/mL); Significativos ( $t_{4,0,95} = 2,77$ )

Como os resultados das análises demonstraram que o modelo é linear, então podemos representar o processo de pré-tratamento ácido do bagaço de cana-de-açúcar considerando os termos que realmente influenciam no rendimento em atividade, pela Equação 1:

$$Y = 2.106,725 + 882,700B - 738,275AB, \text{ onde}$$

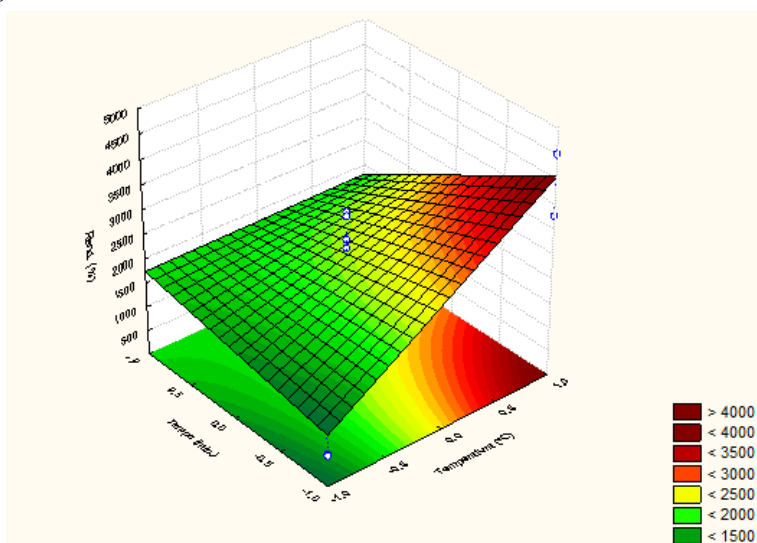
Y representa o rendimento em atividade, A o tempo da reação e B a temperatura.

A partir deste modelo, obteve-se melhores resultados de recuperação em atividade quando se utilizou os valores de 20 minutos para tempo de reação e 60°C para temperatura. Nessas condições o rendimento máximo estimado pelo modelo foi de 3727%.

A metodologia da superfície de resposta foi utilizada para otimizar as condições do pré-tratamento ácido sobre o bagaço de cana-de-açúcar, fornecendo um modelo matemático adequado para a resposta em rendimento em atividade (BARROS NETO *et al.*, 2010).

A superfície de resposta do modelo e as linhas de contorno estão apresentadas na (Figura 1). É possível observar que o rendimento máximo obtido para este modelo pode ser de 4000 %.

**Figura 1.** Superfície de resposta e curvas de nível descrito pelo modelo da equação 1, que representa o pré-tratamento ácido do bagaço de cana-de-açúcar.



Com o objetivo de se avaliar o modelo, foi realizado um novo experimento nas condições otimizadas. Para isto, utilizou-se temperatura a 60°C que foi o parâmetro significativo no maior nível (+) e tempo de 20 minutos no menor nível (-). Uma vez que a razão sólido/líquido não foi significativa, optou-se em trabalhar no valor inicial, 1:10, o que equivale ao menor nível (-1). Foi obtido um valor de rendimento em atividade de 3780 %. O rendimento previsto variou em função do experimental em 1,4%, estando o mesmo dentro dos valores esperados.

#### Determinação de holocelulose (celulose+hemicelulose) e lignina

O pré-tratamento tem por objetivo a solubilização e a separação dos principais componentes da biomassa – celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, deixando o material remanescente mais disponível à hidrólise, através da quebra da proteção vinda da lignina, solubilização da hemicelulose e da desestruturação da celulose cristalina. A (Tabela 4) mostra o que acontece com a fibra ao passar por um processo de pré-tratamento, através da determinação da holocelulose, celulose, lignina e hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar sem tratamento e do bagaço tratado com HCl 37% m/m.

Na composição da biomassa da cana, existe um predomínio da holocelulose, (celulose + hemicelulose), seguido pela lignina. A outra fração significativa é a dos extraíveis em solventes orgânicos (éter etílico e benzeno), constituída fundamentalmente pela película protetora de ceras que impermeabiliza o caule da cana (NOVA CANA, 2013).

Com a separação das principais estruturas morfológicas das fibras e a redução da cristalinidade da celulose, espera-se que os diferentes tipos de pré-tratamentos, pelo que ressaltou o trabalho de (KUMAR *et al.* 2009), atinjam os seguintes requisitos: melhorem o rendimento da sacarificação da celulose; evitem a perda ou degradação dos carboidratos; evitem a formação de subprodutos inibidores dos processos subsequentes (hidrólise e/ou fermentação, etc.) e, apresentem um custo-benefício compensatório.

**Tabela 4.** Determinação de holocelulose, celulose, lignina e hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar sem tratamento e do bagaço tratado com HCl 37%.

Tipo de bagaço	Frações do bagaço de cana (g)			
	<i>Holocelulose</i>	<i>Celulose</i>	<i>Hemicelulose</i>	<i>Lignina</i>
Sem tratamento	1,0975	0,1768	0,9207	0,3925
HCl 37%	0,3429	0,3351	0,0078	0,0179
Rendimento	68,76 %	89,54 %	99,15 %	95,44 %

\*Tipo de bagaço: sem tratamento- bagaço lavado, triturado e peneirado; HCl 37%- bagaço pré-tratado a 60 °C, 20 min. e razão sólido/líquido 1:10 determinada como condições otimizadas pelo planejamento fatorial.

Com respeito aos teores de celulose, o bagaço com o pré-tratamento foi, em geral, superior ao bagaço sem tratamento, apresentou um rendimento de 89,54 %. O tratamento com HCl 37% apresentou maior teor de celulose, sugerindo maior extração de frações como a lignina e reduzindo a cristalinidade da celulose e aumentando a amorfa da mesma.

Também na (Tabela 4) constata-se que o bagaço sem tratamento apresentou maiores teores de hemicelulose do que o bagaço pré-tratado, que comprova o que mostra na literatura que o objetivo do pré-tratamento é reduzir a cristalinidade da celulose, separar a matriz da lignina, solubilizar a hemicelulose para que a celulose fique mais acessível à hidrólise enzimática.

#### Conclusões

No pré-tratamento ácido do bagaço de cana-de-açúcar utilizando um planejamento fatorial 2<sup>3</sup> foram analisados os parâmetros: tempo, temperatura e a razão sólido/líquido, sendo que as que apresentaram elevada significância foram temperatura (60°C) e a interação entre temperatura (60°C) e o tempo (20 min.). Com a análise de variância constatou-se que a curvatura não foi significativa, sendo o modelo melhor representado como linear.

Com o objetivo de evitar a formação de fenol no pré-tratamento ácido, pois prejudicaria as etapas posteriores, comprovou-se que as condições físico-químicas do processo são muito importantes para evitar a formação desses compostos fenólicos e dependendo dessas condições, quanto mais açúcares gerados no pré-tratamento, menos fenol é produzido nas amostras e vice-versa.

A determinação de celulose, hemicelulose e lignina do bagaço de cana-de-açúcar que foi submetido a um pré-tratamento ácido nas condições otimizadas dada pelo planejamento fatorial 2<sup>3</sup> na etapa anterior em comparação com o bagaço que não foi tratado, comprovou que o pré-tratamento tem por objetivo separar a matriz da lignina, reduzir à cristalinidade da celulose e aumentar à amorfa da mesma e solubilizar a hemicelulose, deixando a celulose mais acessível à hidrólise enzimática, apresentando 89,54 % em rendimento de celulose.

#### Referências Bibliográficas

- BARROS N.B., *et al.* **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Campinas, SP: Editora Unicamp, 2003.
- BRISTOTI, *et al.* **Diagnóstico da utilização e da oferta da biomassa vegetal no Rio Grande do Sul.** Núcleo de Energia, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 1993.
- JOHANSSON, T. B. *et al.* **Renewable energy: sources for fuels and electricity.** Island Press, Washington, DC, 1993.
- KUMAR, P.; BARRETT D, M.; DELWICHE, M. J.; STROEVE P. - **Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production.** Industrial & Engineering Chemistry Research is published by the American Chemical Society. 1155 Sixteenth Street N.W., Washington. Article ASAP • DOI:10.1021/ie801542g. 1999.

- KUJALA T. STS. **Phenolics and betacyanins in red beetroot (*Beta vulgaris*) root: distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds.** J Agric Food Chem 48: 5338-5342,2000.
- MORAIS, A. P. S., *et al.* **Pré-hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar e sua caracterização físico-química.** Disponível em: <energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/download/784/324>. Acesso em: 01/10/2013.
- NOVA CANA, 2013. Disponível em: <http://www.novacana.com/estudos/etanol-celulosico-bagaco-cana-de-acucar-como-materia-prima-para-hidrolise-241013/>. Acesso em: 02/06/2014.
- PALONEN, H., *et al.* **Adsorption of *Trichoderma reesei* CBH I and EG II and their catalytic domains on steam pre-treated softwood and isolated lignin.** Journal of Biotechnology, v.107, p.65–72, 2004.
- RABELO, S. C. Avaliação e Otimização de pré-tratamento e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a Produção de Etanol de Segunda Geração– Campinas, SP, 2010.
- SUN, *et al.*, **Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review.** Bioresource Technology, Raleigh, p.1-11, 2002.
- TAPPI. (Professional Organization dedicated to pulp and paper industries). Disponível em<: www.tappi.org>. Acesso em 02/07/2014.
- WEREKO, *et al.* **Biomass conversion and technology.** UNESCO energy engineering series, John Wiley & Sons Ltd., England, 203 p., 1996.



## USO DO EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS PARA DILUIÇÃO DO MOSTO DE MELAÇO E INFLUÊNCIA NA FERMENTAÇÃO

Maiara Aparecida Kesserlingh<sup>1</sup>, Josiene Rocha Teixeira<sup>1</sup>, Roberto Alves de Oliveira<sup>2</sup>, Rose Maria Duda<sup>1</sup>,  
Leonardo Lucas Madaleno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fatec Nilo De Stéfani – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Jaboticabal-SP.

<sup>2</sup>Unesp de Jaboticabal – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Jaboticabal-SP

leonardo.madaleno@fatecjaboticabal.edu.br

### Resumo

O objetivo do presente estudo foi utilizar o efluente da produção de biogás para diluição do mosto de melaço e avaliar a influência no processo fermentativo. O delineamento utilizado foi o em blocos casualizados com quatro tratamentos e três repetições. O primeiro tratamento foi o efluente da produção de biogás em reator UASB, o segundo o efluente do reator + tratamento com FENTON. A vinhaça in natura foi o controle negativo e água deionizada o controle positivo para preparo do mosto de melaço. Foi avaliada a qualidade do mosto, processo fermentativo e do vinho. Houve redução de acidez do mosto para os tratamentos com o efluente em comparação a vinhaça in natura e, menor do que com a água deionizada. Para o ART, os níveis foram semelhantes ao controle positivo. No tratamento efluente + FENTON houve redução da viabilidade inicial, porém, na final não houve diferença entre os tratamentos. No vinho, o teor de álcool e a eficiência fermentativa foram semelhantes entre os tratamentos com efluente e água deionizada. O uso do efluente da produção de biogás na diluição é possível, necessitando de mais estudos e aprimoramento para reuso da água entre os processos de produção dos dois biocombustíveis.

**Palavras-chave:** Fenton, Produção de etanol, vinhaça, leveduras, eficiência fermentativa, biogás

### Summary

The aim of this study was use effluent from biogas production for molasses mash dilution and evaluate influence in fermentative process. The experimental design was randomized blocks with four treatments and three repetitions. The first treatment was effluent from biogas production by UASB reactor, the second effluent + FENTON after treatment. In natura vinasse was the negative and deionized water the positive control form mash preparing. We evaluated mash, fermentation process and wine quality. There was reduction in mash acidity comparing effluents treatments with in natura vinasse, and minor compared with deionized water. For TRS (total reducing sugars), effluents had the same level compared with positive control. Effluent + FENTON treatment reduce initial viability, however, in the end there wasn't treatments difference. In the wine, the ethanol quantity and fermentative efficiency were identical between effluents treatments and deionized water. The use of effluent from biogas production in dilution is possible, however need more study and enhancement for water reuse between biofuels process.

**Keywords:** Fenton, Ethanol production, vinasse, yeast, fermentative efficiency, biogas

### Introdução

O melaço, em algumas unidades industriais, é a matéria-prima mais utilizada para produção de etanol. Em comparação ao caldo extraído, apresenta menor concentração de nutrientes, que foram removidos durante o tratamento do caldo para produção de açúcar e elevada concentração de açúcar, em torno de 85 Brix. Para o uso deste subproduto na fermentação é necessário que ocorra diluição com água no preparo do mosto, para correção na quantidade de açúcares.

Uma das possibilidades de uso como água de diluição poderia ser a vinhaça, subproduto da destilação obtido entre 10 a 14L por litro de álcool produzido (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013). A vinhaça contém compostos fenólicos (taninos e ácido úmico), melanoidinas advindas da reação de Maillard entre açúcar e proteínas, caramelos promovidos pelo aquecimento da sacarose, e produção de furfural pela hidrólise de ácidos podem contribuir para a cor final do subproduto (WILKIE *et al.*, 2000). Ademais, esses compostos são reconhecidos como inibidores do processo fermentativo (RAVANELI *et al.*, 2011).

Alternativa de destinação da vinhaça é a crescente utilização do subproduto na produção de biogás (MORAIS *et al.*, 2015). Os mesmos autores informam que a digestão anaeróbia consiste numa sequência metabólica complexa que ocorre na ausência de oxigênio molecular e depende da atividade de ao menos três distintos grupos de micro-organismos que promovem estáveis e bem reguladas fermentações da matéria orgânica, resultando em metano (biogás) e dióxido de carbono. O biogás pode ser utilizado como combustível devido às elevadas concentrações de metano, usualmente na faixa de 55% a 70%.

O tratamento biológico anaeróbio da vinhaça, em reator de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) é comum para o tratamento da vinhaça e apresenta elevada produção de metano (MORAIS *et al.*, 2015). No entanto, o uso do efluente desses equipamentos na fermentação alcoólica foi pouco explorado, e quando realizado ocorreu inibição da fermentação para a produção de bioetanol de milho (ALKAN-OZKAYNAK & KARTHIKEYAN, 2011).

Para auxiliar e melhorar a qualidade do efluente podem ser utilizados alguns tratamentos como o uso da reação de Fenton. A utilização desta reação para limpeza de efluentes é amplamente empregada nas indústrias (RODRIGUES, 2009). A reação de Fenton baseia-se na decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio em meio ácido e na presença do catalisador ferro (II), formando-se radicais HO<sup>•</sup> e íons OH<sup>-</sup>, não sendo necessário operar a pressões e temperaturas elevadas e utilizar equipamentos sofisticados. As substâncias orgânicas ficam sujeitas ao ataque de radicais livres, em especial do radical hidroxila; assim, a etapa limitante deste processo é a formação deste radical. Esse tipo de reação foi pouco explorado para o tratamento da vinhaça in natura. No presente estudo, esse tratamento foi adicionado para terminar a purificação realizada pelo biorreator na busca de favorecer a produção de etanol pelas leveduras.

Dentro deste contexto, o objetivo do presente estudo foi utilizar o efluente da produção de biogás para diluição do mosto de melão e avaliar a influência no processo fermentativo.

### Material e Métodos

Foi realizado o delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos e três repetições. O primeiro tratamento aplicado na vinhaça foi com a produção de biogás em reator UASB resultando em efluente utilizado no preparo do mosto, efluente do biorreator + tratamento com FENTON e uso da vinhaça in natura (controle negativo) e água deionizada (controle positivo) para preparo do mosto de melão para a fermentação etanólica.

Para a produção de biogás, a unidade experimental foi composta por dois reatores UASB em série instalados no campus da FCAV/Unesp de Jaboticabal, com volumes de 214,2 L (R1) e 115,0 L (R2), tanque para armazenagem do afluente e do efluente, bomba helicoidal, e gasômetros.

Os reatores UASB (R1 e R2) foram inicialmente operados utilizando vinhaça da produção de etanol, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 24 h (R1) e de 12 h (R2). O efluente do R2 era circulado e misturado com a vinhaça bruta diariamente na proporção de 200:20. A recirculação foi realizada para o aproveitamento da alcalinidade do reator, evitando a utilização de produtos químicos para a correção do pH e este processo é usual para a operação de reatores UASB no tratamento da vinhaça.

Para a reação com FENTON foi utilizado 1L do efluente retirado do segundo reator do biorreator UASB. Em seguida, foi realizado o aquecimento até 55 °C e o pH foi corrigido para 3,0 utilizando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1 M). Após foi adicionado 5,43 g de FeSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O e acrescentou-se 110 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30% m/m). A reação durou 90 minutos. Em seguida, adicionou-se carbonato de cálcio para corrigir o pH para 10. O líquido então foi colocado em proveta de 1L para sedimentação do lodo e em seguida, foi retirado o sobrenadante que foi utilizado para a diluição do mosto usado para o processo fermentativo.

Para avaliar a qualidade da vinhaça tratada foi determinada a quantidade de sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez sulfúrica (g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> L<sup>-1</sup>), com a metodologia adaptada de CTC (2011) e contaminação (UFC mL<sup>-1</sup>), conforme metodologia que será detalhada nas análises microbiológicas na produção de etanol. Também foi verificado o odor, de forma simplificada, com aproximação dos líquidos perto da narina e foram estabelecidas três intensidades. Sem odor, quando não apresentava cheiro. Leve Odor, quando o cheiro do líquido era perceptível, entretanto, não desagradável. O último grau foi o desagradável com cheiro ruim.

Para a realização dos experimentos foi diluído o melão coletado em usina da região de Ribeirão Preto de 82,5° Brix para 14° Brix, utilizando-se das águas advindas dos tratamentos empregados no ensaio. O pH do mosto foi corrigido para 4,5 com a adição de ácido sulfúrico (5 N). Em seguida, foram realizadas as análises de qualidade do mosto através da determinação da acidez total e açúcares redutores totais (ART), de acordo com (CTC, 2011).

Para o experimento, foi utilizada levedura prensada (*Saccharomyces cerevisiae*) na proporção de 30 g L<sup>-1</sup>. O fermento foi adicionado à vidros BOECO® e utilizou-se de 100 mL do mosto para a primeira alimentação. As alimentações seguintes, com 100 mL de mosto, foram cronometradas de 15 em 15 minutos até atingir o volume total de 500 mL. Após 15 minutos da última alimentação foram retiradas amostras para a análise de viabilidade e contaminação inicial. Em seguida, os vidros BOECO® foram levados para câmara incubadora B.O.D (Biochemical Oxygen Demand), com controle de temperatura a 32°C.

O final do processo fermentativo foi estabelecido em seis horas com medições da concentração de sólidos solúveis (densímetro manual – sacarímetro, com correção de temperatura). Em seguida, foram retiradas amostras do vinho para verificação da viabilidade e contaminação final. Logo após, o vinho levedurado foi armazenado em garrafas PET de 600 mL em ultrafreezer a -52°C, que se verificou ser temperatura que reduziu a atividade microbiana próxima a zero. No dia posterior, os frascos foram descongelados e se realizaram análises tecnológicas do vinho.

A análise de viabilidade foi realizada conforme LEE *et al.*, (1981) no início e no final da fermentação de todos os ensaios. Para verificar a contaminação foi realizada a contagem de colônias por plaqueamento em PCA, conforme RAVANELI *et al.*, (2011). A inoculação da placa foi realizada em câmara de fluxo laminar (Pa 50 Pachane), sendo em seguida, levada à estufa (Biopar). Após 48h, foi realizada a contagem dos micro-organismos totais. Para a contagem das colônias de bactérias, foi utilizada como ferramenta a lupa (Nova optical Systems XTS -20, Zoom Stereo Microscope).

No vinho obtido foram realizadas análises de sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez sulfúrica (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> g L<sup>-1</sup>), e Teor Alcoólico (%), ARRT, teor de fermento (%) e glicerol (%m/v 10<sup>-3</sup>), segundo CTC (2011). A quantidade de álcool produzido (mL) foi calculada levando-se em consideração a produção de vinho multiplicado pelo teor alcoólico obtido. Em seguida, foi realizado o cálculo de eficiência fermentativa (%) dividindo-se o álcool produzido pelo álcool teórico, segundo FERNANDES (2006).

Os resultados obtidos de cada estudo foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey (P≤0,05) (BARBOSA & MALDONADO, 2015).

### Resultados e Discussão

Para o tratamento da vinhaça com a utilização do Biorreator UASB foi observado que houve redução acentuada de sólidos solúveis (Brix) e acidez (Tabela 1). O pH foi alterado por causa da alcalinização do reator, elevando o do efluente para próximo da neutralidade, o mesmo acontecendo com o pós tratamento com Fenton. O reator não reduziu a quantidade de micro-organismos no efluente e proporcionou cheiro desagradável, no entanto, diferente do verificado com a vinhaça in natura (Tabela 1). O odor é mais pronunciado e se pensou que a fermentação não fosse possível de ser realizada. No entanto, como se mostrará a seguir, o odor não foi limitante para a realização do processo fermentativo pelas leveduras. Ademais, foi verificado que, quando o efluente foi tratado com Fenton, o cheiro desagradável foi reduzido.

**Tabela 1.** Brix, pH, acidez sulfúrica e contaminação dos líquidos utilizados para o preparo do mosto de melação para o experimento com tratamento biológico da vinhaça.

Líquidos utilizados	Brix	pH	Acidez gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L	Contaminação UFC/mL	Odor
Vinhaça	5,0	4,92	4,16	31,5x10 <sup>6</sup>	Desagradável
Água Deionizada	0	6,6	0	37x10 <sup>3</sup>	Sem odor
Reator UASB	1,0	7,2	0,43	40,5x10 <sup>6</sup>	Desagradável
Reator + FENTON	1,1	10,20	0	11x10 <sup>6</sup>	Odor leve

**Odor leve: Odor levemente desagradável**

Na (Tabela 2) foi observado que o tratamento da vinhaça no Biorreator e o efluente mais o tratamento com Fenton reduziu os níveis de acidez do mosto, embora, de forma estatisticamente menor do que a acidez com água deionizada. Para o ART foi observado que os níveis foram semelhantes estatisticamente ao observado com a testemunha positiva (água deionizada), maiores que a vinhaça in natura (Tabela 2). Para a viabilidade de células inicial foi observado que a vinhaça tratada no reator se apresentou semelhante ao tratamento positivo (Tabela 3), indicando que não houve aumento da quantidade de leveduras mortas, apesar do odor desagradável do efluente. Com o uso do Fenton no resíduo do reator houve redução da viabilidade inicial a níveis semelhantes ao da vinhaça in natura. Provavelmente, algum resíduo, que necessita de ser determinado, desse tratamento inibiu as células no início da fermentação. No entanto, para a viabilidade final não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, indicando que houve adaptação das leveduras ao meio fermentativo.

**Tabela 2.** Análise de variância e teste de Tukey para os teores de acidez sulfúrica e açúcares redutores totais (ART) do mosto de melação diluído com vinhaça in natura, água deionizada, o efluente do reator UASB e efluente tratado adicionado com a reação Fenton.

Causas de variação	Acidez gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L	ART (%)
Trat. Vinhaça (F)	822,8657**	13,8610**
Blocos	0,6774 <sup>ns</sup>	1,0235 <sup>ns</sup>
Vinhaça	5,85 A	8,53 B
Reator UASB	3,19 B	10,95 A
Reator UASB + Fenton	2,85 C	10,69 A
Água deionizada	2,55 D	11,15 A
CV	2,54	5,48

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05);

Houve perda dos resultados para contaminação inicial e final por causa da contaminação encontrada, posteriormente (após 48h), na salina usada na diluição para inoculação nas placas de Petri. Para esse atributo não faltar nos resultados foi realizado mais uma repetição (uma fermentação inteira separada), para a verificação do nível de contaminação durante o processo fermentativo com a produção de biogás. Na (Tabela 4), se verifica que houve redução aparente da quantidade de micro-organismos totais da vinhaça tratada no reator UASB em relação à vinhaça in natura. A amostra do efluente + Fenton também foi perdida. A contaminação final, aparentemente, se manteve semelhante entre os tratamentos aplicados, exceto com água deionizada que foi pouco menor, no entanto, em mesma ordem de 10<sup>7</sup> UFC mL<sup>-1</sup>.

**Tabela 3.** Análise de variância e teste de Tukey para a viabilidade de células de leveduras durante o processo fermentativo utilizando-se do mosto de melação diluído com vinhaça in natura, água deionizada, o efluente do reator UASB e efluente tratado adicionado com a reação Fenton.

Causas de variação	Viabilidade	Viabilidade
	Inicial (%)	Final (%)
Trat. Vinhaça (F)	12,3171**	1,6997 <sup>ns</sup>
Blocos	4,7318 <sup>ns</sup>	1,4547 <sup>ns</sup>
Vinhaça	82,71 B	84,31 A
Reator UASB	93,29 A	87,98 A
Reator UASB + Fenton	87,43 B	89,43 A
Água deionizada	92,84 A	91,50 A
CV	2,77	4,56

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05);

**Tabela 4.** Contaminação (bactérias e leveduras selvagens) durante o processo fermentativo utilizando-se do mosto de melão diluído com vinhaça in natura, água deionizada, o efluente do reator UASB e efluente tratado adicionado com a reação Fenton.

Tratamentos	Contaminação Inicial (UFC x 10 <sup>7</sup> mL <sup>-1</sup> )	Contaminação Inicial (UFC x 10 <sup>7</sup> mL <sup>-1</sup> )
Vinhaça	357	11
Reator UASB	30	17
Reator UASB + Fenton	-	17
Água deionizada	42	5

O efluente obtido do reator e o tratado com Fenton apresentou quantidade próximas de sólidos solúveis ao uso da água deionizada na diluição do mosto (Tabela 5). Em relação à vinhaça in natura os dois efluentes tiveram o Brix 2,37 vezes menor e em torno de 1 Brix maior do que o controle positivo (água deionizada). Para o pH se verificou que os tratamentos aplicados foram semelhantes ao da água deionizada e diferentes estatisticamente da vinhaça sem tratamento. Para acidez sulfúrica, foi observado comportamento semelhante ao obtido com os sólidos solúveis, entretanto, com o efluente tratado com Fenton semelhante ao controle positivo (Tabela 5).

**Tabela 5.** Análise de variância e teste de Tukey para os teores de sólidos solúveis (Brix), pH, Acidez sulfúrica, teor alcoólico do vinho e eficiência fermentativa após o processo fermentativo que se utilizou do mosto de melão diluído com vinhaça in natura, o efluente do reator UASB e efluente tratado adicionado com a reação Fenton.

Causas de variação	Brix	pH	Acidez (g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup> )	Teor Alcoólico (%)	Eficiência Fermentativa (%)
Trat. Vinhaça (F)	436,1132**	30,5942**	65,2110**	563,0019**	265,7175**
Blocos	0,3962 <sup>ns</sup>	22,4412**	0,0100 <sup>ns</sup>	2,1773 <sup>ns</sup>	3,8029 <sup>ns</sup>
Vinhaça	10 A	4,58 A	5,85 A	1,51 B	30,34 B
Reator UASB	4,53 B	4,25 B	4,26 B	5,71 A	89,32 A
Reator UASB + Fenton	4,57 B	4,29 B	3,78 BC	5,75 A	92,14 A
Água deionizada	3,57 C	4,33 B	3,57 C	5,58 A	85,90 A
CV	4,28	1,07	5,07	3,29	4,21

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV: coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05);

O teor alcoólico e a eficiência fermentativa (Tabela 5) se mostraram para o efluente e efluente + Fenton acima da obtida com vinhaça in natura e igual, estatisticamente, ao da água deionizada. Esse dado é de fundamental importância, pois mais estudos devem ser realizados para viabilizar o uso do efluente do biorreator na fermentação. Por sua vez, a vinhaça produzida na fermentação poderá retornar ao biorreator fazendo produção de dois biocombustíveis (bioetanol e biogás) reutilizando a água e diminuindo o uso de recursos hídricos.

#### Referências Bibliográficas

- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. Experimentação Agrônômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015, 396 p.
- ALKAN-OZKAYNAK, A.; KARTHIKEYAN, K. G. Anaerobic digestion of thin stillage for energy recovery and water reuse in corn-ethanol plants. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 9821-9896, 2011.
- CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S.; Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. *Waste management*, v. 33, p. 2752-2761, 2013.
- CTC. Manual de métodos de análises para açúcar. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2011. Disponível em CD Rom.
- FERNANDES, A. C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar, 2ª Edição. Piracicaba, 2006, 240p.
- LEE, S. S.; ROBINSON, F. M., WONG, H. Y. Rapid determination of yeast viability. *Biotechnology Bioengineering Symposium*, n. 11, 1981.
- MORAIS, B. S; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: challenges and perspectives. *Renewable and sustainable energies reviews*, v. 44, p. 888-903, 2015.
- PEREIRA, T. J.; Estudo da utilização de vinhaça no preparo da cuba e na fermentação alcoólica. 2009, 126f. Dissertação. Pós-graduação em tecnologia ambiental do centro de ciências exatas, naturais e tecnologias. Universidade de Ribeirão Preto, Campus de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto. 2009.
- RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 2, p. 120-129, 2011.
- RODRIGUES, C. S. D.; MADEIRA, L. M.; BOAVENTURA, R. A. R. Treatment of textile effluent by chemical (Fenton's Reagent) and biological (sequencing batch reactor) oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 172, p.1551-1559, 2009.
- WILKIE, A. C., RIEDESEL, K. J., OWENS, J. M. Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, v. 19, p.63-102, 2000.

## TORTA DE FILTRO IN NATURA E COMPOSTADA COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO

Mariana Guimarães Silva<sup>1</sup>; Wilson Mozena Leandro<sup>2</sup>; Lays Fabiana dos Santos Costa<sup>3</sup>;  
Rafael Calixto de Araújo Ribeiro<sup>4</sup>; Ana Maria Bezerra do Nascimento<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Agronomia; <sup>2</sup>Doutor em Agronomia; <sup>3</sup>Doutoranda em Agronomia; <sup>4</sup>Graduando em Agronomia; <sup>5</sup>Engenheira Agrônoma

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás, Rodovia Goiânia/Nova Veneza, Km 0, Goiânia - GO

*mariana1005g@hotmail.com*

### Resumo

Estudos e o desenvolvimento de alternativas energéticas viáveis para minimizar os impactos causados pela queima de combustíveis fósseis ao meio ambiente vêm crescendo, assim como a preocupação em encontrar substitutos que diminuam valores gastos com as constantes variações de preço desses produtos, principalmente o petróleo. Nesse cenário, as discussões sobre energias renováveis retornam mais fortes, aproveitando a linha de pensamento, esse trabalho foi realizado com o objetivo de comparar a produção de biometano entre a torta de filtro in natura e a torta de filtro após o processo de compostagem. A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biomassa e Biogás da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Primeiramente foi realizado a coleta dos resíduos, torta de filtro in natura e compostada, gerados pelo processamento da cana-de-açúcar. Os materiais passaram por análise química antes da montagem do experimento, este foi composto por 3 tratamentos: inóculo + torta de filtro in natura, inóculo + torta de filtro compostada e a amostra controle (inóculo). Ao final do experimento, os resultados mostram que a torta de filtro in natura obteve maior produção acumulada de biometano, demonstrando que o uso desse resíduo sucroalcooleiro é uma opção viável para o processo de biodigestão.

**Palavras-chave:** torta de filtro, biogás, biometano.

### Summary

Studies and the development of viable energy alternatives to minimize the impacts caused by burning fossil fuels on the environment are growing, as well as the concern to find substitutes that reduce expenses with the constant price fluctuations of these products, mainly oil. In this scenario, discussions on renewable energy return stronger, taking the line of thought, this work was carried out in order to compare the production of biomethane between the filter cake in natura and the filter cake after the composting process. The research was conducted on Biomass and Biogas Laboratory of the Agronomy School of the Federal University of Goiás. It was first performed the collection of waste, filter cake fresh and composted, generated by the processing of sugarcane. The materials have undergone chemical analysis prior to assembly of the experiment, this was composed of 3 treatments: inoculum + filter cake in natura, inoculum + composted filter cake and the control sample (inoculum). At the end of the experiment, the results show that the filter cake in natura obtained the highest cumulative production of biomethane, showing that the use of sugar cane waste is a viable option for the digestion process.

**Keywords:** filter cake, biogas, biomethane.

### Introdução

O aumento das necessidades energéticas mundiais, o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e os problemas ambientais relacionados ao uso contínuo destes combustíveis, definem um novo panorama para o século XXI e determinam que novas políticas referentes a fontes de energia sejam adotadas. O alarmante crescimento da procura por fontes de energia, associado à incerteza quanto à disponibilidade e preço do petróleo, conduzem à adoção de práticas para o desenvolvimento e exploração de novos recursos energéticos (HALLENBECK *et al.*, 2009).

Dentre estas fontes de energia conhecidas como limpas e abundantes, a bioenergia a partir de resíduos agrícolas, torna-se uma alternativa viável, diminuindo a capacidade poluidora desses resíduos, pois o gás emitido por eles na decomposição que antes iria para o meio ambiente agora se destina a produção de energia e a porção sólida utilizada como adubo orgânico.

Diante da crise energética, o Brasil encontrou o etanol como uma alternativa. A cadeia produtiva de cana-de-açúcar se encontra em crescimento, resultando na geração de elevada quantidade de resíduos. Entre os principais resíduos da atividade sucroalcooleira está a torta de filtro, que é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, sendo proveniente do processo de clarificação do açúcar. O lodo formado passa por um processo de filtração a vácuo, recebendo, então, a denominação de torta de filtro (FRAVET *et al.*, 2010). Como se trata de um composto orgânico rico em cálcio, nitrogênio e potássio, torna-se interessante o seu uso como fertilizante (ROSSETO, 2004). A torta de filtro é também uma fonte potencialmente poluidora, pois se usada de forma inadequada, pode causar danos ambientais graves como a contaminação dos cursos d'água e do solo.

O descarte dos resíduos gerados pela indústria sucroalcooleira representa um problema pela elevada quantidade gerada e pela carga poluidora que possuem, representando um perigo à conservação da água e do solo. Portanto, utilizá-los para produção de biogás seria uma maneira eficiente de diminuir os danos ambientais e importantes para gerar energia renovável. A produção de biogás é uma solução para o aproveitamento dos resíduos agroindustriais, que seriam despejados e causariam danos ao meio ambiente e à constante variação do preço do petróleo.

Por se tratar de uma fonte de energia renovável, o biogás é considerado um biocombustível, que pode ser obtido natural ou artificialmente. Com um conteúdo energético semelhante ao do gás natural, sua forma gasosa é constituída principalmente por uma mistura de hidrocar

bonetos (compostos químicos formados por Carbono e Hidrogênio) como o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e o gás Metano (CH<sub>4</sub>). Como os outros combustíveis, este também é inflamável quando colocado sob pressão (ROYA *et al.*, 2011). O processo de fermentação anaeróbia que possibilita a reciclagem de resíduos orgânicos, é uma alternativa para diminuir a carga orgânica despejada no meio ambiente.

A biodigestão anaeróbia da torta de filtro é uma alternativa interessante, pois é uma fonte renovável e disponível, já que se trata de um resíduo, e gera biogás com considerável teor energético. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de metano de um dos principais resíduos da indústria sucroalcooleira, a torta de filtro.

### Material e Métodos

O experimento foi realizado no laboratório de Biomassa e Biogás da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), município de Goiânia (GO) com coordenadas geográficas 16°40'22"S e 49°15'19"W e altitude média de 730m. Como substrato foi utilizada torta de filtro *in natura* e torta de filtro (Figura 1) após o processo de compostagem, resíduos originados do processamento da cana-de-açúcar para produção de açúcar e foram fornecidos pela Denusa Destilaria Nova União S/A.

A suspensão de microrganismos de concentração adequada para a fermentação, o inóculo, foi produzido a partir da mistura de esterco bovino e água. O processo de compostagem da torta de filtro consistiu na adição de gesso, cinzas de caldeira e palhada. Agregando valor nutritivo à torta, pois melhorou a concentração de nutrientes e reduziu a umidade, tornando-se um material estável após a decomposição por microrganismos aeróbios e vantajosos para o transporte a distâncias maiores.

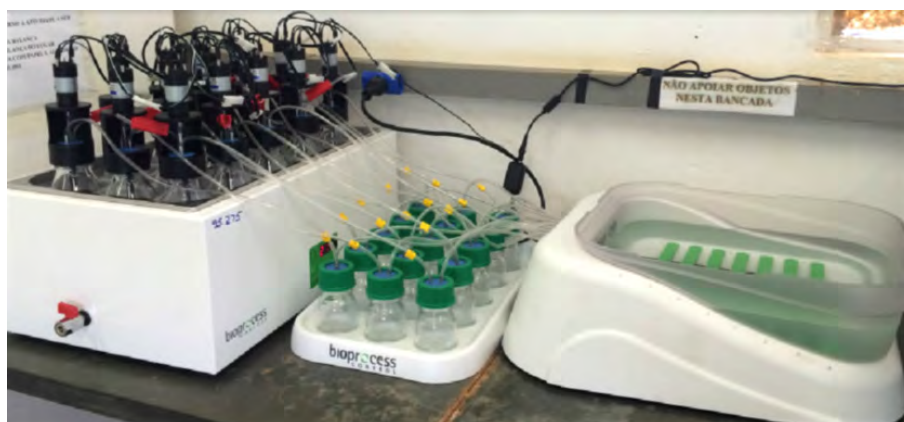
**Figura 1.** A – Torta de filtro *in natura*; B – Torta de filtro compostada.



Com base nos valores de sólidos totais e voláteis foi determinada a concentração de cada substrato utilizado. Pesou-se 10g de ambos substratos em cadinhos, obtendo-se a massa úmida. Os cadinhos, com 3 repetições por substrato, foram submetidos à uma estufa de circulação forçada de ar em temperatura de 105°C por 24 horas, realizou-se sucessivas pesagens, em balança com precisão de 0,01g, até obter uma série de pesos constantes, indicando a massa seca orgânica. Posteriormente, os cadinhos foram submetidos à mufla com temperatura de 550°C por 3 horas e meia. Após resfriados foram pesados em balança com precisão de 0,0001g. A diferença entre o peso após a estufa de circulação forçada de ar e o peso após a mufla é o peso de sólidos voláteis.

A potencialidade de geração de metano foi mensurada com auxílio do equipamento AMPTS-II (AutomaticMethanePotential System – II) da empresa BioprocessControl fornecida pela Agência Alemã de Cooperação GIZ, para os membros da Rede de Avaliação de Substratos (Figura 2).

**Figura 2.** Equipamento AMPTS II – AutomaticMethanePotential System-II



O equipamento é constituído de um banho-maria com temperatura controlada automaticamente, quinze reatores idênticos com 650 ml de volume e com agitação controlada pelo software, sob mesma agitação programada foram realizados os testes. O sistema é hermeticamente

fechado e apresenta um sistema de purificação de biogás em frascos preenchidos com hidróxido de sódio 3M que recebem o biogás produzido através de mangueiras de TYGON, ocorrendo o arraste alcalino. O  $\text{CO}_2$  e traços de gás sulfídrico são retirados, deixando somente o metano alcançar o sistema de contagem de bolhas. Isso ocorre porque o metano é inerte na solução alcalina, o  $\text{CO}_2$  e o gás sulfídrico reagem com a solução e são removidas do fluxo de gás.

A contagem de metano é feita com a passagem de gás até o contador de bolhas, por meio de um equilíbrio mecânico de uma estrutura de plástico, interligada ao sistema elétrico. Com a chegada do gás ao mecanismo de contagem, o arraste deste desequilibra o empuxo do material plástico, levando ao movimento, identificando assim a produção controlada de biogás. O sistema de contagem e reatores é monitorado on-line por um computador pelo software BioprocessControl, este permite definir as condições da relação entre substrato e inóculo, e sob condições padrão, monitora a quantidade de gás produzido, gerando arquivos gráficos e numéricos. Foram utilizados 3 tratamentos com torta de filtro:

- Torta de filtro in natura e inóculo;
- Torta de filtro compostada e inóculo;
- Inóculo (amostra controle).

Cada tratamento era composto por 3 repetições, foram monitorados durante 30 dias, 24 horas por dia através dos computadores integrados ao sistema.

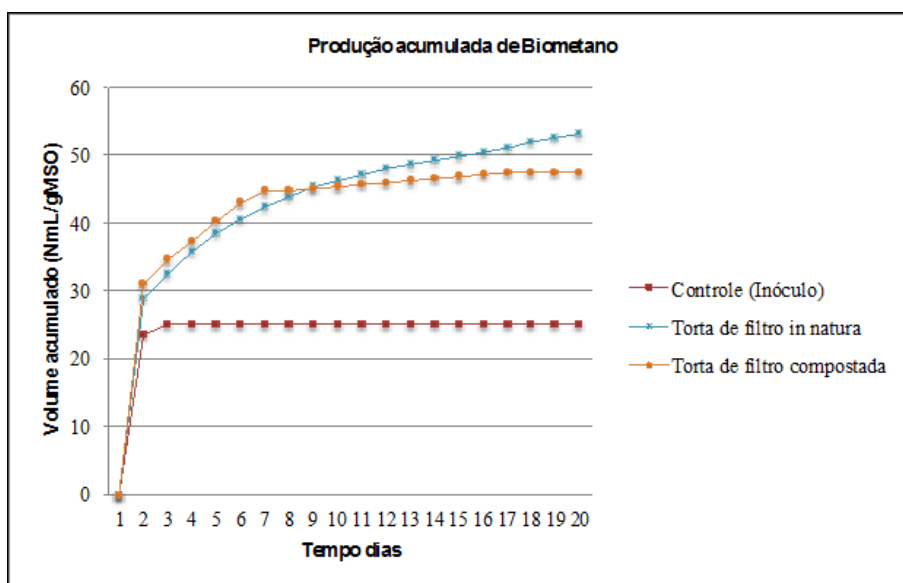
### Resultados e Discussão

A produção de biometano durante 20 dias é apresentada na (Figura 3). Observa-se que a produção de biometano dos substratos, foi superior ao controle. Segundo XAVIER *et al.* (2010), a presença de inóculo favorece o processo de biodigestão, contribuindo para a melhoria nos teores de metano na composição do biogás. VEDRENNE *et al.* (2008) afirmam que o material a ser digerido deve ser misturado à fonte de microrganismos em frações reduzidas para que não ocorram perdas de microrganismos na fase de adaptação. RAPOSO *et al.* (2009), verificaram que as constantes cinéticas de degradação de sólidos voláteis e produção de metano diminuíram quando a relação substrato/inóculo diminui, indicando um efeito de inibição com a concentração do substrato.

A torta de filtro após o processo de compostagem apresentou produção superior à da torta de filtro in natura, do segundo ao oitavo dia. Posteriormente, a produção da torta in natura se sobressaiu. Isto se deve ao fato de que a torta de filtro in natura, apresente partículas de maior dimensão, demandando maior tempo para a degradação por microrganismos.

CUNHA (2014), em seus estudos sobre o potencial da torta de filtro como substrato para produção de biogás, foi obtido o valor de 400 NmL após quinze dias de digestão, que é superior ao encontrado neste trabalho. Esta diferença pode estar relacionada ao uso de inóculos diferentes, que provocaram um menor rendimento de metano. FREITAS (2014), avaliou o volume acumulado de biogás utilizando resíduos oriundos do processamento da cana-de-açúcar, encontrou valores de 2.000 NmL/gMSO para a torta de filtro.

Figura 3. Produção acumulada de biometano da torta de filtro in natura, torta de filtro compostada e inóculo durante o experimento.



### Conclusão

Com o trabalho, foi observado que ambos os tratamentos possuem uma produção acumulada de biometano satisfatória. Sendo a biodigestão anaeróbia, portanto, uma alternativa interessante quanto à gestão desses resíduos, aproveitando seu potencial energético e também diminuindo a carga orgânica.

**Agradecimentos**

O desenvolvimento deste projeto foi possível graças as parcerias realizadas entre a Universidade Federal de Goiás, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Universidade de Rostock e a GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit).

**Referências Bibliográficas**

- CUNHA, C. E. Carbonização hidrotermal: pré-tratamento para biodigestão anaeróbia de resíduos da indústria do etanol. 2014. 27p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, IFG, Goiânia, 2014.
- FRAVET, P. R. F., SOARES, R. A. B., LANA, R. M. Q., LANA, Â. M. Q., KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, n.3, p.618-624, 2010.
- FREITAS, R. A. Biodigestão anaeróbia como proposta de gerenciamento de torta de filtro e vinhaça na indústria do etanol. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, IFG, Goiânia, 2014.
- HALLENBECK, P.C.; GHOSH, D. Advances in fermentativebiohydrogenproduction: thewayforward? *TrendsBiotechnology*, v. 27, p.287-297, 2009;
- RAPOSO, F.; BORJA, R.; MARTIN, M. A.; MARTIN, A.; DE LA RUBIA, M. A.; RINCÓN, B. Influence of inoculum – substrate ratio on the anaerobic digestion of sunflower oil cake in batch mode: Process stability and kinetic evaluation. **Chemical Engineering Journal**, v.149, n.3, p.70-71, 2009.
- ROSSETO, R. A cultura da cana, da degradação à conservação. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.1, n.1 p.80-85, 2004.
- ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M.; SILVA, D. J. A. BIOGÁS – UMA ENERGIA LIMPA. *Revista Eletrônica Novo Enfoque*, v. 13, n. 13, p. 142 – 149, 2011. Disponível em: <[http://www.castelobranco.br/sistema/novoenfoque/files/13/artigos/12\\_BunoRoya\\_Biogas\\_Prof\\_Djalma\\_VF.pdf](http://www.castelobranco.br/sistema/novoenfoque/files/13/artigos/12_BunoRoya_Biogas_Prof_Djalma_VF.pdf)>.
- VEDRENNE, F.; BÉLINE, F.; DABERT, P.; BERNET, N. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. **Bioresource Technology**, v.99, n. 1, p. 146-155, 2008.
- XAVIER, C. A. N.; DE LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores em batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inoculo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n.2, p.212-223, 2010.



## EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> OBSERVADAS DURANTE A REFORMA DE CANAVIAL

Oswaldo M.R. Cabral<sup>1</sup>; Nilza P. Ramos<sup>1</sup>; Ana P. Packer<sup>1</sup>; Cristiano A. de Andrade<sup>1</sup>; Helber C. de Freitas<sup>2</sup>; Cristiane Pires<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Meio Ambiente

<sup>2</sup>IAG-DCA- Universidade de São Paulo, São Paulo - SP

<sup>3</sup>Fazenda da Aeronáutica-Pirassununga - SP

nilza.ramos@embrapa.br

### Resumo

Os fluxos de CO<sub>2</sub> de um solo muito argiloso foram medidos utilizando-se o método da covariância de vórtices durante a reforma de um canavial realizada com operações de preparo convencional ao longo de 42 dias, entre agosto e outubro de 2015, em Pirassununga (SP). O total acumulado dos fluxos foi 165,7 g C m<sup>-2</sup> (607,6 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>), representando 4% do estoque de carbono na camada superficial de 0,2 m de solo, estimado em 4.142 g C m<sup>-2</sup>. A dependência dos fluxos de CO<sub>2</sub> com a umidade e a temperatura do solo indicaram que os fluxos foram menores para o solo mais seco e maiores temperaturas do solo, demonstrando que os efeitos destes fatores individualmente não são multiplicativos.

**Palavras-chave:** Cana-de-açúcar, reforma, fluxos de CO<sub>2</sub>, covariância de vórtices

### Summary

The CO<sub>2</sub> soil fluxes were measured by the eddy covariance method during the sugarcane re-establishment under conventional tillage in a high clayey soil in Pirassununga (SP). The sum of fluxes over 42 days was 165.7 g C m<sup>-2</sup> (607.6 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>) and represented 4% of the soil carbon stock in the surface layer of 0.2 m (4,142 g C m<sup>-2</sup>). Our results contradict the multiplicative effects of soil moisture and temperature as the soil respiration decreased due to the warming under dry soil conditions.

**Keywords:** Sugarcane, sugarcane field reform, CO<sub>2</sub> flow, vortex covariance

### Introdução

Na última década observou-se o aumento significativo na produção do biocombustível etanol (QIN *et al.*, 2011) que na maior parte tem sido obtido do milho nos Estados Unidos e cana-de-açúcar no Brasil (WACLAWOVSKY *et al.*, 2010; MELLO *et al.*, 2014).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, contando em 2015 com uma área colhida de 9,0 milhões de hectares e produção aproximada de 634,8 milhões de toneladas (CONAB, 2016). As maiores áreas produtoras estão concentradas na região centro-sul do país, em particular no estado de São Paulo com 54% da produção (safra 2014/2015).

Devido ao envelhecimento e menor produtividade das plantações torna-se necessária a sua reforma; no Estado de São Paulo na safra 2014/2015 (UNICA, 2016) esta representou 10% da área total cultivada (5.897.841 ha). Em decorrência do preparo convencional do solo ocorre o aumento da mineralização do carbono e a emissão de CO<sub>2</sub>, que depende do grau de perturbação promovido pelos implementos e operações adotadas. Portanto torna-se necessária a quantificação das emissões associadas ao plantio/reforma convencional e a sua contribuição em termos da pegada de carbono visando à sustentabilidade do agrossistema cana.

Neste trabalho são apresentadas as medidas dos fluxos de CO<sub>2</sub> entre o solo e a atmosfera observados durante a reforma de canavial colhido sem queima ao longo de 42 dias.

### Material e Métodos

A área experimental localiza-se em Pirassununga (SP) na Fazenda da Aeronáutica (latitude 21° 57' 06" S; longitude 47° 20' 07" W e altitude 657 m) cujo manejo da plantação de cana de açúcar é realizado pelo grupo Abengoa Bioenergia. Selecionou-se um talhão de 10,4 ha cultivado com a variedade CTC7 em 19/12/2011, e colhido mecanicamente (cana-crua) ao final de julho de 2015 (70 ton/ha) para a entrada em reforma.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (75% argila; 21% areia e 4% de silte), em relevo plano, com seguintes atributos químicos na camada 0-0,2 m: pH= 5,5; M.O.= 26 g dm<sup>-3</sup>; Pres= 9,7 mg dm<sup>-3</sup>; K= 0,43 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca= 45 mg dm<sup>-3</sup>; Mg= 13 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S= 9,7 mg dm<sup>-3</sup> e V%= 66,84.

A reforma foi realizada com operações de preparo convencional, utilizando o eliminador de soqueira de duas linhas; seguido de aração profunda com aiveca de duas hastas, com capacidade de revolvimento de até 0,45 m de profundidade e por último duas gradagens com implemento nivelador.

As observações ocorreram durante 42 dias, a partir do início da reforma do canavial em 20 de agosto de 2015 (dia do ano 232) até o dia 2 de outubro (dia 275), quando teve início o plantio. Os fluxos de CO<sub>2</sub> foram medidos por meio de um sistema de correlação de vórtices (CABRAL *et al.*, 2012, 2013) composto de um anemômetro sônico tridimensional e analisador infravermelho de H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> (EC150, Campbell Sci., Logan UT-USA) instalado num tripé 2 m acima do solo (Figura 1). O conteúdo volumétrico de água no solo na camada superficial de 0-0,3 m foi monitorado por quatro sensores CS616 (Campbell Sci.) e a temperatura do solo por termopares (profundidades de 0,05; 0,10 e 0,20 m). Ao lado da área foi montada uma estação automática com sensores de radiação solar, chuva, temperatura e umidade do ar (Campbell Sci.).

Os fluxos turbulentos ( $F_{t,x} = \overline{w'\chi'}$ ) são obtidos por meio da covariância das flutuações (AUBINET *et al.*, 2000; BALDOCCHI, 2003; CABRAL *et al.*, 2012, 2013) calculadas subtraindo-se dos sinais medidos a 20 Hz as médias de bloco (30 minutos), entre a velocidade vertical ( $w'$ ) e a densidade ( $\chi'$ ) do CO<sub>2</sub>. O balanço de CO<sub>2</sub> (NEE=Net Ecosystem Exchange) entre a plantação e atmosfera é dado pela soma dos fluxos turbulentos ( $F_{t,x}$ ) e do termo de armazenamento ( $S_x$ ), que é aproximado pela variação temporal das concentrações observadas

no topo do tripé, supondo-se que represente a coluna de ar abaixo da altura de medida (CABRAL *et al.*, 2013). As falhas de energia, erros ou condições ambientais adversas detectadas pelos testes de qualidade (FOKEN *et al.*, 2004) e filtro da velocidade de fricção (PAPALE *et al.*, 2006) provocam falhas nas séries temporais que devem ser preenchidas (“gap filling”). As falhas nos dados representaram 29% dos 2058 períodos de 30 minutos e foram preenchidas pelo método da variação diária média (FALGE *et al.*, 2001).

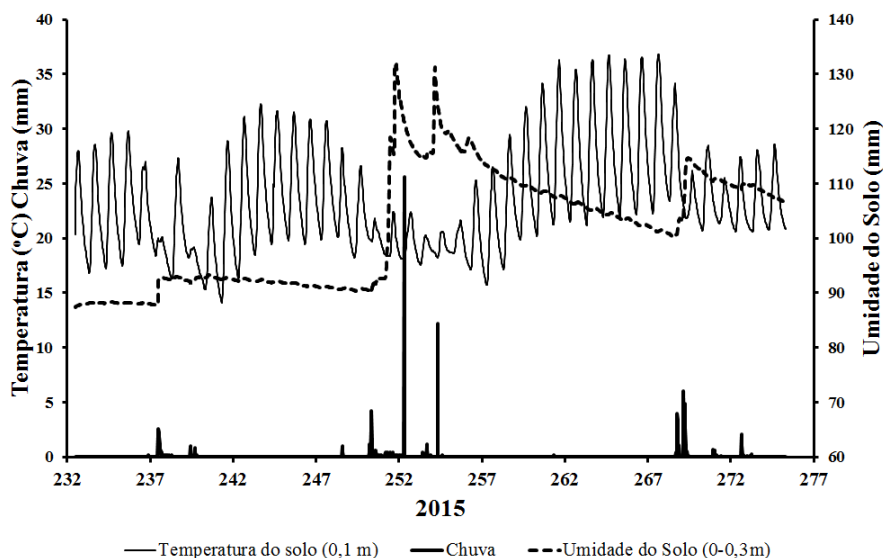
**Figura 1.** Área da reforma em Pirassununga (SP), com o sistema de medição de fluxos de CO<sub>2</sub>



### Resultados e Discussão

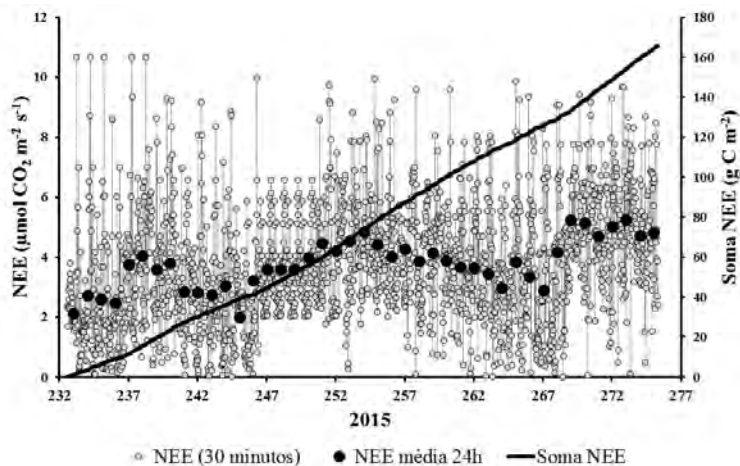
Na (Figura 2) são apresentadas as séries temporais de chuva, temperatura e umidade do solo durante o período de observações. A chuva total foi 120 mm, acima das médias históricas para os meses de agosto e setembro que são 28 e 59 mm, respectivamente. A ocorrência da chuva deveu-se à passagem de frentes frias em três períodos: 22,2 mm (dias 237-239); 63,2 mm (dias 250-254) e 33,3 mm entre os dias do ano 268 e 273, que promoveram a diminuição das temperaturas e o aumento na umidade do solo. Nos períodos seguintes às frentes os padrões são invertidos em decorrência da fraca intensidade do inverno na região (CABRAL *et al.*, 2012).

**Figura 2.** Séries temporais da temperatura do solo (0,10 m), chuva (mm) e do conteúdo de umidade na camada de solo (0-0,3 m) ao longo dos 42 dias de observações



Os fluxos de CO<sub>2</sub> emitidos a cada 30 minutos (Figura 3) demonstram respostas distintas com o aumento da umidade e à elevação da temperatura do solo. Nos três períodos de chuva os fluxos aumentaram embora as temperaturas tenham diminuído, e nos períodos subsequentes observaram-se fluxos de CO<sub>2</sub> menores em resposta à diminuição da umidade do solo embora as temperaturas tenham aumentado. Estas características são mais claras com relação aos valores médios diários dos fluxos de CO<sub>2</sub> que também são apresentados na figura 3. A dependência dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo com a temperatura é amplamente conhecida (LLOYD & TAYLOR, 1994) embora o papel da umidade seja menos óbvio. A fração mais lábil de carbono no solo sob o preparo convencional é na maior parte proveniente da incorporação da palhada remanescente cujo decaimento diminui em função do secamento do solo, quando o fluxo passa a ser função do material mais estável no solo (REINCHSTEIN *et al.*, 2002).

**Figura 3.** Séries temporais dos fluxos de CO<sub>2</sub> (30 minutos e médias 24 horas) entre o solo e atmosfera (nee) e a soma ao longo dos 42 dias de observações



A soma dos fluxos ao longo dos 42 dias foi 165,7 g C m<sup>-2</sup> (607,6 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>) e como o estoque de carbono na camada de solo entre (0-0,2) m foi estimado em 4.142 g C m<sup>-2</sup>, então o total emitido corresponderia a 4% do C armazenado sem considerarmos o aporte de biomassa dos resíduos da colheita. SILVA-OLAYA *et al.* (2013) obtiveram após 44 dias do preparo convencional o total de 95 g C m<sup>-2</sup> (350 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>) num solo bem menos argiloso e com um estoque de C estimado em 9.460 g m<sup>-2</sup> na camada superficial de 0,3 m.

Baseado nas diferenças dos estoques de carbono na camada superficial de 0,2 m estimados por GALDOS *et al.* (2009) entre áreas com queima (2.786 g m<sup>-2</sup>) e sem queima (3.766 g m<sup>-2</sup>), ao longo de 8 anos, que indicaram o aumento médio anual de 122 g C m<sup>-2</sup>, o efeito da reforma do canavial poderia ser amplamente anulado adotando-se o sistema de cana-crua.

### Conclusões

Os resultados obtidos indicaram que as emissões de CO<sub>2</sub> do solo além de depender do tipo de solo, região e época da reforma do canavial, também apresentaram efeitos indiretos da umidade do solo com relação à temperatura, o que poderia reduzir, neste caso, o efeito das altas temperaturas decorrentes das mudanças climáticas, quanto aos fluxos de CO<sub>2</sub>. Embora o fluxo total acumulado de 165,7 g C m<sup>-2</sup> (607,6 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>), não tenha sido desprezível, com base nos dados da literatura poderia ser anulado adotando-se o sistema de cana-crua.

### Agradecimentos

Contamos com o suporte fundamental de Eduardo Gomes, Henrique Vieira e Paulo Rossi, além do apoio da Fazenda da Aeronáutica e Abengoa Bioenergia. Esta ação contou com o auxílio da Embrapa Meio Ambiente (projeto 0211070220001008) e FAPESP (projeto 2014/24452-0).

### Referências Bibliográficas

- AUBINET, M., GRELE, A., IBROM, A., RANNIK, U., MONCRIEFF, J., FOKEN, T., KOWALSKI, A. S., MARTIN, P. H., BERBIGIER, P., BERNHOFER, C., CLEMENT, R., ELBERS, J., GRANIER, A., GRUNWALD, T., MORGENSTERN, K., PILEGAARD, K., REBMANN, C., SNIJDERS, W., VALENTINI, R., VESALA, T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: The EUROFLUX methodology. *Adv. Ecol. Res.*, 30, 113–175, 2000.
- BALDOCCHI, D. D.: Assessing the Eddy Covariance Technique for Evaluating Carbon Dioxide Exchange Rates of Ecosystems: Past, Present and Future. *Global Change Biol.*, 9, 479–492, 2003.
- CABRAL, O.M.R., ROCHA, H.R., GASH, J.H.C., LIGO, M.A.V., TATSCH, J.D., FREITAS, H.C., BRASILIO, E. Water use in a sugar-cane plantation. *GCB Bioenergy*, 4, 555–565, 2012.
- CABRAL, O.M.R., ROCHA, H. R., GASH, J.H., LIGO, M.A.V., RAMOS, N.P., PACKER, A.P., BATISTA, E.R. Fluxes of CO<sub>2</sub> above a sugarcane plantation in Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 182-183, 54-66, 2013.
- CONAB, <http://www.conab.gov.br/>, acessado em 25/04/2016.
- FALGE, E., BALDOCCHI, D., OLSON, R., ANTHONI, P., AUBINET, M., BERNHOFER, C., BURBA, G., CEULEMANS, R., CLEMENT, R., DOLMAN, H., GRANIER, A., GROSS, P., GRUNWALD, T., HOLLINGER, D., JENSEN, N.O., KATUL, G., KERONEN, P., KOWALSKI, A., LAI, C.T., LAW, B.E., MEYERS, T., MONCRIEF, J., MOORS, E., MUNGER, J.W., PILEGAARD, K., RANNIK, U., REBMANN, C., SUYKER, A., TENHUNEN, J., TU, K., VERMA, S., VESALA, T., WILSON, K., WOPSY, S. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agric. For. Meteorol.*, 107, 43–69, 2001.
- FOKEN, T., GOCKEDE, M., MAUDER, M., MAHRT, L., AMIRO, B., MUNGER, W. Post-field data quality control. In: Lee, X., Massman, W., Law, B.E. (Eds.), *Handbook of Micrometeorology*. Kluwer, Dordrecht, pp. 181–208, 2004.
- GALDOS, M.V., CERRI, C.C., CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, 153, 347–352, 2009.
- LLOYD, J. & TAYLOR, J.A. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8, 315–323, 1994.
- MELLO, F.F.C., CERRI, C.E.P., DAVIES, C.A., HOLBROOK, N.M., PAUSTIAN, K., MAIA, S.M.F., GALDOS, M.V., BERNOUX, M., CERRI, C.C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/NCLIMATE2239, 2014.
- PAPALE, D., REICHSTEIN, M., AUBINET, M., CANFORA, E., BERNHOFER, C., KUTSCH, W., LONGDOZ, B., RAMBAL, S., VALENTINI, R., VESALA, T., YAKIR, D. Towards a standardized processing of net ecosystem exchange measured with eddy covariance

technique: algorithms and uncertainty estimation. **Biogeosciences**, 3, 571–583, 2006.

QIN, Z., ZHUANG, Q., CHEN, M. Impacts of land use change due to biofuel crops on carbon balance, bioenergy production, and agricultural yield, in the conterminous United States. **GCB Bioenergy**, doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01129.x, 2011.

REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J.D., ROUPSARD, O., OURCIVAL, J.-M., RAMBAL, S., DORE, S., VALENTINI, R. Ecosystem respiration in two Mediterranean evergreen Holm Oak forests: drought effects and decomposition dynamics. **Funct. Ecol.** 16, 27–39, 2002.

SILVA-OLAYA, A.M., CERRI, C.E.P., La SCALA Jr, n., DIAS, C.T.S., CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environ. Res. Lett.**, 8, 2013.

UNICA, <http://www.unicadata.com.br/>, acessado em 25/04/2016.

WACLAWOVSKY, A.J., SATO, P.M., LEMBKE, C.G., MOORE, P., SOUZA, G.M., Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, 8, 263–276, 2010.

## O PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL, PROÁLCOOL – BREVE HISTÓRICO DÉCADA A DÉCADA DO ETANOL NO BRASIL

\*Rubismar Stolf; \*\*Ana Paula Rodrigues de Oliveira

\*UFSCar, Araras - SP

\*\*Banco do Brasil, Brasília - DF

*anaprdo@hotmail.com*

### Resumo

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) foi um programa estratégico do governo do Brasil de substituição dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool (etanol). Pela compatibilidade do etanol com motores ciclo Otto, a finalidade estabelecida foi substituir a gasolina e não substituir o óleo diesel, outro combustível fóssil utilizado em grandes motores do ciclo Diesel, especialmente em caminhões. Nos 500 anos de cana-de-açúcar no Brasil, esta cultura atingiu o segundo decênio do Século XXI com extraordinária força e prestígio; alcançou a maior produção de sua história com tendência de crescimento; líder da produção de açúcar e etanol de cana no mundo; agroindústria com independência energética; cogeração de energia elétrica para exportar o excedente para o mercado nacional; efluentes e resíduos poluentes transformados em insumos de alto valor (vinhaça, torta de filtro e outros); ações em relação ao meio ambiente: interrupção da queima de canaviais; retirada das atividades braçais do corte da cana-de-açúcar; produção de biocombustível em substituição à queima equivalente em gasolina, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. No Brasil, essa indústria lidera ainda a busca da “pedra filosofal”: ações para transformar a celulose (no caso, o bagaço) em um pote de ouro (de açúcar). Isto é, lidera a pesquisa sobre as cadeias de sacarídeos entrelaçados que formam polissacarídeos (celulose) que, se destravados por processos químicos e/ou físicos, transformam a matéria orgânica em açúcar fermentável para produção de etanol de segunda geração. O objetivo do presente trabalho é apresentar um histórico do desenvolvimento do Proálcool e as ações que levaram o Brasil a assumir tão significativa liderança, por meio de uma abordagem década a década.

### Summary

The National Alcohol Program (Proálcool) was a strategic program of replacing Brazil's government derived vehicle fuel by alcohol (ethanol). For compatibility with ethanol engine Otto cycle, the established purpose was to replace gasoline and not replace diesel oil, other fossil fuel used in large engines Diesel cycle, especially in trucks. In 500 years of sugarcane in Brazil, this culture reached the second decade of the twenty-first century with extraordinary power and prestige: achieved the highest production in its history with a growth trend; leader of the sugar and ethanol from sugarcane in the world; agribusiness with energy independence; electricity cogeneration to export the surplus to the domestic market; effluents and waste pollutants transformed into high-value inputs (vinasse, filter cake and others); actions in relation to the environment: stopped all over the Country the cane fields burning; withdrawal of menial activities of cutting sugarcane; biofuel production replacing the equivalent in burning gasoline leads to reducing the emission of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. In Brazil, this industry still leads the search for the “philosopher's stone”: actions to transform the cellulose (bagasse) into a pot of gold (sugar). This is, leading the research on the saccharide chains (polysaccharides) to unlock it with chemical and / or physical, transforming organic matter into fermentable sugar for second generation ethanol. Decade by decade, the aim of this paper is to present a history of the development of the Alcohol Program and the actions that led Brazil to take such a significant lead.

### Introdução

A história do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), saga brasileira de extraordinário feito, tem sido contada e recontada, várias vezes, por inúmeros autores (BELIK, 1985; RODRIGUES, 2003; BERTELLI *et al.*, 2006; BIODIESELBR, 2006; VIEIRA, 2007; MICHELLON *et al.*, 2008; GORDINHO, 2010; PORTO, 2010; FIGUEIREDO *et al.*, 2011; PASTELLI, 2014; STOLF e OLIVEIRA, 2016). Todas verdadeiras, pois a história do programa permite uma abordagem multifacetada que não se prende a um único fio condutor na linha do tempo. Fatos em repetição, fatos que se omitem, novos fatos, novas personagens, novas interpretações dão cor, sabor e conteúdo para registrar e enriquecer tal feito de grande magnitude.

### 1960 – *Decennium Mirabilis*

A expressão *Annus mirabilis*, ano miraculoso, tem sido usada como referência a anos em que houve grande desenvolvimento científico. Inicialmente, o ano 1666 foi usado para se referir ao ano do desenvolvimento da teoria da gravitação universal por Issac Newton e também 1905, ano em que Albert Einstein publicou quatro trabalhos que revolucionaram a Física no âmbito do micro e macrocosmo, destacando-se a teoria da relatividade e o efeito fotoelétrico.

Por semelhança em relação ao *annus mirabilis*, elegemos a década de 1960 como o *Decennium Mirabilis*, pois serviu de base para o Brasil assumir a liderança em bioenergia.

No final da década de 1950, a cota internacional de açúcar do Brasil (550 toneladas) era semelhante a da República Dominicana e a do Peru e 4,3 vezes menor do que a de Cuba, maior produtor mundial com 2.414 toneladas (MICHELLON *et al.*, 2008). Com o bloqueio comercial imposto pelos EEUU a Cuba, abriu-se um extraordinário mercado para o Brasil. O Brasil passa a incentivar a produção nacional e a modernização da indústria. O Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) cria a “Divisão de Exportação” e a cota brasileira para o mercado internacional, em 1963, passa a somar 360 mil toneladas para o mercado norte-americano. A entrada do açúcar brasileiro nesse mercado preferencial foi muito importante, pois, além de preços mais elevados de mercado, conferia garantia e maior estabilidade à produção brasileira. Em 19 de maio de 1963, a Cooperativa dos Plantadores de Cana do Oeste do Estado de São Paulo é fundada. Hoje, forma o Sistema Copercana, Canaoceste e Sicoob Cocred, que é atualmente liderado por Antonio Eduardo Toniolo e Manoel Carlos de Azevedo Ortolan. O sistema transformou-se na maior organização mundial ligada aos fornecedores de cana-de-açúcar (COPERCANA, 2016). Meses após, em 16 de julho de 1963 outra instituição de grande importância era fundada: a Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil

(STAB), formada por um grupo de 83 técnicos do setor, liderados por Gilberto Miller Azzi, engenheiro agrônomo do IAA, que assumiu a presidência da sociedade de 1963 a 1966 (STAB, 2010). Nesse grupo, havia outro jovem, o professor da ESALQ José Paulo Stuppiello, sócio-fundador, secretário-tesoureiro e presidente a partir de 1990. Ele conduziu a STAB até a instituição ocupar o posto de maior organização do mundo em número de técnicos canavieiros. Desde sua criação, a STAB liderou a divulgação da ciência e tecnologia canavieiras. Nessa década, o IAA vislumbra a possibilidade de levar o Brasil à posição de maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Gilberto Miller Azzi advoga um caminho, o do desenvolvimento de um programa nacional de obtenção de novas variedades, com o respaldo do sucesso de ter sido o introdutor da variedade NA (Norte Argentina).

Em 1966, a convite do IAA, o renomado geneticista Vicent Mangelsdorf, da Estação Experimental de Cana do Havaí, esteve no Brasil em visita técnica. Foi ciceroneado por Gilberto Miller Azzi e Carlos Krug, do IAC (BELIK, 1985; FIGUEIREDO *et al.*, 2011). Como resultado desta visita, Mangelsdorf elaborou um relatório que recomendava a criação de um amplo programa de pesquisa agrônoma para a cana de açúcar (MANGELSDORF, 1967).

Fruto dessas ações, Gilberto Miller Azzi passa a divulgar e a buscar apoio no IAA e na agroindústria (BELIK, 1985). A primeira resposta veio da Copersucar que criou o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) em 1969 e contratou o geneticista do Havaí, tendo como principal objetivo a criação de novas variedades, da sigla SP. A estratégia do IAA foi bem elaborada, mas faltava a contribuição do próprio governo. Essa resposta, em construção, veio logo a seguir, no início da próxima década. Para finalizar, a década de 1960 foi aquela em que se construiu a base para o domínio mundial no setor.

### **1970 – Década da criação do Planalsucar e do Proálcool**

Em 1971, o IAA coloca em prática o seu plano estratégico (Mangelsdorf-Azzi) e cria o braço de pesquisa do IAA, com a finalidade principal de desenvolver um programa de obtenção de novas variedades, o Programa de Melhoramento de Cana-de-Açúcar (Planalsucar), com sedes regionais de pesquisa em Pernambuco, Alagoas, Rio de Janeiro e São Paulo.

Coube a Gilberto Miller Azzi assumir a Superintendência da nova instituição, permanecendo até 1976, levado prematuramente por uma doença. Hoje seu nome permanece, em placa para denominar o prédio central do campus de Araras da UFSCar, antiga sede da regional-sul do Planalsucar.

O CTC, com atuação mais forte no Estado de São Paulo, e o Planalsucar, atuando em nível nacional, para dar suporte ao melhoramento varietal, incorporaram outras áreas importantes: a agroindústria, o manejo do canal, a mecanização agrícola, fitossanidade, controle de pragas, enfim, as várias áreas do campo da agronomia e da agroindústria.

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) nasceu em 1975, no período da ditadura militar, no Governo Geisel, tendo como ministro das Minas e Energia Shigeaki Ueki.

Os objetivos estabelecidos foram: diminuir a dependência externa de combustível; economizar divisas; interiorizar o desenvolvimento; evoluir a tecnologia nacional; proporcionar o crescimento nacional da produção de bens de capital e gerar emprego e renda (MICHELLON *et al.*, 2008). Porto (2010) levantou alguns fatos que antecederam a aprovação, como segue. Roberto Rodrigues, engenheiro agrônomo de família de canavieiros, professor da UNESP, elaborou em 1973, juntamente com o economista Victor Argolo e com o diretor industrial da Usina São Martinho, Argenor Pavan, um documento contendo um projeto de substituição da gasolina pelo etanol da cana, com demonstrações dos custos de produção. Esse documento foi entregue ao presidente Ernesto Geisel em novembro de 1974, por seu pai, Antonio José Rodrigues Filho, na época vice-governador do estado de São Paulo e presidente da Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba. Porto (2010) destaca ainda a visita do presidente Geisel ao Centro Tecnológico da Aeronáutica, em junho de 1975, em São José dos Campos, quando coube ao professor Urbano Ernesto Stumpf comprovar a adaptação dos motores para uso da mistura gasolina-álcool e a conversão desses motores para uso exclusivo do álcool. Roberto Rodrigues exerceria papel decisivo na retomada do Proálcool na década de 2000, como ministro da Agricultura.

Muitas instituições foram convocadas para atuar politicamente e tecnicamente nessa ousada empreitada. O Instituto do Açúcar e do Álcool e o seu programa de melhoramento da cana-de-açúcar (Planalsucar), do Ministério da Indústria e do Comércio, foram instados pelo governo a acompanhar e atuar nessa evolução. Com a implantação, houve um aumento exponencial: a produção de álcool no Brasil saltou de 0,6 bilhão de litros do marco zero, 1975-1976, para 3,4 bilhões na safra 1979-1980 (BIODIESELBR, 2006).

Em resumo, o programa, estimulado pela crise do petróleo em 1973, teve início em 1975. Recebeu impulso com a crise de 1979, entrando na década de 1980 em pleno vigor.

### **1980 – Década do auge do Proálcool**

Mais uma conquista, a União dos Produtores de Bioenergia (UDOP) foi fundada em 1985 pelas lideranças dos diretores das destilarias autônomas do oeste do Estado de São Paulo. Antonio César Salibe (UFSCar), juntamente com os diretores, teve uma atuação importante, por conduzir a entidade em uma de suas vertentes de grande destaque. Ou seja, a formação de profissionais para as unidades por meio de cursos profissionalizantes de reciclagem e atualização: Universidade Corporativa da UDOP. É raro encontrar um técnico de destaque, da agroindústria ou do meio acadêmico, que não tenha ministrado cursos pela UDOP (UDOP, 2016).

Nessa década, o Proálcool superou largamente sua meta, em 23,3%, produzindo 12,3 bilhões de litros na safra de 1986-1987 (BIODIESELBR, 2006). Um pódio elevado para uma conquista efêmera, devido à queda e estabilização do preço do petróleo, à alta do preço do açúcar no mercado internacional e também em razão da retirada dos financiamentos e subsídios por parte do governo, que enfrentava sérios problemas fiscais e financeiros. Isso acabou refletindo no descrédito do programa junto aos indivíduos, o que se agravou com a crise do abastecimento em 1989 (MICHELLON *et al.*, 2008).

### 1990 – Década das trevas, do desinvestimento

Na década de 1990 (final da era Collor, governo de transição de Itamar e Governo Fernando Henrique, o programa continuou em queda, com a desregulamentação do mercado, liberação dos preços dos produtos e livre concorrência. Foi a época do sucateamento da frota de carros a etanol e da extinção do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), grande protagonista da ascensão da indústria canavieira, bem como de seu braço de pesquisa, o Planalsucar. Destaca-se um aspecto positivo. Já no final da década, os empresários do setor começam a se agrupar para tentar dar novo ânimo ao programa, criando importantes entidades como a Associação Paulista da Agroindústria Sucroalcooleira (SUCROÁLCOOL), a Sociedade dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (Sopral), a Associação das Destilarias Autônomas (ADA) e a Associação da Indústria Sucroalcooleira do Estado de São Paulo (Sucrep). Dessas entidades, criou-se em 1997 a União da Indústria de Cana-de-Açúcar – ÚNICA (GORDINHO, 2010).

### 2000 – Década da retomada do Etanol: a Segunda Era do Proálcool

A década passada pode ser considerada a época do desinvestimento. Essa situação chegou à década atual junto com a maior crise energética da história do Brasil, que encerrou os oito anos de governo do presidente Fernando Henrique Cardoso com a conhecida “CRISE DO APAGÃO”. A expansão da indústria brasileira em geral foi bruscamente interrompida. Os empresários teriam que investir em geradores a diesel para executar os planejamentos de expansão ou interromper seus projetos por falta de energia elétrica. O tribunal de contas estimou uma perda de R\$ 45,2 bilhões em valores da época (Correio Braziliense. “Apagão elétrico custou R\$ 45,2 bilhões aos brasileiros”. 15 de julho de 2009).

Tão inesperado como o apagão, o Proálcool ressurgiu em 2003. É interessante discutir as versões ou o conjunto de fatores positivos para a retomada de um projeto que estava desacreditado, mas não na visão do recém-empossado ministro da Agricultura Roberto Rodrigues (RODRIGUES, 2003), firme na defesa do Proálcool em entrevista à Folha.

Muitas vezes a retomada do programa é atribuída erroneamente ao desenvolvimento do carro flex. Jamais uma tecnologia isolada seria o principal motivo pela retomada do etanol. Houve aí um conjunto de fatores. Porém, o mais relevante foi o convencimento do presidente da República (Lula, em janeiro de 2003), pelo então ministro da Agricultura Roberto Rodrigues, de que a Agroenergia (etanol, bioeletricidade, biorrefinarias e biodiesel) poderia representar até mesmo uma nova geopolítica global, uma vez que este tipo de energia só seria definitivamente competitivo nos países tropicais, porque dependeria basicamente de sol durante todo o ano. E que esses países eram, então, ainda carentes de empregos, renda e riqueza e poderiam passar a ser os maiores produtores dessa matriz energética diferente. Isso reequilibraria a geopolítica, que era favorável aos países desenvolvidos. Mais ainda: que o Brasil podia ser o grande líder global dessa nova geopolítica, que daria aos países emergentes posições mais inclusivas no cenário mundial.

Convencido do papel de protagonista que o Brasil poderia ter, Lula abraçou a agroenergia e saiu pelo mundo “vendendo” essa ideia. O formulador dessa tese e testemunha ocular desse processo foi o ministro Roberto Rodrigues. O presidente Lula sempre reconhece sua contribuição em eventos do setor. Além disso, a proposta de Rodrigues recheava o bolo com uma cobertura maravilhosa para o governo: “emprego e renda”. Segundo VIEIRA *et al.* (2007), o setor emprega 152 vezes mais pessoas do que a indústria do petróleo.

### 2010 – Década da sustentabilidade do projeto. Conclusões

Apesar de o Programa ter sido criado para atender seis importantes objetivos já descritos (vide década de 1970), o programa se pautava mais por dois deles: diminuir a dependência externa de combustível e economizar divisas. Por isso, tornou-se muito vulnerável na década de 1990, com o risco de extinção.

A partir de 2003, o programa foi reabilitado, de forma a considerar também os objetivos sociais e políticos, como emprego e renda, diversificação da matriz energética, liderança geopolítica, prestígio internacional, domínio de tecnologia. Portanto, o Proálcool do Século XXI não dependeu mais, dentro de certos limites, embora amplos, do preço do petróleo. Hoje seria impensável considerar a extinção do programa meramente em função desse fator. É um exemplo de que dois projetos que realizam a mesma coisa podem chegar a resultados diferentes.

Dessa forma, nos 500 anos de cana-de-açúcar no Brasil esta cultura atingiu este segundo decênio do Século XXI com extraordinária força e prestígio. Alcançou a maior produção de sua história e com tendência ao crescimento; líder da produção de açúcar e etanol de cana no mundo; agroindústria com independência energética; cogeração de energia elétrica para exportar o excedente para o mercado nacional; efluentes e resíduos poluentes transformados em insumos de alto valor (vinhaça, torta de filtro e outros); ações em relação ao meio ambiente: interrupção da queima de canaviais, retirada das atividades braçais do corte da cana-de-açúcar; produção de biocombustível em substituição à queima equivalente em gasolina, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. No Brasil, essa indústria lidera a busca da “pedra filosofal”: ações para transformar a celulose (no caso, o bagaço) em um pote de ouro (de açúcar). Isto é, a pesquisa sobre as cadeias de sacarídeos entrelaçados que formam polissacarídeos (celulose) que, se destravados por processos químicos e/ou físicos, transformam a matéria orgânica em açúcar fermentável para a produção de etanol de segunda geração. A possibilidade de utilizar material celulósico tem sido estudada há tempos (STUPIELLO, 1980). Atualmente o setor conta com três plantas: uma em escala demonstrativa (Centro de Tecnologia Canavieira – CTC) e duas em escala comercial (Granbio e Raízen). Para finalizar, a cultura passou a contar com o maior número de revistas de circulação nacional de grandes tiragens voltadas à agroindústria: Revista STAB, Canavieiros, AlcoolBRÁS, Jornal-Cana, RPAnews, CanaOnline e CanaMix (caderno da revista Terra&Cia), que cobrem o setor, algumas com seções técnicas e científicas. A STAB e Canavieiros estão registradas na CAPES, com Qualis (sistema brasileiro de avaliação de periódicos, mantido pela CAPES). A revista Brasil Açucareiro foi o primeiro periódico voltado à agroindústria e editado por órgão oficial, o IAA. Constituiu-se em um registro histórico do período de 1934 até o final da década de 1980. A publicação foi interrompida com o fim do IAA. É necessário resgatar essa fonte de informação importante em termos de transformar em arquivo eletrônico e disponibilizar em bibliotecas.

Conforme foi dito no início, há sempre um aspecto a mais, uma pergunta a mais a ser respondida: E o sonho do IAA, de Gilberto Miller Azzi? A ideia de alavancar a liderança por meio de um forte programa de melhoramento para a obtenção de novas variedades morreu com ele? Com a extinção do IAA, o patrimônio físico do Planalsucar foi transferido para as universidades federais mais próximas, que

incorporaram também os pesquisadores. Os antigos programas regionais do Planalsucar, sem verbas governamentais, aliaram-se à iniciativa privada. Dessa forma, criou-se a Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), com base nas diversas universidades localizadas nas áreas de atuação das antigas coordenadorias do extinto Planalsucar, sempre presidida por um dos reitores das universidades, em sistema de rodízio:

UFAL - Universidade Federal de Alagoas  
 UFG - Universidade Federal de Goiás  
 UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso  
 UFPI - Universidade Federal do Piauí  
 UFPR - Universidade Federal do Paraná  
 UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco  
 UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
 UFS - Universidade Federal de Sergipe  
 UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos  
 UFV - Universidade Federal de Viçosa

Assim, a RIDESA tornou-se o maior programa do mundo em melhoramento da cana-de-açúcar – as variedades RBs. E, mais, patrocinado integralmente pelo setor privado. Por sua vez, o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), criado em sua origem pelo setor privado, recuperou-se e deu continuidade à produção de novas variedades da sigla SP, sempre com destaque para o desenvolvimento de tecnologias de ponta, também na esfera mundial. Já o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que havia interrompido os investimentos na década de 1970, pois os recursos passaram a ser destinados a outras culturas, devido à criação do CTC e Planalsucar, retorna ao tema com a criação do Centro Canavieiro. Tudo isso coloca o Brasil no topo da pesquisa dessa cultura e com investimento privado.

Nessa fantástica história, temos a participação de três ministros que defenderam o programa: Shigeaki Ueki (Minas e Energia), Roberto Rodrigues (Agricultura) e José Goldemberg (Educação). Dois deles cientistas, acadêmicos: Roberto Rodrigues, professor titular e Doutor Honoris Causa da UNESP, e José Goldemberg, ex-reitor da USP, renomado físico com especialização em energia, com atuação destacada até a atualidade (GOLDEMBERG *et al.*, 2014) em defesa da bioenergia no Brasil.

#### Referências Bibliográficas

- BELIK, W. A tecnologia em um setor controlado: o caso da agroindústria canavieira em São Paulo. **Cad. Dif. Tecnol.**, Brasília, v. 2, p. 99-136, 1985. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/viewFile/9250/5284>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- BERTELLI, L. G. A. verdadeira história do Proálcool. BIODIESELBR, 29 Jan 2006. Disponível em: <[www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-historia-verdadeira.htm](http://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-historia-verdadeira.htm)>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- BODIESELBR. Proálcool - Programa Brasileiro de Álcool. Jan 2006. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- COPERCANA - Cooperativa dos Plantadores de Cana do Oeste do Estado de São Paulo. Histórico; Diretoria. Disponível em: <<http://www.copercana.com.br/index.php?xvar=ver-noticias&id=251>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; SCARPARI, M. S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A. O Instituto Agrônomo (IAC) e fatos históricos relacionados ao desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar até o fim do século XX. Documentos IAC, Campinas, n.º 103, 2011. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes\\_online/pdf/Doc\\_103\\_FINAL.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/Doc_103_FINAL.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- GOLDEMBERG, J.; MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy**, v. 69, p. 14-18, 2014.
- GORDINHO, M. C. Do álcool ao etanol trajetória única. São Paulo, Terceiro Nome. 2010, 145p.
- MANGELSDORF, A. J. Um Programa de Melhoramento da Cana-de-Açúcar para a agroindústria açucareira da Brasil. IAA, Rio de Janeiro. 1967.
- MICHELLON, E.; SANTOS, A. A. L.; RODRIGUES, J. R. A. Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia, 46, 1-16 p., 2008. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/574.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- PASTELLI, V. **Panorama do desenvolvimento do cultivo e do processamento de cana-de-açúcar no Brasil**. São Paulo, Editor Vittorio Pastelli, 93p., 2014.
- PORTO, G. Estudo foi levado a Geisel em 1974. São Paulo. Estadão, 20 de novembro de 2010. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,estudo-foi-levado-a-geisel-em-1974-imp-,642596>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- RAMOS, P. Os mercados mundiais de açúcar e a evolução da agroindústria canavieira do Brasil entre 1930 e 1980: do açúcar ao álcool para o mercado interno. **Econ. Apl.**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 4, p. 559-585, Dec. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-80502007000400006>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- RODRIGUES, R. Ministro defende Proálcool para minimizar efeitos da guerra: entrevista dada a Sandra Manfrini e Patrícia Zimmermann. Brasília, Folha Online, 04, fev, 2003. Disponível em: <<https://www.jornalcana.com.br/ministro-defende-proalcool-para-minimizar-efeitos-da-guerra/>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Texto Administrator, Nov., 2010. Disponível em: <[http://www.stab.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=4](http://www.stab.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=4)>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- STOLF R.; OLIVEIRA, A. P. R. Variação do número de máquinas e implementos agrícolas com a área de produção das unidades de açúcar e álcool e o Proálcool. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 10, 2016. Ribeirão Preto, Anais... Ribeirão Preto: **STAB**, 2016. 11p.
- STUPIELLO, J. P. Matérias Primas para a obtenção do álcool. In: Furtado, J. S. Fermentações industriais e transformações microbianas. **Sociedade Brasileira de Microbiologia**. São Paulo. P. 66-69. 1980.
- UDOP – União dos Produtores de Bioenergia. Nossa história <<http://www.udop.com.br/index.php?item=perfil&op=servicos>>. Video institucional <http://www.webed.com.br/portal/tvudop/59083>>.
- VIEIRA, M.C.A.; LIMA, J.F.; BRAGA, N.M. Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e Perspectivas. DEAGRO-BNDES, p. 208-245, jun 2007. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv\\_perspectivas/07.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/07.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2016.



## EFICIÊNCIA E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE USINAS

\*C. M. Evangelista

\*Engenheiro Químico

carloskevangelista@yahoo.com.br

### Resumo

A partir de balanços de massa de açúcares redutores totais em uma usina obtém-se expressões algébricas para importantes parâmetros amplamente utilizados como a Relação de Paridade Técnica, a Eficiência Industrial e Rendimentos Industriais em função das eficiências da extração, das fábricas de açúcar e de álcool e do mix de produção ( $\phi$ ), além de outros fatores. Enfatiza-se a importância de se determinar tais eficiências para a avaliação do desempenho das usinas e se propõe uma eficiência industrial “média” (E para mix produção 50%) como parâmetro alternativo auxiliar.

**Palavras-chave:** Açúcar, Álcool, Eficiência e Rendimento Industrial

### Summary

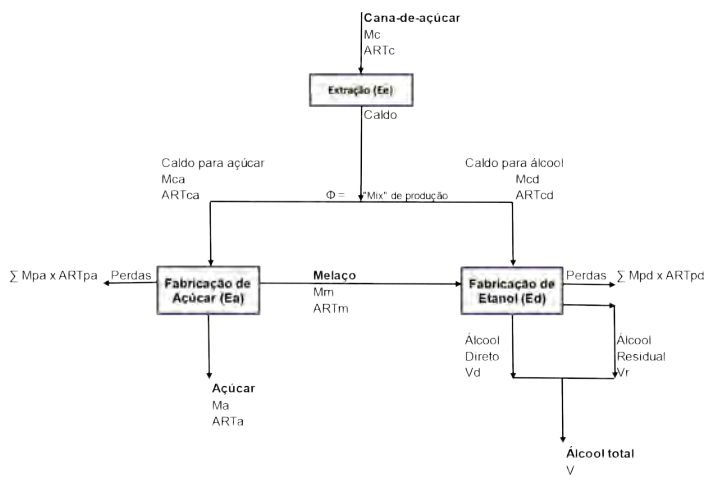
We obtained algebraic expressions from global mass balance of total reducing sugars in a sugar factory and alcohol from sugar cane, for important and widely used parameters such as the Technical Parity Ratio, the Industrial Efficiency and Industrial Yield as a function of efficiencies from extraction, sugar and alcohol units, production mix and other factors. The importance of determining such efficiencies is emphasized to evaluate the performance of plants and propose an industrial efficiency “average” (for a mix production of 50%) as an auxiliary alternative parameter.

**Keywords:** Sugar, Alcohol, Industrial Efficiency and Yield

### Introdução

O Rendimento e a Eficiência industrial estão entre os principais parâmetros para se verificar o desempenho das fábricas de açúcar e de álcool e, desde o Proálcool, várias fórmulas para seus cálculos foram propostas. MOURÁS, 1980, já concluiu “os critérios *standard* ou padrão não estão mais atendendo as exigências técnicas de controle químico das usinas”. A Resolução Nº 09/81, de 07 de outubro de 1981, do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), no entanto, determinou procedimentos para as usinas para o cálculo do Rendimento Industrial (RI) e sua fórmula foi amplamente utilizada. GEMENTE E LOPES, 1982, apresentaram estudo com o objetivo de “levantar a questão do cálculo do rendimento industrial em unidades de produção de açúcar e álcool”. MACEDO, 1987, em Boletim Técnico da Copersucar, propôs equação de eficiência de recuperação de açúcar nos produtos que, para as usinas, constituía um “parâmetro para avaliar globalmente a sua eficiência na transformação da matéria-prima em produtos, ou, por outro lado, as perdas totais de açúcar no seu processamento”. Em trabalho posterior, MACEDO, 1990, “para as usinas situarem-se em termos de eficiência no uso da matéria-prima, em relação à média das demais (e também em relação aos valores máximos praticados)”, estabeleceu “alguns padrões de desempenho e metodologia de cálculo” que permitiam essa comparação. O conceito apresentado foi o da eficiência industrial em função de um mix de produção definido como “a relação (produção de álcool/ produção total) da usina, sendo as produções expressas nos seus equivalentes em sacarose”. STUCHI E ZARPELON, 1995, apresentaram novas fórmulas para o cálculo dos Rendimentos Industrial (RI) “segundo a mesma sistemática do RI – IAA, no entanto atualizando-se o valor da eficiência global da destilaria e do chamado álcool residual” e, também, do Rendimento Industrial Total (RIT), “baseada na transformação do álcool em açúcar através da relação estequiométrica...” análoga a fórmula da Copersucar, “...porém para eliminar a influência da relação de produção açúcar/ álcool nas comparações entre rendimentos” dividiu-se a parcela da produção representada pelo álcool pelo rendimento global da destilaria. LOPES e GEMENTE, 1999, expressaram uma fórmula para o RI em função das produções e da eficiência da fábrica de álcool. Neste trabalho explicita-se as relações de dependência dos mais importantes parâmetros de desempenho utilizados pelas usinas em relação, principalmente, às eficiências de recuperação de ART da extração, das fábricas de açúcar e de álcool e do mix de produção.

**Diagrama 1:** Fluxo de Açúcares Redutores Totais (ART) numa usina com destilaria anexa



**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Usina convencional**

Parte-se de balanços de massa de Açúcares Redutores Totais (ART) na extração e nas fábricas de açúcar e de álcool de uma usina convencional conforme no DIAGRAMA 1 acima.

**Balanco de ART na Extração de caldo**

O balanço global de ART na unidade de extração do caldo da cana é expresso como:

$$M_c.ART_c = M_{ca}.ART_{ca} + M_{cd}.ART_{cd} + \sum M_{pe}.ART_{pe} \quad (1)$$

onde:  $M_c$  = Massa de cana-de-açúcar que entra na usina  
 $ART_c$  = Açúcares Redutores Totais da cana-de-açúcar (fração decimal – f.d.)  
 $M_{ca}$  = Massa de caldo de cana enviado para a fábrica de açúcar  
 $ART_{ca}$  = Açúcares Redutores Totais do caldo destinado à fábrica de açúcar (f.d.)  
 $M_{cd}$  = Massa de caldo de cana enviado para a fábrica de álcool  
 $ART_{cd}$  = Açúcares Redutores Totais do caldo destinado à fábrica de álcool (f.d.)  
 $\sum M_{pe} \times ART_{pe}$  = Soma de todas as perdas de ART's na extração  
 A Eficiência da extração ( $E_e$ ) é definida como:

$$E_e = \frac{M_{ca}.ART_{ca} + M_{cd}.ART_{cd}}{M_c.ART_c} \quad (2)$$

Aqui, a unidade de extração engloba também o processo de lavagem da cana.

**Mix de produção**

Neste trabalho, define-se o mix de produção ( $\emptyset$ ) como a relação entre a quantidade de ART direcionada para a fábrica de açúcar em relação ao total extraído. Assim:

$$\emptyset = \frac{M_{ca}.ART_{ca}}{M_{ca}.ART_{ca} + M_{cd}.ART_{cd}} \quad (3)$$

Essa definição facilita a dedução das equações neste trabalho. Observação: Se  $\emptyset = 1$ , todo o caldo extraído vai para a fábrica de açúcar (nesse caso é possível produzir álcool com o melaço residual) e se  $\emptyset = 0$ , todo o caldo vai para a fábrica de álcool.

**Balanco de ART na Fábrica de Açúcar**

Para a fábrica de açúcar, tem-se que:

$$M_{ca}.ART_{ca} = M_a.ART_a + M_m.ART_m + \sum M_{pa}.ART_{pa} \quad (4)$$

onde:  $M_a$  = Massa de açúcar produzido  
 $M_m$  = Massa de melaço produzido  
 $ART_a, ART_m$  = ARTs do açúcar e do melaço, respectivamente (f. d.)  
 $\sum M_{pa}.ART_{pa}$  = Soma de todas as perdas de ARTs na fábrica de açúcar  
 A Eficiência da fábrica de açúcar ( $E_a$ ) é definida como a quantidade de ARTs recuperados como açúcar em relação à quantidade entrada. Assim, em f.d.:

$$E_a = \frac{M_a.ART_a}{M_{ca}.ART_{ca}} \quad (5)$$

Combinando-se as equações (2), (3) e (5), tem-se que a produção de açúcar ( $M_a$ ) é dada por:

$$M_a = \frac{M_c.ART_c.E_e.\emptyset.E_a}{ART_a} \quad (6)$$

A parcela de ART que sai no melaço (em f.d.), relacionada com a esgotabilidade, pode ser expressa como:

$$K_m = \frac{M_m.ART_m}{M_a.ART_a} \quad (7)$$

A partir destes conceitos verifica-se que o somatório das perdas de ART na fábrica de açúcar (equação 4) pode ser expresso como  $\sum M_{pa}.ART_{pa} = 1 - E_a.(1 + k_m)$ . Assim, as perdas constituem ARTs que não estão nem no açúcar nem no melaço. A eficiência da fábrica de açúcar não inclui o ART contido no melaço.

**Balanco de ART na Fábrica de Álcool**

Considerando-se que todo o melaço da fábrica de açúcar é enviado para a produção de álcool, o balanço de ART pode ser expresso como:

$$M_{cd}.ART_{cd} + M_m.ART_m = \frac{V.^{\circ}GL}{k_e} + \sum M_{pd}.ART_{pd} \quad (8)$$

$E_d$ , a eficiência da destilaria ( $E_d$ ), definida como a quantidade de ARTs recuperados como álcool em relação à quantidade entrada, como (também em f.d.):

$$E_d = \frac{\frac{V.^{\circ}GL}{k_e}}{(M_{cd}.ART_{cd} + M_m.ART_m)} \quad (9)$$

onde,  $V$  = Volume total de álcool produzido

$^{\circ}GL$  = Grau alcoólico (v/v, f.d.)

$ke$  = Fator estequiométrico da transformação de kg de AR em L de etanol

Combinando-se as equações (2), (3), (5), (6) e (9) tem-se a produção de álcool ( $V$ ) dada por:

$$V = Mc. ARTc. Ee. (1 - \phi + \phi. km. Ea). \frac{Ed. ke}{^{\circ}GL} \quad (10)$$

Se  $\phi = 1$ ,  $V$  é o volume de álcool residual, produzido com o melaço, por definição:

$$Vr = Mm. ARTm. \frac{Ed. ke}{^{\circ}GL} \quad (11)$$

A partir da definição de  $km$  (equação 7) ou, da equação (10) e (6) tem-se que

$$Vr = Ma. ARTa. km. \frac{Ed. ke}{^{\circ}GL} \quad (12)$$

Com as equações acima expressa-se importantes parâmetros usuais nas usinas, como segue.

#### Relação de Paridade Técnica

A RPt corresponde à relação entre o volume de álcool e a massa de açúcar que se pode produzir com uma mesma quantidade de cana-de-açúcar. FERNANDES, 2002, apresenta definição mais elaborada. De forma genérica, se se produz uma quantidade de açúcar  $Ma$  (dada pela equação 6, com  $\phi = 1,0$ ) com uma determinada quantidade de cana  $Mc$  que se fosse direcionada apenas para a produção de álcool resultasse em um volume  $V$  desse produto (dada pela equação 10, com  $\phi = 0$ ), a equação da RPt pode ser expressa como:

$$RPt = \frac{V (\phi=0)}{Ma (\phi=1)} = \frac{ARTa. ke. Ed}{^{\circ}GL. Ea} \quad (13)$$

#### Rendimento Industrial

Na Resolução No 09/81 de 07 de outubro de 1981, o IAA apresentou a seguinte equação para o cálculo do Rendimento Industrial:

$$RI = \frac{\left[ Ma + \frac{V - Vr}{RPt} \right]}{Mc} \quad (14)$$

Para expressar o rendimento industrial em função das eficiências das fábricas (RIe), substitui-se nesta equação as expressões de RPt (equação 13) e  $Vr$  (equação 12). Após o rearranjo dos fatores obtém-se que:

$$RIe = \frac{(1 - km. Ea). Ma + \left( \frac{^{\circ}GL. Ea}{ke. Ed. ARTa} \right). V}{Mc} \quad (15)$$

Considerando-se as definições de  $Ea$  e  $km$  apresentadas, aplicadas na equação 4, verifica-se que o fator  $(1 - km. Ea)$  no numerador da equação acima é igual a  $Ea$  quando as perdas de ART são nulas ( $\sum Mpa. ARTpa = 0$ ).

Também é interessante verificar a dependência de RIe com o mix de produção ( $\phi$ ). Para isso, substitui-se as expressões de  $Ma$  (equação 6) e  $V$  (equação 10) na equação 15 acima e, após rearranjos, tem-se:

$$RIe = \frac{ARTc}{ARTa} . Ee. Ea \quad (16)$$

Ou seja, o Rendimento Industrial, conforme definido pelo IAA, depende somente das eficiências da extração e da fábrica de açúcar. O objetivo do IAA, na época dessa definição, foi o de calcular um rendimento que fosse equivalente ao da fábrica de açúcar.

Eficiência Global da Usina

A eficiência global da usina por ser definida como a quantidade total de ART recuperada como açúcar e como álcool em relação ao que entra na cana-de-açúcar. Assim, em f.d.:

$$E = \frac{Ma. ARTa + V. \frac{^{\circ}GL}{ke}}{Mc. ARTc} \quad (17)$$

Combinando-se esta equação com as equações (6) e (10), obtém-se:

$$E = Ee. [(Ea - Ed + km. Ea. Ed). \phi + Ed] \quad (18)$$

#### Rendimento Industrial Total

O RIT corresponde a soma de todos os produtos obtidos transformados em açúcar dividida pela cana-de-açúcar utilizada. De acordo com essa definição, considerando-se apenas o álcool como produto, transformado estequiometricamente em açúcar, tem-se:

$$RIT = \frac{Ma + \left( \frac{^{\circ}GL}{ARTa. ke} \right). V}{Mc} \quad (19)$$

Substituindo-se as equações de  $Ma$  (6) e  $V$  (10) nesta equação obtém-se:

$$RIT = \frac{ARTc}{ARTa} . Ee. [(Ea - Ed + km. Ea. Ed). \phi + Ed] \quad (20)$$

Ou, como se observa, comparando esta equação com a de eficiência industrial (17), tem-se:

$$RIT = \frac{ARTc}{ARTa} \cdot E \quad (21)$$

É importante observar o fato de que os resultados dos cálculos que se obtêm pela aplicação das equações baseadas nas eficiências (como as equações 20 e 21) só coincidem com os obtidos com as baseadas nas produções (como a 19) quando tanto Ma como V são determinados com os mesmos fatores, ou seja, ARTc, ARTa, Ea, km, Ed e  $\phi$ .

### Resultados e Discussão

A Tabela 1, abaixo, mostra os resultados dos cálculos com as equações apresentadas para três usinas para as quais atribuiu-se os valores (em negrito) de km, Ea, Ed, oGL, Ke e ARTa considerados (implícita ou explicitamente) pelo IAA (Usina 1, com fonte de dados: GEMENTE e LOPES, 1982 e, LOPES e GEMENTE, 1999) e pela STAB (Usina 2, com de fonte de dados: STUCHI e ZARPELON, 1995). À Usina 3 atribuiu-se valores diferentes de eficiências em relação aos considerados pelo IAA e pela STAB além de um mix de produção ( $\phi$ ) bem menor que as usinas 1 e 2.

A Relação de Paridade Técnica calculada com a equação 13 ( $(Rpt = ARTa \cdot ke \cdot Ed / \text{oGL} \cdot Ea)$ ) fornece os mesmos valores considerados tanto por IAA como pela STAB confirmando a validade desta equação. Uma usina que opere com valores diferentes para os fatores constantes na equação 13, pode ter uma relação de paridade diferente como ocorre com a usina 3 que produziria mais álcool quando uma quantidade de cana que produziria uma saca de açúcar fosse direcionada para a produção de álcool. A Rpt não sofre influência do mix de produção já que representa a relação entre o volume de álcool (equação 10) para  $\phi = 0$  pela massa de açúcar (equação 6) para  $\phi = 1,0$ .

Os Rendimentos Industriais (RI) conforme IAA e STAB foram calculados com a fórmula original, com os dados de produção (Ma e V) e, também, com as equações 15 e 16. Como a usina 1 possui todos os fatores (km, Ea, Ed, oGL, Ke e ARTa) iguais aos considerados pelo IAA, os valores obtidos com as equações 15 e 16 são coincidentes com o da fórmula original. O mesmo ocorre, em relação ao RI (STAB), com a usina 2 que possui os fatores iguais aos considerados pela STAB. As equações 15 e 16 só fornecem o mesmo resultado de RI que o da fórmula original se se utiliza os mesmos fatores utilizados para se obter a fórmula original. Se as produções não são determinadas com os mesmos valores para os fatores, as equações 15 e 16 não são aplicáveis. Isso explica o fato de que, para a usina 3, os resultados obtidos com as fórmulas originais de RI (IAA) e RI (STAB) não coincidem com os valores obtidos pelas equações 15 e 16. Quando estas podem ser utilizadas, a equação 16 mostra que os RIs dependem basicamente, apenas das eficiências da extração (Ee) e da fábrica de açúcar (Ea) (da área industrial).

Considerações análogas valem para a Eficiência Industrial (E) e o Rendimento Industrial Total (RIT), sendo que estes dependem também do mix de produção conforme mostram as equações 17 e 21. Com os dados estabelecidos pela STAB aplicados na equação 19, o RIT seria:

$$RIT = \frac{(Ma+1,470 \cdot V)}{Mc} \quad (22)$$

Esta equação é muito próxima a fórmula apresentada pela Copersucar, MACEDO, 1987, na qual o numerador que multiplica V é 1,467. A diferença (1,467 em relação a 1,470) se deve aos valores considerados para o teor alcoólico (oGL) e a polarização do açúcar (oS) na transformação de álcool em açúcar. A STAB, para eliminar a influência do mix de produção em comparações de rendimentos, dividiu esse valor do numerador (1,467) pela eficiência considerada para a fermentação que é Ed = 0,90, obtendo a fórmula:

$$RIT (STAB) = \frac{Ma+1,630 \cdot V}{Mc} \quad (23)$$

Fazendo-se a divisão do numerador que multiplica V na equação 19 por Ed e substituindo-se as equações de Ma (6) e V (10) nesta equação (23) obtém-se:

$$RIT (STAB) = \frac{ARTc}{ARTa} \cdot Ee \cdot \{[Ea - (1 - km \cdot Ea)] \cdot \phi + 1\} \quad (24)$$

Como já visto, para os valores considerados pela STAB,  $(1 - km \cdot Ea) = Ea$  e, assim:

$$RIT (STAB) = \frac{ARTc}{ARTa} \cdot Ee \quad (25)$$

Ou seja, o RIT (STAB) depende apenas da eficiência da unidade de extração (da indústria) e da qualidade da cana-de-açúcar (da agrícola). As usinas 1 e 2 processaram a mesma quantidade de cana-de-açúcar (Mc) e produziram as mesmas quantidades de açúcar (Ma) e de álcool (V). Portanto, os resultados de RI (IAA), RI (STAB), RIT (COP) e RIT (STAB), calculados com as fórmulas originais, são os mesmos para as usinas 1 e 2. A usina 1 possui fábricas menos eficientes e, só obteve as mesmas produções de açúcar e álcool do que a usina 2 porque recebeu uma cana-de-açúcar com maior teor de ARTc. O RIT, conforme a definição (equação 19), depende da qualidade da cana (ARTc) e da eficiência da fábrica (E). O resultado do RIT da usina 1 é um pouco maior que o da usina 2 porque a ARTc da 1 é maior que o da 2. As três usinas possuem os mesmos valores de RIT (STAB) pois realmente este parâmetro não é influenciado pelo mix de produção. Os valores calculados pelas equações 19 e 24 para as usinas 1 e 3 são diferentes dos obtidos para a usina 2 uma vez que apenas para esta os fatores km, Ea, Ed, oGL, Ke e ARTa são os considerados pela STAB que resultam no fator 1,63 no numerador que multiplica V na fórmula original da STAB.

A eficiência industrial, por outro lado, (com valores de mix de produção das duas usinas próximos) mostra que a área industrial da usina 2 é mais eficiente. A usina 3 possui eficiência da fábrica de açúcar intermediária entre a 1 e a 2 e, da fábrica de álcool maior que as outras duas.

A qualidade de sua cana (ARTc) é praticamente idêntica à da usina 2 mas direcionou muito mais caldo para a fábrica de álcool ( $\emptyset = 0,35$ ) e por isso, sua eficiência global (E) resultou menor que a usina 2. O resultado da eficiência para um mix de produção de 50% (equação 18 com  $\emptyset = 0,50$ ), que representa um valor “médio” das eficiências da usina, mostra que a usina 3 tem uma eficiência um pouco maior que a usina 2. Assim, a Eficiência Industrial (equação 18 com  $\emptyset = 0,50$ ) serve como auxiliar na análise do desempenho de uma usina.

Finalmente, a relação apresentada anteriormente entre a eficiência da fábrica de açúcar, o esgotamento do melaço produzido e as perdas de açúcar, dada por  $\sum Mpa.ARTpa = 1 - Ea.(1+km)$ , indica que para a usina 3 as perdas representam quase 2% do ART entrado na fábrica de açúcar enquanto para as usinas 1 e 2 esse valor é nulo.

### Conclusões

As equações dos parâmetros de desempenho explícitas em função das eficiências e outros fatores constituem uma importante ferramenta adicional para a interpretação do desempenho de usinas. Os valores considerados pelo IAA e pela STAB são boas referências para o conhecimento do nível de desempenho das usinas em diferentes épocas. A determinação dos reais valores (para um período), mais os dados de produção e outros fatores normalmente determinados, permitem a análise do balanço de ART e do desempenho de uma usina.

**Tabela 1.** Demonstrativo dos Cálculos

Parâmetro	Descrição	Equação	Nº	Usina 1 (Fatores do IAA)	Usina 2 (Fatores da STAB)	Usina 3
<b>MEDIDOS</b>						
Mc	Massa de cana-de-açúcar (t)			2.500.000	2.500.000	2.500.000
ARTc	A.R.T. da cana-de-açúcar (f.d.)			0,1286	0,1250	0,1240
	Massa de ART na cana-de-açúcar (t)	Mc.ARTc		321.581	312.500	310.000
Ee	Eficiência da extração (f.d.)			0,96	0,96	0,96
	Massa de ART extraído (t)	Mc.ARTc.Ee		308.718	300.000	297.600
$\emptyset$	Mix de produção (f.d.)			0,76150	0,75000	0,35000
	Massa de ART para fábrica de açúcar (t)	Mc.ARTc.Ee. $\emptyset$		235.089	225.000	104.160
<b>Ea</b>	<b>Eficiência da fábrica de açúcar (f.d.)</b>			<b>0,8281</b>	<b>0,867</b>	0,850
<b>ARTa</b>	<b>A.R.T. do açúcar (f.d.)</b>			<b>1,04526</b>	<b>1,0474</b>	1,0474
Ma	Massa de açúcar produzido (t)	Ma = Mc.ARTc.Ee. $\emptyset$ .Ea/ARTa	6	186.247	186.247	84.529
<b>Mm</b>	<b>Massa de melaço/ sc 50 kg açúcar (kg/sc)</b>			<b>19,708</b>	<b>13,402</b>	13,402
<b>ARTm</b>	<b>A.R.T. do melaço (f.d.)</b>			<b>0,55</b>	<b>0,60</b>	0,60
km	Relação massas de ART melaço/ açúcar (f.d.)	km = Mm.ARTm/ Ma.ARTa	7	0,2074	0,1535	0,1535
$\sum Mpa.ARTpa$	Somatório perdas ART na fábrica de açúcar	{ $[\sum Mpa.ARTpa = 1 - Ea.(1+km)] / Mca.ARTca$ }.100 (%)		0,01	-0,01	1,95
<b>Ed</b>	<b>Eficiência da fábrica de álcool (f.d.)</b>			<b>0,8321</b>	<b>0,900</b>	0,920
<b>°GL</b>	<b>Teor alcoólico do álcool (°GL = v/v)</b>			<b>1,000</b>	<b>0,997</b>	0,997
<b>ke</b>	<b>Fator conversão de etanol em AR (estequiométrico) (L etanol/ kg A.R.)</b>			<b>0,6467</b>	<b>0,6475</b>	0,6475
V	Volume de álcool produzido (m3)	V = Mc.ARTc.Ee.(1- $\emptyset$ +km.Ea. $\emptyset$ ).Ed.Ke/°GL	10	61.349	61.345	123.701
<b>CALCULADOS</b>						
Rpt	Relação de Paridade Técnica	Rpt = (ARTa.ke.Ed)/(°GL.Ea) Rpt em L álcool/ sc de açúcar de 50 kg	13	0,6792 33,96	0,7061 35,31	0,7363 36,81
RI (IAA)	Fórmula original IAA (kg açúcar/ t cana)	RI (IAA) = (0,8281.Ma+1,4728.V)/Mc	22	97,83	97,83	100,87
	RI (IAA) calculado com equação 15	Rie(IAA) = ((1-km.Ea).Ma+(°GL.Ea/ARTa.ke.Ed).V)/Mc	15	97,83	N.A.	N.A.
	RI (IAA) calculado com equação 16	Rie (IAA) = (ARTc/ARTa).Ee.Ea	16	97,83	N.A.	N.A.
RI (STAB)	Fórmula original STAB (kg açúcar/ t cana)	RI (STAB) = (0,867.Ma+1,416.V)/Mc	26	99,34	99,34	99,38
	RI (STAB) calculado com equação 15	Rie(IAA) = ((1-km.Ea).Ma+(°GL.Ea/ARTa.ke.Ed).V)/Mc	15	N.A.	99,33	N.A.
	RI (IAA) calculado com equação 16	Rie (IAA) = (ARTc/ARTa).Ee.Ea	16	N.A.	99,33	N.A.
E	Eficiência Industrial Global (Definição) (%)	E = (Ma.ARTa+V.°GL/ke)/(Mc.ARTc)	17	90,04	92,65	90,00
	E calculada pela equação 18	E = Ee.((Ea-Ed+km.Ea.Ed). $\emptyset$ +Ed)	18	90,04	92,65	90,00
RIT	Definição (kg açúcar/ t cana)	RIT = [Ma+(°GL/ARTa.Ke).V]/Mc	19	110,80	110,57	106,55
	RIT calculado com equação 21	RIT = (ARTc/ARTa).E	21	110,80	110,57	106,55
RIT (COP)	RIT Copersucar (Equação 22 com fator 1,467)	RIT (COP) = (Ma+1,467.V)/Mc	22	110,50	110,50	106,40
RIT (STAB)	RIT STAB (fórmula original)	RIT (STAB) = (Ma+1,63.V)/Mc	23	114,50	114,50	114,47
	Equação 19 - numerador de V dividido por Ed	RIT (STAB) = [Ma+(°GL/ARTa.Ke.Ed).V]/Mc	19	118,13	114,58	112,88
	RIT (STAB) calculada pela equação 24	RIT (STAB) = (ARTc/ARTa).Ee.[1+(Ea+km.Ea-1). $\emptyset$ ]	24	118,13	114,58	112,88
E ( $\emptyset$ =50%)	Eficiência Industrial para $\emptyset = 50\%$ (ou, 0,50)	E ( $\emptyset$ =0,50) =Ee.(Ea+Ed+km.Ea.Ed)/2	18	86,55	90,57	90,72

Legenda: f.d. = fração decimal; sc = saco de açúcar; A.R. = Açúcares Redutores; A.R.T. = A.R. Totais; N.A. = Não Aplicável

As equações não aplicáveis (N.A.) se devem ao fato de Ma e V não serem calculados com todos os fatores destas equações.

\* Elaborada pelo autor com as equações apresentadas e dados das fontes: Gemente e Lopes, 1982, Lopes e Gemente, 1999 (IAA) e Stuchi e Zarpelon, 1995 (STAB).

**Referências Bibliográficas**

- RESOLUÇÃO Nº 09/81** do Instituto do Açúcar e do Alcool de 07 de outubro de 1981. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. GEMENTE A.C. e LOPES, C.H. *Comentário sobre a Forma de Cálculo do Rendimento Industrial em Unidades de Produção de Açúcar e Alcool, Brasil Açucareiro*, Ano L, Vol. C, no. 6, Dez. 1982.
- LOPES, C.H. e GEMENTE, A.C. **Nota sobre o Cálculo de Rendimento Industrial em Unidades Sucroalcooleiras**, Revista STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos, Vol. 17, no. 3, Janeiro – Fevereiro/ 1999.
- MACEDO, I.C. **Considerações sobre eficiência na produção industrial de açúcar e álcool**. Boletim Técnico Copersucar 036/87.
- MACEDO, I.C. **Eficiência de conversão obtidas na produção industrial de açúcar e de álcool**. Boletim Técnico Copersucar 049/90.
- MOURÁS, M.P.R. **Revisão do Sistema de Cálculo do Rendimento Industrial e do Balanço Químico: Açúcar e Alcool, Anais do III Simpósio de Tecnologia do Açúcar e do Alcool**, STAB Sul, Águas de São Pedro, Setembro de 1980.
- FERNANDES, A.C. **Rendimento e Eficiência Industrial**, 8º Congresso Nacional da STAB, Pernambuco, 2002.
- STUCHI, A.A. e ZARPELON, F. **Cálculo do Rendimento Industrial – STAB**, Revista STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos, Vol. 13, nº 4, Março - Abril/ 1995.

## AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE CENTRAIS COGERADORAS DE ENERGIA VISANDO MAXIMIZAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS PLANTAS INDUSTRIAIS ESTUDO DE CASO: SUCROENERGÉTICO

L. P. Buranello

leonardo.buranello@tgmturbinas.com.br

### Resumo

Com a evolução das tecnologias dos materiais e, conseqüente, aumento das pressões e temperaturas nos equipamentos destinados à geração de energia elétrica, as adaptações e evoluções tecnológicas foram inevitáveis para poder acompanhar os níveis de eficiência exigidos. Materiais especiais e novos conceitos dos sistemas de controle em turbinas foram desenvolvidos para aumentar a eficiência, bem como a disponibilidade e confiabilidade de operação destes equipamentos. Uma nova tendência surge em busca da máxima eficiência, o retrofit através da eficiência energética.

Em meio ao mundo competitivo entre as diversas formas de geração, além do crescente valor do custo da fonte primária de energia, muitas vezes por escassez, o ganho de 0,1% na eficiência do ciclo pode representar a viabilidade da implantação de um projeto.

**Palavras-chaves:** geração de energia, turbinas a vapor, eficiência energética, competitividade, retrofit, cogeração, biomassa, termoeletrica.

### Summary

With the evolution of technology of materials and the consequent advance of increased pressures and temperatures in boilers, equipment for power generation also had their adaptations and technological developments to keep up with the expected efficiency levels required. Special materials and new concepts of turbines in control systems have been developed to increase operation efficiency, availability and reliability of equipment. A new trend emerges in search of maximum efficiency, retrofit through energy efficiency.

In a competitive world offering various forms of generation, in addition to the increasing value of the cost of primary energy source, 0.1 %gain in cycle efficiency may turn the implementation of this project feasible.

**Keywords:** power generation , steam turbines , energy efficiency, competitiveness , retrofit , cogeneration , biomass , thermal power station

### Introdução

Esse estudo pretende analisar, preliminarmente, a viabilidade técnica e econômica do projeto produção de vapor de processo e geração de eletricidade em uma usina do setor sucroenergético, localizada no Estado de São Paulo. Esta Usina atua no mercado de produção de açúcar, etanol e energia.

A atual sistemática dos leilões de energia implantada pelo governo, que busca a competitividade entre as possíveis fontes de geração de energia, não avaliando o local e disponibilidade T&D, resulta em um valor de MWh baixo e o risco do mercado livre flutuante não atrai novos investimentos. O mercado de energia é altamente competitivo e requer que as empresas atuantes sejam altamente eficientes.

As turbinas a vapor são peças fundamentais da eficiência e produção de energia elétrica da planta e deve ter alta disponibilidade e confiabilidade. Devido a defasagem dos equipamentos ao longo de quatro décadas (Proálcool), aliada às mudanças operacionais e de produção ao longo do período do projeto, o parque industrial da Usina possui oportunidades para um retrofit de eficiência energética.

Para definir a estratégia de ganho energético das turbinas da usina serão analisadas as condições técnicas de projeto e operacionais atuais, a fim de fornecer subsídios para a avaliação energética da planta.

Assim sendo, o estudo pretende analisar os fatores que possibilitam a modernização ou a substituição de componentes ou até mesmo dos equipamentos de produção de energia mecânica e elétrica, a fim de maximizar a produção de energia elétrica da planta. Na primeira parte do estudo serão analisadas as opções estratégicas. Posteriormente, na segunda parte serão analisados os parâmetros técnicos econômicos e financeiros necessários para o estudo de viabilidade.

Em linhas gerais, trata-se da apresentação dos critérios que podem ser utilizados na tomada de decisão sobre implementar ou não um projeto. Vale ressaltar que, avaliação é o processo que une risco e retorno para se determinar o valor de um ativo. As técnicas de análise para a avaliação dos investimentos a serem realizadas são utilizadas pelas empresas para a seleção de projetos que irão aumentar o retorno do investimento. Tal avaliação se faz necessária, visto que as mudanças econômicas e políticas ocorridas na última década propiciaram a indústria, hoje caracterizado pela internacionalização dos mercados e por ampla e acirrada competição.

Conseqüentemente, as empresas devem se adaptar a essa realidade de contínuas e rápidas mudanças, otimizando os recursos disponíveis, ao custo de verem a sua continuidade comprometida.

Nesse novo cenário, as empresas são compelidas a adotar sistematicamente novas tecnologias, a fim de permanecerem competitivas. Todo modelo de avaliação deve estar baseado em premissas e requisitos que darão sustentação ao mesmo. Entendem-se requisitos como os atributos que o modelo deve possuir para atingir o objetivo a que se propõe; e premissa é definida como fato ou princípio que serve de base a um raciocínio. Na seqüência, faz-se a apresentação das mesmas.

### Objetivo

Avaliar os fatores que possibilitam atingir a máxima eficiência das turbinas para acionamento mecânico e elétrico a partir da modernização/repotenciamento do equipamento atual ou a substituição completa por uma nova turbina, de forma a disponibilizar energia adicional a atual produzida em plena carga da planta.

### **Análise da Situação Atual**

A Usina atua no ramo sucroenergético há mais de 25 anos e está posicionada entre as grandes empresas do ramo no Brasil. O parque industrial é constituído por cinco turbinas para acionamento mecânico na moenda da cana-de-açúcar instaladas entre as décadas de 80 e 90. Na operação atual, as turbinas do segundo, terceiro e quarto ternos estão subdimensionadas e as turbinas do quinto e sexto ternos são de simples estágio. Esta Usina possui três turbinas para acionamento de geradores de energia elétrica, sendo duas turbinas de contrapressão e uma turbina de condensação. Uma turbina de contrapressão tem extração para alimentar as turbinas da moenda. O preparo e primeiro terno da moenda são acionados por motores elétricos.

Com o aumento da moagem, as turbinas do segundo, terceiro e quarto ternos estão subdimensionadas e a extração da turbina de geração não tem vazão suficiente para alimentar as turbinas do preparo e da moenda. Essa situação reduz, significativamente, a eficiência energética da planta, pois está sendo necessário rebaixar vapor de alta pressão (65 kgf/cm<sup>2</sup>) para baixa pressão alta pressão (21 kgf/cm<sup>2</sup>).

Outro ponto de defasagem tecnológica está aplicado nas turbinas da moenda (quinto e sexto ternos), que são turbinas de simples estágio, resultando em um grande consumo de vapor.

A turbina de condensação foi superdimensionada devido a possibilidade de operação na entressafra, o que não está acontecendo. Devido algumas mudanças estratégicas não irá operar na entressafra no mínimo nos próximos 10 anos.

Enquanto o processo de produção e a necessidade de eficiência cresceram, tomando, então, a eficiência energética da planta um ponto fraco da usina e de necessidade urgente de melhoria.

### **Análise Estratégica**

A seguir, serão apresentadas e comentadas as possíveis opções estratégicas mostrando as suas vantagens, desvantagens, riscos e oportunidades para posterior análise econômica e tomada de decisões.

Serão apresentadas as opções para o planejamento estratégico da usina, ambas baseadas na mesma especificação de eficiência energética. Serão analisadas as possibilidades de ganhos diretos de geração de energia total da planta em função das melhorias/ou substituição que possam ser implantadas nas turbinas. Ao todo serão apresentadas três opções para o planejamento estratégico da usina.

#### **1ª Opção:**

Esta opção contempla a repotenciação das turbinas do segundo, terceiro e quarto ternos da moenda que, atualmente, estão subdimensionadas para atingir as condições plenas de fornecimento de moagem atual. E também na transformação das turbinas do quinto e sexto ternos da moenda que, atualmente, são simples estágio em múltiplos estágio para aumentar sua eficiência.

#### **Condições**

- Não alterar as instalações atuais;
- Reutilizar todos os componentes possíveis;

#### **Desvantagens**

- Manutenção de uma tecnologia construtiva da década de 80;
- Menor confiabilidade em função da reutilização de componentes, cujos ciclos de vida útil encontram-se em fase final;
- Limitação no ganho de eficiência termodinâmica do conjunto;

#### **Riscos**

- Concorrentes possuem instalações mais novas e eficientes. Possuem também acionamentos elétricos que atendem as demandas da produção, no que se refere a moagem e energia elétrica, resultando no excedente de geração e venda de energia.

#### **2ª OPÇÃO:**

Esta opção contempla evitar o rebaixamento de vapor de alta pressão (65 kgf/cm<sup>2</sup>) para as turbinas do preparo e moenda evitando o desperdício de energia através da válvula redutora de pressão. Esta redução, realizada pela turbina, produz trabalho (geração de energia).

#### **Condições**

- Evitar que o vapor de alta pressão (65 kgf/cm<sup>2</sup>) seja rebaixado através da válvula redutora de pressão para preparo e moenda.

#### **Vantagens**

- É estratégico para a empresa, pois evita desperdício;
- Traz ganho de eficiência.

#### **Oportunidades**

- Ganho de geração de energia elétrica;
- Redução do custo de manutenção;

#### **3ª OPÇÃO:**

Esta opção contempla a repotenciação da turbina de condensação que, atualmente, está superdimensionada operando em carga parcial. Assim, será redimensionado o ponto ótimo de operação em função das condições plenas da moagem atual.



**Condições**

- Não alterar as instalações atuais;
- Reutilizar todos os componentes possíveis;

**Vantagens**

- É estratégico para a empresa, pois evita desperdício;
- Traz ganho de eficiência.

**Oportunidades**

- Disponibilidade de biomassa;
- Aumento da geração de energia elétrica;

Ao analisar o projeto estratégico de crescimento da usina em questão, deve-se enfatizar que as três opções não devem ser desprezadas, entretanto, como já dito anteriormente, o objetivo desse estudo é de analisar a viabilidade técnica econômica e financeira do ganho de eficiência energética da planta.

Assim, no Capítulo 4 será analisado o ganho separado em cada opção, sendo apresentado no final o ganho total aplicando as três opções.

**Análise dos Balanços Térmicos da Usina**

Neste capítulo, serão analisados os balanços térmicos da Usina.

O estudo do balanço térmico fornece condições técnicas para a definição da melhor alternativa técnica disponível comercialmente.

Para a análise, serão adotados balanços separados para que haja ganho em eficiência energética em cada opção e, no final, apresentar o ganho com todas as opções juntas.

**1ª Opção: Repotenciação das turbinas do segundo, terceiro e quarto ternos da moenda e transformação das turbinas do quinto e sexto ternos da moenda**

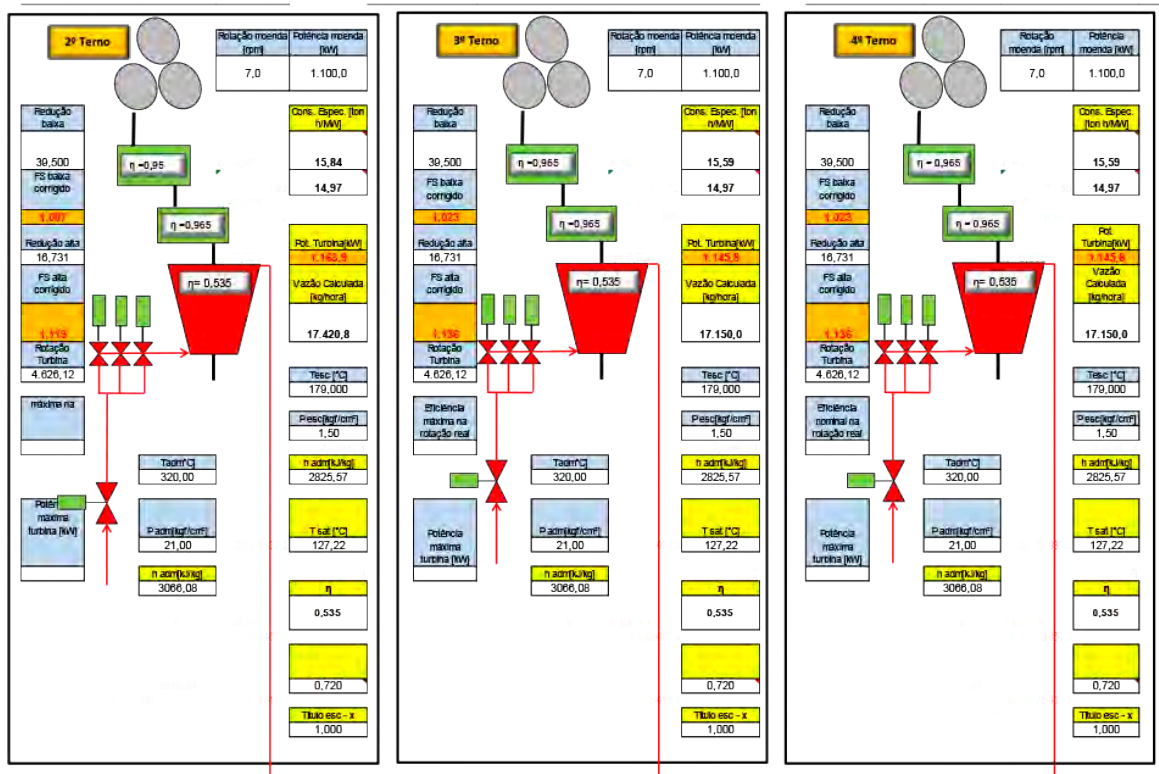
O Fluxograma 1 abaixo retrata todos os pontos de operação da planta atual. Pode-se notar que a eficiência das turbinas do segundo, terceiro e quarto ternos da moenda estão abaixo do que é possível operar. Vale ressaltar que, atualmente, as turbinas de acionamento mecânico podem chegar a eficiência acima de 60% e a operação atual da usina retrata um potencial ganho de eficiência energética da planta.

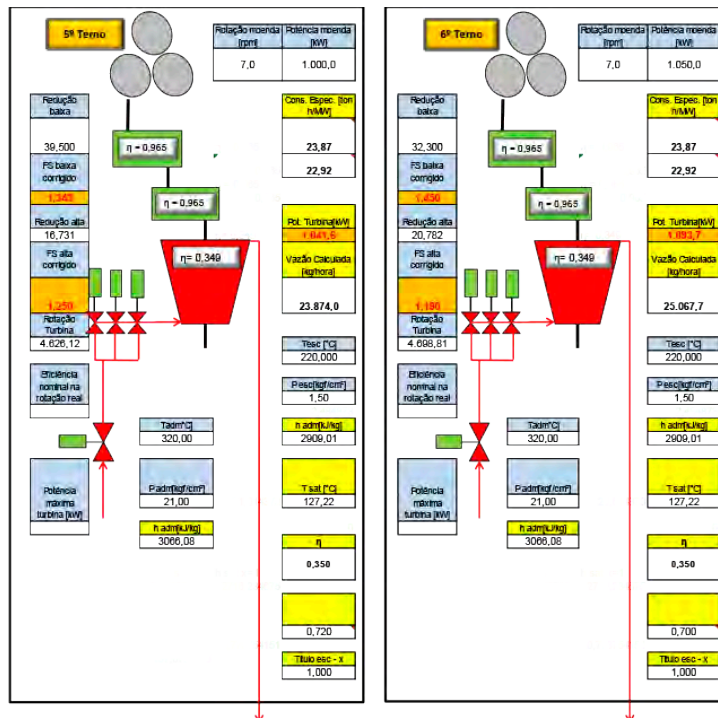
Tanto no caso da repotenciação como no caso da transformação da turbina, conseguiu-se atender o objetivo inicial que era maximizar a geração de energia elétrica da usina. Assim sendo, restou aos gestores do projeto a decisão de se repotenciar e/ou transformar as turbinas da moenda.

**Condições de operação do equipamento após repotenciação das turbinas do segundo, terceiro e quarto ternos da moenda e transformação das turbinas do quinto e sexto ternos da moenda**

**Fluxograma 1: Opção 01**

Figura 1. Fluxograma 1 diagrama da moenda operação atual.





**2ª Opção: Evitar o rebaixamento de vapor de alta pressão (65 kgf/cm<sup>2</sup>) para as turbinas do preparo e moenda**

O Fluxograma 2 abaixo retrata todos os pontos de operação da planta atual. Pode-se notar que está rebaixando 48,5 t/h de vapor de alta pressão para as turbinas do preparo e da moenda resultando em desperdício de energia.

O rebaixamento de vapor através da válvula redutora de pressão não realiza trabalho o que demonstra perda de eficiência da planta. Evitando o rebaixamento de vapor, conseguiu-se atender o objetivo inicial que era maximizar a geração de energia elétrica da usina. Assim sendo, restou aos gestores do projeto a decisão de se evitar o rebaixamento de vapor para atender a demanda das turbinas do preparo e moenda.

**Condições de operação do equipamento após evitar o rebaixamento de vapor de alta pressão**

**Fluxograma 2: Opção 02**

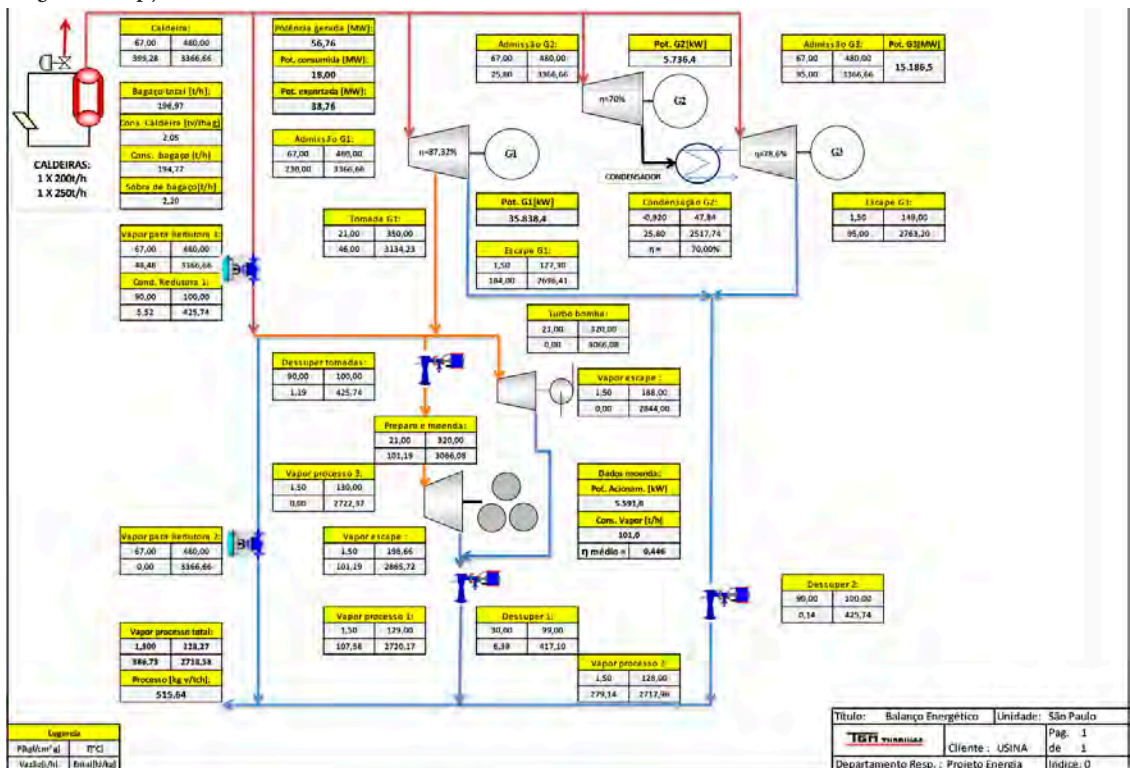


Figura 2 - Fluxograma 2 atual de operação atual.

**3ª Opção: Repotenciação da turbina de condensação**

O Fluxograma 2 abaixo retrata todos os pontos de operação da planta atual.

Pode-se notar que a eficiência da turbina de condensação está abaixo do ponto de operação ideal (fora da curva).

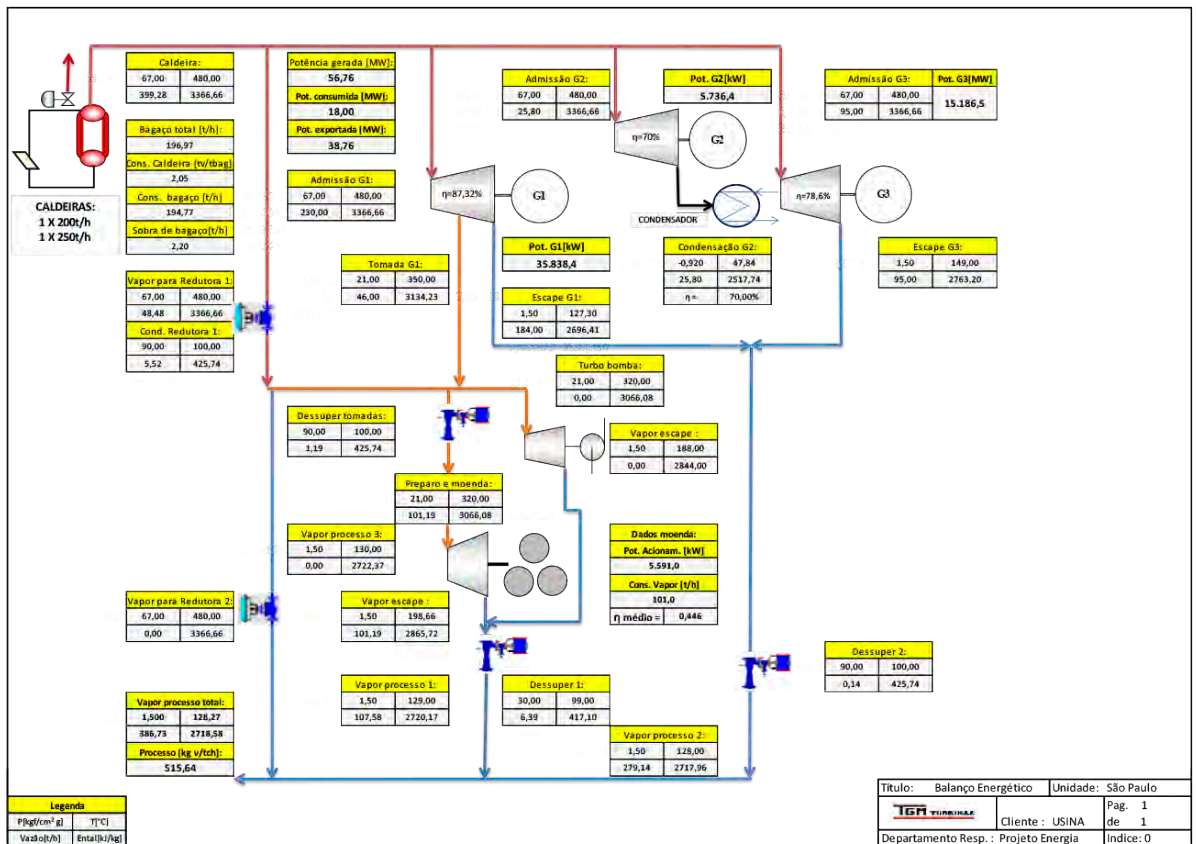
A turbina operando no ponto ótimo trabalha com seu consumo específico ideal e a operação atual da usina retrata um potencial ganho de eficiência energética da planta.

A repotenciação da turbina para operar nas condições atuais, conseguiu-se atender o objetivo inicial que era maximizar a geração de energia elétrica da usina.

Assim sendo, restou aos gestores do projeto a decisão de se repotenciar a turbina de condensação.

**Fluxograma 2: Opção 03**

**Figura 3.** Fluxograma2 atual de operação atual.



**Balanço completo com todas as opções**

Na condição de aplicar o projeto das três opções, a usina produzirá 7,1 MW de potência a mais resultando em um ganho de eficiência energética de 18%.

Como as opções, tanto individual quanto em conjunto, conseguem atender a demanda da usina, resta observar as condições do investimento necessário para a implementação do projeto.

**Comparação entre os custos das opções**

A tabela abaixo consolida os custos dos investimentos das opções apresentadas individualmente.

Tabela 1. Resumo das alternativas apresentadas

Usina - São Paulo					
Dados	Atual	Opção A	Opção B	Opção C	Opção A+B+C
Moagem	750 tch	750 tch	750 tch	750 tch	750 tch
Vapor Caldeira	400,0 t/h	400,0 t/h	400,0 t/h	400,0 t/h	400,0 t/h
Sobra de bagaço	1,8 t/h	1,8 t/h	1,8 t/h	1,8 t/h	1,8 t/h
Vapor preparo e moenda	101,0 t/h	71,0 t/h	101,0 t/h	101,0 t/h	71,0 t/h
Vapor turbogeradores CP	324,5 t/h	359,7 t/h	377,6 t/h	324,5 t/h	383,9 t/h
Vapor turbogerador CD	27,0 t/h	18,8 t/h	22,4 t/h	27,0 t/h	16,1 t/h
Vapor redutora 67 x 21 kgf/cm <sup>2</sup>	48,5 t/h	21,5 t/h	0,0 t/h	48,5 t/h	0,0 t/h
Vapor processo	386,2 t/h	386,2 t/h	386,2 t/h	386,2 t/h	386,2 t/h
Consumo vapor processo	514,9 kgv/tc	514,9 kgv/tc	514,9 kgv/tc	514,9 kgv/tc	514,9 kgv/tc
Geração de energia	56,4 MWh	60,6 MWh	58,9 MWh	57,8 MWh	63,5 MWh
Consumo de energia	18,0 MWh	18,0 MWh	18,0 MWh	18,0 MWh	18,0 MWh
Exportação de energia	38,4 MWh	42,6 MWh	40,9 MWh	39,8 MWh	45,5 MWh
Ganho de energia	-	4,2 MWh	2,5 MWh	1,4 MWh	7,1 MWh
Investimento*	-	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.600.000,00	R\$ 400.000,00	R\$ 3.000.000,00
<b>Opção A - REPOTENCIAÇÃO DAS TURBINAS DO 2º, 3º E 4º TERNOS DA MOENDA E TRANSFORMAÇÃO DAS TURBINAS DO 5º E 6º TERNOS DA MOENDA</b>					
<b>Opção B - INSERIR TOMADA DE VAPOR NO TURBOGERADOR PARA EVITAR O REBAIXAMENTO DE VAPOR DE ALTA PRESSÃO (65 KGf/CM<sup>2</sup>) PARA AS TURBINAS DO PREPARO E MOENDA</b>					
<b>Opção C - REPOTENCIAÇÃO DA TURBINA DE CONDENSAÇÃO</b>					

A (Tabela 1) acima mostra os ganhos de exportação de energia individual por opção com seus respectivos investimentos e também o ganho que se obtém fazendo todas as opções do projeto.

Pode-se observar que o investimento da Opção A é um excelente custo benefício. Já a Opção B apesar de ter uma relação custo benefício inferior as demais opções, pois foi analisada independente a opção A. Quando visto em conjunto (Opção A+B) o ganho energético é bem superior do que analisado apenas a opção B. Assim sendo, ao analisar os resultados, os gestores definiram a melhor alternativa estratégica para a Usina.

#### Resultados e Conclusões

O objetivo geral deste estudo foi o de verificar as alternativas aplicáveis em uma usina com base nas inovações tecnológicas, ganhos econômicos e financeiros no projeto de maximização de eficiência energética da planta térmica da Usina. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que cada opção tem seu ganho e, claro, que o projeto englobando todas as opções apresenta um melhor resultado.

Pode-se verificar que o investimento necessário para cada opção é variável, porém a análise deve ser feita em cima do ganho de eficiência energética da planta.

Na análise dos resultados, pode-se notar que nas condições encontradas de operação, a indústria brasileira de equipamentos novos e serviços tem tecnologia e capacidade de ofertar equipamentos nacionais eficientes e serviços com custos atrativos e competitivos aos fabricantes estrangeiros; fato este que, há 25 anos, era impossível de se cogitar. Assim sendo, pode-se concluir que a indústria nacional brasileira tem condições reais de competir com os fabricantes de equipamentos estrangeiros.

#### Referências Bibliográficas

- LORA, E.E.S.; NASCIMENTO, M.A.R., Geração Termelétrica – Planejamento, Projeto e Operação **Rio de Janeiro: Interciência**, v. 1, 2004. 631p.
- LORA, E.E.S.; NASCIMENTO, M.A.R., Geração Termelétrica – Planejamento, Projeto e Operação **Rio de Janeiro: Interciência**, v. 2, 2004.1265p.
- BLOCH, H.P. A Pratical Guide To Steam Turbine Technology, **New York: McGraw-Hill**, 1995. 348p.

## USO DO EUCALIPTO NA ENTRESSAFRA DO SETOR SUCROENERGÉTICO

\*A. Bobroff-Maluf

\*EEP - FUMEP, Piracicaba - SP

*bobroff@merconet.com.br*

### Resumo

O eucalipto (euc) tem importância na matriz energética nacional como mitigador dos gases do efeito estufa (GEE). Contudo, outros biocombustíveis, como o capim elefante, o sorgo sacarino etc. também podem ser usados. O objetivo deste trabalho é valorizar o uso do eucalipto na entressafra para a geração de bioeletricidade. Apresenta-se uma metodologia que objetiva analisar a viabilidade técnico-econômica da produção da bioeletricidade para exportação. São feitos balanços de massa e energia, usando o simulador *Cycle-Tempo*. É elaborada a folha de balanço energético para fornecer a energia elétrica consumida e a exportada pela planta. O fluxo de caixa indica a viabilidade econômica ou não da planta, e o estudo da sensibilidade mostra a variação do custo da bioeletricidade produzida, devido às incertezas. Como resultado obteve-se uma energia elétrica excedente de 535,13 kWh/t<sub>euc</sub>, por um período de 3 meses (2.160 h). Supondo o custo do eucalipto de R\$ 70,00/t, o custo da bioeletricidade é de R\$ 160,09/MWh. Na entressafra, o eucalipto é uma alternativa para exportação da bioeletricidade excedente.

**Palavras-chave:** Entressafra, Eucalipto, Bioeletricidade Excedente.

### Summary

The eucalyptus (euc) has importance in the national energetic matrix as mitigator of the green house gases (GHH). However, others biofuels, as elephant grass, sugar sorghum etc. also can be used. The purpose of this paper is to value the use of eucalyptus in the offseason to generate bioelectricity. A methodology is shown analysing the technic-economic viability of the production of the bioelectricity for exportation. Mass and energy balance are done, using the software *Cycle-Tempo*. It is done an energetic balance sheet to give the consumed electric energy and the exported energy by the plant. The cash flux indicates the economic viability or not of the plant, the study of the sensibility shows the variation of the produced bioelectricity cost, due to the uncertainties. It was obtained as a result a surplus electric energy of 535,13 kWh/t<sub>euc</sub>, for a 3 months period (2.160 h). Suposing an eucalyptus cost of R\$ 70,00/t, the bioelectricity cost is R\$ 160,09/MWh. In the offseason, the eucalyptus is an alternative for exportation of the surplus bioelectricity.

**Keywords:** Offseason, Eucalyptus, Surplus Bioelectricity.

### Introdução

O encontro dos países do G7 em junho/2015 fixou a meta de eliminação total dos combustíveis fósseis até 2100; até 2050 a redução de 40% a 70% nas emissões dos GEE comparado a 2010.

A entressafra é um período de aproximadamente 3 meses e 1 mês para manutenção. Normalmente os equipamentos que geram energia elétrica ficam inativos; é uma oportunidade de ativá-los, aumentando o faturamento do setor.

Entretanto, outros biocombustíveis poderiam ser usados, como o capim elefante, o sorgo sacarino, a palha de milho etc. O uso do eucalipto não é problemático, considerando a composição química, a umidade e o poder calorífico inferior (valores próximos) em comparação com o bagaço (VALE E SABLÓWSKI, 2006).

O eucalipto é encontrado na área agrícola e não requer modificações na caldeira para a sua queima.

### Metodologia

#### Simulador *Cycle-Tempo*

Desenvolvido pela Universidade de Delft (Holanda), o simulador *Cycle-Tempo* faz balanço de massa e energia da planta. Os parâmetros utilizados são: pressão e temperatura do vapor vivo, PCI (poder calorífico inferior) do eucalipto, fluxo do biocombustível, eficiência da caldeira, eficiências mecânicas do gerador elétrico, da turbina a vapor e das bombas hidráulicas, pressão de saída e de extração da turbina a vapor, temperatura de resfriamento da água do condensador, pressão no desaerador, pressão de entrada e saída nas bombas hidráulicas. O rendimento isentrópico da turbina a vapor é calculado pelo simulador, com base no método adotado pela empresa GE dos EUA; o dado, no entanto, também poderá ser fornecido pelo usuário. No final são fornecidas a potência nos bornes do gerador elétrico e as principais eficiências da planta (Figura 1).

A análise energética da planta é feita conforme as seguintes equações em regime permanente (PELLEGRINI *et al.*, 2005 e BORGNAKKE & SONNTAG, 2010) apud (BOBROFF-MALUF & SÁNCHEZ, 2015). As equações 1 e 2 referem-se ao balanço de massa e de energia, respectivamente, enquanto a equação 3 descreve a eficiência energética da planta:

$$\Sigma \dot{m}_{(entrada)} = \Sigma \dot{m}_{(saida)} \quad (1)$$

$$\Sigma \dot{m} \times h_{(entrada)} + \dot{Q}_{VC} = \dot{W}_{VC} + \Sigma \dot{m} \times h_{(saida)} \quad (2)$$

$$\eta = (\dot{W}_{liq} + \dot{Q}_{proc}) / \dot{m}_{comb} \times PCI \quad (3)$$

nas quais:

- $\dot{m}$  fluxo de massa [kg/s]
- $h$  entalpia do vapor [kJ/kg]
- $\dot{Q}$  fluxo de calor [kW]
- $\dot{W}$  potência [kW]
- vc volume de controle
- $\eta$  eficiência energética da cogeração
- $\dot{W}_{liq}$  potência liq. na turb. a vapor [kW]
- $\dot{Q}_{proc}$  fluxo de calor no processo [kW]
- $\dot{m}_{comb}$  fluxo de massa do comb. [kg/s]
- PCI poder calorífico inferior [kJ/kg]

**Folha de balanço energético (FBE)**

Foi elaborada a FBE tomando como base o método de LAU *et al.*(2005). A principal finalidade da FBE é fornecer a quantidade de energia elétrica consumida e a quantidade exportada (excedente) pela unidade termoeletrica (UTE). **Fluxo de caixa**

Elaborou-se um fluxo de caixa para a entressafra. O único investimento foi a compra do picador de eucalipto.

**Estudo da sensibilidade**

Devido às incertezas quanto ao custo específico da eletricidade (CEE), realizou-se o estudo da sensibilidade. O eixo da ordenada representa o CEE e, no eixo da abscissa, tem-se a variação dos parâmetros (custos) analisados, sendo a variação na faixa de -20% a +20%. Tais parâmetros são: operação e manutenção (O & M), impostos, custo do eucalipto e do picador de eucalipto (Figura 2)

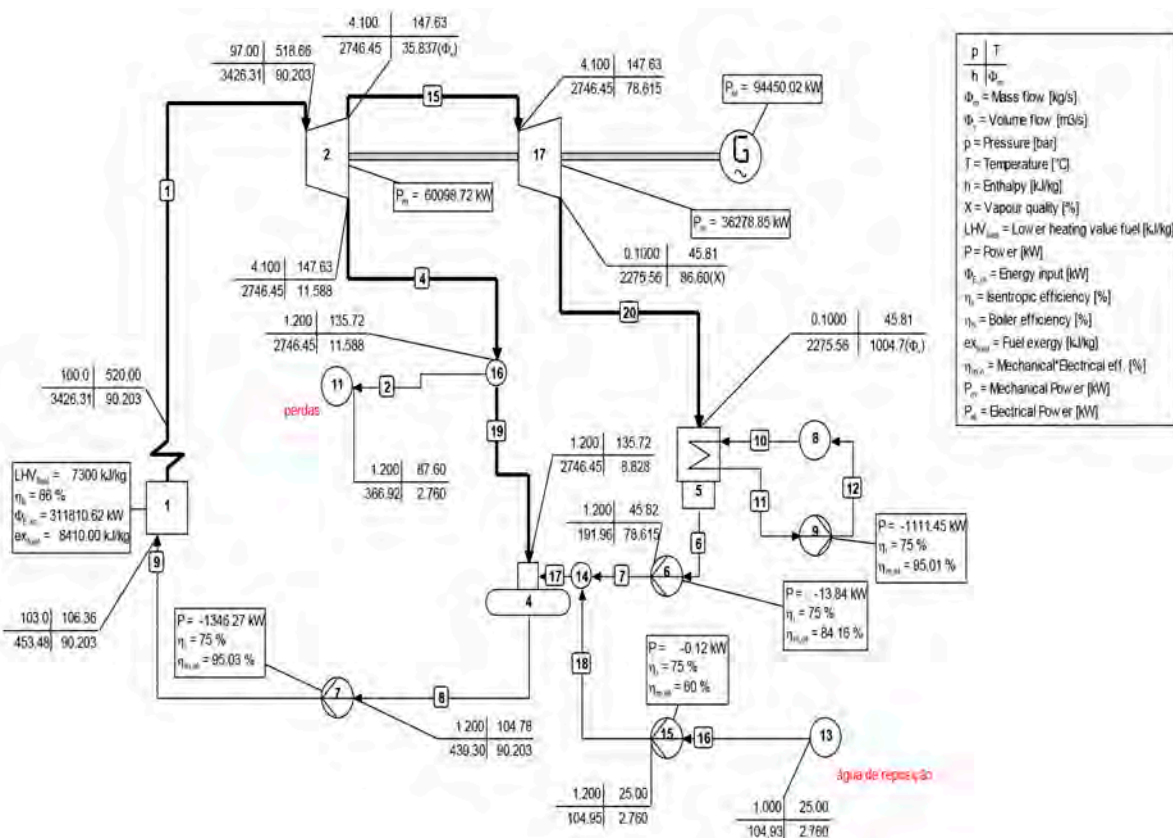
**Resultados e discussão**

O estudo de caso apresenta uma situação real para a produção de bioeletricidade na entressafra. Os equipamentos foram adquiridos para uma moagem de 3 milhões de toneladas de cana (tc)/safra. Além do bagaço queimado, utilizou-se 50% da palha produzida no campo e o biogás da vinhaça nas caldeiras.

A mesma turbina a vapor é utilizada na safra e na entressafra, para isso é necessário manter o fluxo volumétrico de vapor na condensação (SCHEGLIÁIEV, 1985).

A (Figura 1) mostra o fluxograma para o estudo de caso, com o simulador *Cycle-Tempo*. Tal figura mostra os equipamentos que são utilizados nas usinas de açúcar e destilarias de etanol e são descritos a seguir.

**Figura 1.** Fluxograma para o estudo de caso - entressafra, caldeira alimentada com eucalipto.



Fluxo = 153,77 t euc/h

Eeee = 535, 13 kWh/t euc

Eee = 177, 738,6 MWh

Período: 3 meses (2.160h)

Consumo total de eucalipto= 332.143,2t

Mesma caldeira e mesma turbina serão utilizadas na entressafra

Fluxo volumétrico de vapor para condensação (35,837 m<sup>3</sup>/s) será mantido

Não haverá vapor consumido no processo, os demais equipamentos permanecem

1: caldeira,

2: turbina a vapor, lado da contra-pressão,

4: desaerador,

5: condensador,

6: bomba do condensado,

7: bomba d'água da caldeira,

8: fonte d'água para o condensador,

9: bomba d'água do condensador,

11: perdas do condensado,

13: fonte d'água de reposição,

14: distribuidor de condensado e água de reposição para o desaerador,

15: bomba d'água de reposição,

16: distribuidor de vapor para o desaerador,

17: turbina a vapor, lado da condensação,

G: gerador elétrico.

A (Figura 1) também mostra as seguintes tubulações: vapor (1,4,15,19 e 20), condensado (2,6,7,8,9 e 17) e água (10,11,12,16 e 18).

Nomenclatura utilizada no fluxograma:  $\Phi_m$  = fluxo de massa [kg/s],  $\Phi_v$  = fluxo volumétrico [m<sup>3</sup>/s], p= pressão [bar], T= temperatura [°C], h= entalpia [kJ/kg], X= título do vapor [%],  $LHV_{fuel}$  = poder calorífico inferior (PCI) do combustível [kJ/kg], P= potência [kW],  $\Phi_{e,in}$  = entrada de energia [kW],  $\eta_i$  = eficiência isentrópica [%],  $\eta_b$  = eficiência da caldeira [%],  $ex_{fuel}$  = exergia do combustível [kJ/kg],  $\eta_{m,e}$  = eficiência mecânica-elétrica [%],  $P_m$  = potência mecânica [kW],  $P_{el}$  = potência elétrica [kW].

Dois cenários para os biocombustíveis foram estudados: o uso ou do eucalipto ou do bagaço e palha armazenados. Os cenários estudados mostraram que o eucalipto apresenta a melhor viabilidade econômica (BOBROFF-MALUF, 2014).

Além disso, o armazenamento de grandes quantidades de bagaço, pode ser problemático, dado que esse material pode entrar em fermentação anaeróbica e, conseqüentemente, se auto-incinerar (PELLEGRINI, 2009 e NSAFUL *et al.*, 2013) apud (BOBROFF-MALUF, 2014).

Com o uso do eucalipto na entressafra, a mesma caldeira e a mesma turbina serão utilizadas. Não haverá vapor consumido no processo e os demais equipamentos permanecem. Obteve-se os seguintes dados da (Figura 1) na (Tabela 1). A (Tabela 2) mostra a FBE para o eucalipto e a (Tabela 3) mostra o fluxo de caixa para o eucalipto.

**Tabela 1.** Dados com o uso do eucalipto na entressafra

Designação	Equipamento	Observações	Valores
Fluxo de energia (Pa)	Caldeira (1)		311.810 kW
Potência bruta (Pb)	Gerador (G)		94.450 kW
Potência consumida (P6)	Bomba (6)		13,84 kW
Idem (P7)	Bomba (7)		1.346 kW
Idem (P9)	Bomba (9)		1.111 kW
Idem (P15)	Bomba (15)		0,12 kW
Potência consumida total (Pct)		P6+P7+P9+P15	2.471 kW
Potência líquida entregue (Pl)		Pb-Pct	91.979 kW
Eficiência elétrica bruta		(Pb/Pa) x 100	30,29%
Eficiência elétrica líquida		(Pl/Pa) x 100	29,50%
Eficiência isentrópica da turbina/extração	Turbina 2		87,77%
Eficiência isentrópica da turbina/condensação	Turbina 17		84,17%
Comparando o fluxo de vapor desta caldeira com o fluxo de vapor da mesma caldeira na safra, tem-se um valor de 60,9%. Segundo Marino, 2014, a eficiência da caldeira deve ser considerada a mesma, ou seja, 86%.			

Tabela 2. FBE para o eucalipto (euc)

Designação	Unidade	Observações	Valores
Tempo de entressafra (ts)	h	3 meses no ano	2.160
Pressão do vapor vivo	bar	Saída da caldeira	100
Temperatura	°C	Saída da caldeira	520
PCI <sub>euc</sub>	kJ/kg	(Vale e Sablowski, 2006)	7.300
Fluxo de eucalipto ( $\dot{m}_{euc}$ )	t <sub>euc</sub> /h	(3,6 x Pa)/PCI	153,77
Consumo de eucalipto (c <sub>euc</sub> )	t <sub>euc</sub>	153,77 x 2.160	332.143
Umidade do eucalipto	%		50
Eficiência da caldeira	%		86
Fluxo do vapor prod. (m)	kg <sub>v</sub> /s		90,2
Relação vapor/eucalipto	kg <sub>vapor</sub> /kg <sub>euc</sub>		2,11
Turbina a vapor		Lado da contra-pressão	
Fluxo de vapor na entrada	kg <sub>v</sub> /s		90,2
Pressão de vapor entrada	bar		97,0
Temp. vapor entrada	°C		518,7
Pressão vapor saída	bar		4,10
Temp. vapor saída	°C		147,63
Entalpia de entrada (he)	kJ/kg		3.426
Entalpia de saída (hs)	kJ/kg		2.746
Eficiência termodinâmica	%		87,77
Eficiência mecânica (em)	%		98,00
Consumo esp. de vapor	kg/kWh	3600/(he-hs)	5,3
Potência	kW	(m x (he-hs) x em)/100	60.098
Turbina a vapor		Lado da condensação	
Fluxo vapor turbina ( $\dot{m}_{co}$ )	kg <sub>v</sub> /s		78,62
Pressão da condensação	bar		0,10
Temp. vapor condensação	°C		45,81
Entalpia na cond. (hc)	kJ/kg		2.275
Eficiência termodinâmica	%		84,17
Eficiência mecânica (em)	%		98,00
Título vapor na cond.	%		86,60
Cons. esp. vapor turbina	kg/kWh	3600/(hs-hc)	7,65
Potência	kW	( $\dot{m}_{co}$ x (hs-hc) x em)/100	36.278
Potência líquida (Pl)	kW	Ver tabela 1	91.979
Cons. esp. vapor global	kg/kWh	(m x 3600)/Pl	3,53
Energia esp. cons. na UTE (Eeu)	kWh/t <sub>v</sub>	15 a 27 (Lau et al., 2005)	27,00
Pot. cons. na UTE (Pu)	kW	3,6 x m x Eeu	8.767
Energia esp. no picador euc	kWh/t <sub>euc</sub>	ZL Equipamentos, 2009	6,0
Pot. cons. no picador euc (Peuc)	kW	6,0 x $\dot{m}_{euc}$	924,16
Potência cons. total (Pc)	kW	Pu + Peuc	9.691,2
Energia elétr. esp. cons. (Eeec)	kWh/t <sub>euc</sub>	Pc/ $\dot{m}_{euc}$	63,02
Potência excedente (Pe)	kW	Pl-Pc	82.287,8
Energia elétr. esp. excedente (Eeee)	kWh/t <sub>euc</sub>	Pe/ $\dot{m}_{euc}$	535,14
Energia elétr. excedente (Eee)	MWh	(Pe x ts)/1000	177.741
% da potência consumida em relação a total produzida	%	Eeec x 100/(Eeec+Eeee)	10,54

Tabela 3. Fluxo de caixa para o eucalipto (euc)

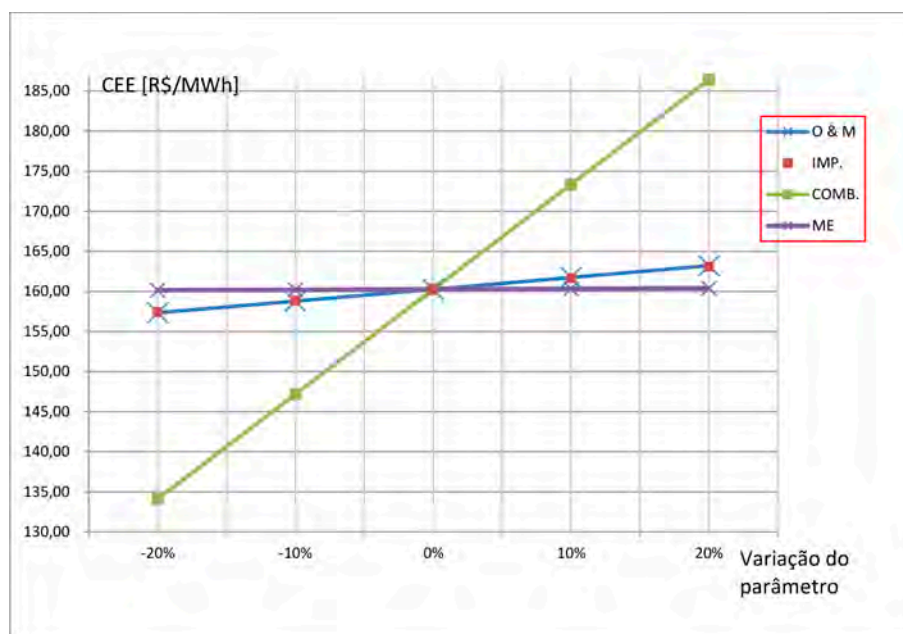
Designação	Unidade	Observações	Valores
Preço de venda da energia (pv)	RS/MWh	Valor médio de mercado	201,88
Energia elétrica excedente (Eee)	MWh	Ver Tabela 2	177.741
Receita anual gerada (rag)	RS	pv x Eee	35.882.353,00
Custo esp. de O & M (ceo)	RS/MWh	Dedini, 2015	14,70
Custo de O & M (com)	RS	ceo x Eee	2.612.792,00
Custo esp. do eucalipto (cee)	RS/t	Valor médio de mercado	70,00
Custo do eucalipto (ce)	RS	c <sub>euc</sub> (tab. 2) x cee	23.250.010,00
Custo da máquina para picar o eucalipto	RS	Informação do fabricante Lippel, 2016	1.154.000,00
Valor do custo anual da máquina (me)	RS	Depreciação linear em 10 anos, sem valor residual	115.400,00
Lucro bruto (lb)	RS	rag - com - ce - me	9.904.151,00
Imposto (imp)	RS	0,25 x lb	2.476.037,00
Lucro líquido	RS	lb-imp	7.428.114,00
Custo esp. da eletricidade (CEE)	RS/MWh	(com+imp+ce+me)/Eee	160,09 (valor de referência)

A (Figura 2) mostra o estudo da sensibilidade para o CEE do eucalipto (entressafra). Nesta figura, o eixo da ordenada representa o CEE [RS/MWh] e o eixo da abscissa representa a variação de cada um dos parâmetros utilizados no cálculo do CEE, para o eucalipto, sendo que o valor de referência é de 0% na variação do parâmetro. O custo do eucalipto (COMB) foi o que mais influenciou o CEE e os custos dos impostos (IMP), O & M e a máquina do eucalipto (ME) tiveram pouca influência.



Simulações realizadas (BOBROFF-MALUF, 2014), mostraram que é preferível consumir o bagaço, a palha e o biogás da vinhaça durante a safra, e não dividi-los entre a safra e a entressafra. O acréscimo de energia produzida foi de 8.157 MWh.

Figura 2. Estudo da sensibilidade para O CEE (Entressafra)



### Conclusões

No período da entressafra, chegou-se à conclusão, quanto à utilização dos equipamentos ociosos de geração de energia elétrica, que o biocombustível sugerido é o eucalipto, quando comparado com o bagaço e a palha. A energia elétrica específica excedente é de 535,14 kWh/t<sub>cuca</sub>; este parâmetro representa 89,46% da energia produzida na entressafra. O custo específico da eletricidade produzida pelo eucalipto é de R\$ 160,09/MWh (considerando o custo do eucalipto de R\$ 70,00/t). Isto representa um lucro líquido de R\$ 7.428.114,00 (supondo um valor médio de venda a R\$ 201,88/MWh). O bagaço produzido na indústria e 50% da palha produzida no campo, devem ser consumidos durante a safra, juntamente com o biogás da vinhaça.

### Referências bibliográficas

- BOBROFF-MALUF, A. Avaliação termoeconômica da cogeração no setor sucroenergético com o emprego de bagaço, palha, biogás de vinhaça concentrada e geração na entressafra. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, UNICAMP, 2014.
- BOBROFF-MALUF, A. e SÁNCHEZ, C.G. Avaliação termoeconômica da cogeração e da geração no setor sucroenergético. Revista Ciência e Tecnologia, v. 18, n.33, p. 37-47, jul./dez. 2015.
- BORGNACKE, C., e SONNTAG, R.E. **Fundamentos da termodinâmica**, 7ª. Ed. traduzida, Série Van Wylen, Universidade de Michigan, 2010.
- DEDINI – Indústrias de Base, 2015
- LAU, A.F., CHANG, K.W., GUNNESS, D. An integral approach to evaluate the performance of bagasse cogeneration plants. **International Sugar Journal**, v. 107, p. 435-440, 2005.
- MARINO, E. Desempenho de caldeiras com palha de cana de açúcar. Seminário STAB-FENASUCRO Agroindustrial, 2014.
- NSAFUL, F., GÖRGENS, J.F., KNOETZE, J.H. Comparisons of combustion and pyrolysis for energy generation in a sugarcane mill. **Energy Conversation and Management**, v. 74, p. 524-534, 2013.
- PELLEGRINI, L.F., COSTA, R.P., OLIVEIRA JR, S. A atribuição de custos em sistemas energéticos: a termoeconomia como base de cálculo. **XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2005.
- PELLEGRINI, L.F. Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade. Tese de Doutorado, EPUSP, 2009.
- SCHEGLIÁIEV, A.V. **Turbinas de vapor**, parte 2, Editora Mir, Moscou, 1985.
- VALE, A.T. e SABLÓWSKI, A.R.M. Fluxo de energia e de massa na análise de eficiência da linha de produção de uma serraria de pequeno porte. UFSM, **Ciência Florestal**, v.16, n.2, 2006.
- ZL EQUIPAMENTOS. Cálculo da potência específica para o picador de eucalipto, 2009.
- LIPPEL. **Custo da máquina para picar o eucalipto**, 2016

## INOVAÇÃO BIOLÓGICA E A EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA CANA DE AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

Raquel Castellucci Caruso Sachs <sup>1</sup>; Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho <sup>2</sup>

<sup>1</sup>APTA, Piracicaba - SP

<sup>2</sup>ESALQ/USP, Piracicaba -SP

*raquelsachs@apta.sp.gov.br*

### Resumo

Esse estudo teve como objetivo analisar a contribuição das inovações biológicas, consideradas como a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar, para a produtividade agrícola dessa cultura no estado de São Paulo para os anos de 1998 a 2009 devido à disponibilidade de dados. Para atingir o objetivo proposto foi construído um índice de novidade varietal para medir o ritmo de adoção de novas variedades de cana-de-açúcar tendo como base o censo varietal do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). A metodologia empregada foi a de Efeitos Fixos com seis regiões para o estado de São Paulo. Os resultados indicaram que as variáveis mais importantes para explicar a produtividade da cana-de-açúcar foram as variáveis produtividade atingível e o estágio médio de corte, seguido pelo preço da cana-de-açúcar. Em relação à contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana, os resultados indicaram que a introdução de novas variedades não contribuiu significativamente para o aumento da produtividade dessa cultura no estado de São Paulo no período analisado. O ritmo de adoção de novas variedades durante esse período foi baixo, pois a maior parte da área cultivada com cana-de-açúcar no estado de São Paulo ainda são ocupadas com variedades desenvolvidas na década de 1980.

**Palavras-chave:** Cana-de-açúcar; Produtividade; Variedades de cana-de-açúcar.

### Summary

This study aimed to analyze the contributions of new varieties of sugarcane to the agricultural productivity in the state of São Paulo during recent years, specifically for the period between 1998 and 2009. To achieve this objective, the varietal newness index was used to measure the pace of adoption of new varieties of sugarcane, and this index was based on the varietal census data of the Sugarcane Technology Center. The fixed effects models was used for six regions in the state of São Paulo. Results indicated that the most important variables to explain the productivity of sugarcane in these regions were the attainable productivity and the average cutting stage, followed by the price of sugarcane. The results also indicated that the introduction of new varieties did not contribute significantly to the increased productivity of sugarcane in the state of São Paulo during this period, suggesting no impact of innovative biological contributions to sugarcane productivity. The varietal newness suggested that the pace of adoption of new varieties during this period was low. Most areas cultivated with sugarcane in these regions were occupied by sugarcane developed in the 1980s.

**Keywords:** *Sugarcane; Productivity; Sugarcane varieties.*

### Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (FAO, 2015). A área colhida com cana-de-açúcar no ano safra 2015/16 foi de 8,6 milhões de hectares (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2016). A produção nacional foi de aproximadamente 666,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 33,8 milhões de toneladas de açúcar e 30 bilhões de litros de etanol (União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA, 2016). Dentre os estados produtores da cultura no Brasil destaca-se o estado de São Paulo, com aproximadamente 55% da produção brasileira.

São Paulo destaca-se também por ter a produtividade média de cana-de-açúcar mais elevada dentre os estados brasileiros, com 80,8 toneladas por hectare em 2013, contra 75,2 t/ha da média nacional. Esta produtividade, contudo, tem se elevado no estado de forma menos acentuada do que no resto do Brasil. De fato, embora seja a principal cultura do estado de São Paulo verifica-se que a taxa de crescimento da cana de açúcar foi inferior, no período 1990 a 2013, do que as observadas nas culturas do milho, da soja e da laranja, as culturas respectivamente mais importantes em termos de área cultivada no estado depois da cana de açúcar.

Este fenômeno, já discutido por autores como Silva (2011), DEMATTÊ (2012), CARVALHO E FURTADO (2014) e NIKO *et al* (2013), é particularmente notável quando se considera que o ritmo de lançamento de novas variedades de cana-de-açúcar foi intenso no período analisado. Apenas o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) liberou comercialmente, no período, aproximadamente 67 novas variedades de cana. Estas novas variedades cobrem uma ampla gama de características, introduzindo inovações importantes em termos de resistência a pragas e doenças, características culturais desejáveis, adaptação a colheita mecanizada e adaptações a características locais das regiões paulistas.

A avaliação da influência destas novas variedades na produtividade em termos agregados, contudo, é dificultada pela interação das diversas variáveis que podem afetar a mesma, em particular as condições climáticas, mas também as condições dos mercados de fatores e de produto. Desta forma, este artigo tem o objetivo de analisar o papel desempenhado pelas inovações biológicas na cultura da cana-de-açúcar sobre a produtividade da mesma no estado de São Paulo, através de uma abordagem quantitativa que permita isolar os efeitos acima mencionados. O estado de São Paulo foi escolhido para a análise tanto pela sua importância no cenário produtivo nacional quanto pela disponibilidade dos dados necessários para este estudo.

### Metodologia

A metodologia econométrica utilizada nesse estudo foi a de dados em painel, o qual consiste na combinação de n entidades (famílias, indivíduos, firmas, países, estados, regiões etc) para dois ou mais períodos de tempo sendo, portanto, uma combinação entre dados de corte

transversal (*cross-section*) e de séries temporais permitindo o controle da heterogeneidade presente nos indivíduos. Neste estudo será estimado um modelo de efeitos fixos (EF) para captar a contribuição das inovações biológicas, consideradas como a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar, para o rendimento agrícola dessa cultura. O modelo estimado considera a seguinte especificação:

$$\ln Y_{i,t} = C + \beta_1 \ln PT_{i,t-1} + \beta_2 \ln PMO_{i,t-1} + \beta_3 \ln PC_{i,t-1} + \beta_4 \ln PA_{i,t} + \beta_5 \ln EMC_{i,t} + \beta_6 \ln INV_{i,t} + \alpha_i + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

Em que o subscrito *i* se refere a região do estado de São Paulo, e assume os seguintes valores

*i* = 1, 2, 3, 4, 5, e 6. Por sua vez, *t* é o ano e o período de análise compreende *t* = 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009. Onde:

$\ln Y_{i,t}$  = logaritmo da variável produtividade da cana-de-açúcar no período *t* (em Kg de ATR/ha);

*C* = constante;

$\ln PT_{i,t-1}$  = logaritmo da variável preço da terra no período *t-1*;

$\ln PMO_{i,t-1}$  = logaritmo da variável preço da mão-de-obra no período *t-1*;

$\ln PC_{i,t-1}$  = logaritmo da variável preço da cana-de-açúcar no período *t-1*;

$\ln PA_{i,t}$  = logaritmo da variável produtividade atingível da cana-de-açúcar (utilizada como proxy de fatores climáticos) no período *t*;

$EMC_{i,t}$  = variável estágio médio de corte (em anos) da cana-de-açúcar no período *t*;

$INV_{i,t}$  = Índice de Novidade Varietal no ano *t* que considera a participação percentual de novas variedades de cana-de-açúcar cultivadas no ano *t* que não eram cultivadas ou eram menos cultivadas nos anos anteriores ( $t^{-1}, t^{-2}, t^{-3}, \dots, t-n$ , onde *n*=número de anos);

$\alpha_i$  = representa os efeitos fixos e,

$\varepsilon_{i,t}$  = o erro aleatório, com média zero, variância constante e não autocorrelacionado no período *t*.

O período de análise compreendeu os anos de 1998 a 2009 por limitação dos dados, pois a série de preços da cana-de-açúcar para as seis regiões em estudo só foi possível ser obtida a partir de 1998 e a série de produtividade atingível (*proxy* para fatores climáticos) só foi disponibilizada até o ano de 2009. As seis regiões em estudo são: Araçatuba, Assis, Piracicaba, Ribeirão Preto, São Carlos e São José do Rio Preto.

#### As fontes de dados e variáveis empregadas

As variáveis preço da terra (em R\$/ha) e preço da mão-de-obra (em R\$/mês) são provenientes dos levantamentos por municípios do estado de São Paulo realizado pelo IEA e CATI. Essas informações foram agregadas para as regiões em estudo e deflacionadas pelo IGP-DI obtido da base de dados do IPEA e trazido para valores reais de dezembro de 2013.

Para analisar o efeito do clima sobre a produtividade da cana-de-açúcar seria necessário utilizar as variáveis temperatura e precipitação pluviométrica em diferentes períodos de tempo, pois a cultura da cana-de-açúcar necessita de um período quente e úmido seguido de um período seco e com temperaturas mais baixas para se desenvolver plenamente, portanto uma média anual seria de difícil interpretação. Dessa forma, optou-se por utilizar como proxy da variável de fatores climáticos (precipitação, temperatura e outras variáveis climáticas) a variável produtividade atingível (em kg de ATR/ha).

Essa variável é modelada por um sistema denominado "Sistema de Suporte à Decisão e Transferência de Agrotecnologia" – DSSAT (do inglês Decision Support System Agrotechnology Transfer)/CANEGRO. Esse sistema leva em consideração, a temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação pluviométrica, radiação solar e tipo de solo. Dessa forma, essa variável indica qual a produtividade possível de ser atingida considerando essas condições edafoclimáticas no decorrer do ciclo produtivo da cana-de-açúcar.

Para captar a contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar, dado o grande número de variedades cultivadas, foi construída a variável Índice de Novidade Varietal (INV), conforme descrito em Brenan (1984), com as informações contidas no Censo Varietal do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC. Esse índice mede a relativa novidade das variedades cultivadas, estimando a proporção da área total cultivada com cana-de-açúcar cultivada com variedades de cana no ano *t* que não eram cultivadas ou eram pouco cultivadas em períodos anteriores. O Índice de Novidade Varietal para o período de 1998 a 2009 foi calculado para o estado de São Paulo e para as regiões em estudo da seguinte forma:

$$z_n = p_{i,t} - p_{i,t-1} - 2p_{i,t-2} - 3p_{i,t-3} - \dots \quad (2)$$

Onde:

$p_{i,t}$  = porcentagem do total de área cultivada com a variedade *i* no ano *t*, *t*=1998, 1999, ..., 2009.

Fazendo

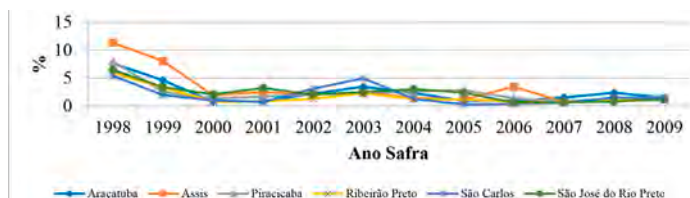
$$\begin{cases} x_{i,t} = z_{i,t} & \text{se } z_{i,t} \geq 0, e \\ x_{i,t} = 0 & \text{se } z_{i,t} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Então  $It = \sum x_{i,t}$

Onde *It* é o valor do Índice de Novidade Varietal no ano *t*.

O índice de novidade varietal está apresentado na (Figura 1)

**Figura 1.** Índice de Novidade Varietal para as regiões do estado de São Paulo, 1998-2009



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do CTC (2013)

A variável produtividade agrícola em cada região foi elaborada com base em informações adicionais, utilizando-se informações provenientes do Instituto de Economia Agrícola (IEA) e Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro Sul do Brasil - ORPLANA. Desta forma, considerando-se que os programas de melhoramento genético têm como objetivo, além de obter variedades de cana-de-açúcar mais produtivas em termos de toneladas por hectare, maior teor de açúcar por tonelada de cana, os dados de produção física de cana-de-açúcar por hectare foram transformados em quilogramas de Açúcar Total Recuperável (ATR) por hectare de cana (kg de ATR/ha).

Portanto, com base nos municípios que compunham as 6 regiões em estudo, foram obtidos os dados de área para corte (em hectares) e produção (em toneladas) por município divulgados pelo IEA, sendo possível obter a produtividade média da cana-de-açúcar em t/ha para cada uma das regiões. Posteriormente, foram obtidas junto à ORPLANA, as quantidades médias de quilogramas de ATR por tonelada de cana-de-açúcar produzidas pelos fornecedores de cana pertencentes às Associações dos Fornecedores de Cana-de-Açúcar presentes em cada uma das seis regiões do estado de São Paulo. Assim, para cada região em estudo, a qualidade da matéria-prima (em kg de ATR/t de cana) foi obtida através de informações das associações de produtores localizadas nas respectivas regiões. A produtividade da cana-de-açúcar em kg de ATR/ha foi obtida multiplicando-se a produtividade média em t/ha pela quantidade de ATR por tonelada de cana (kg de ATR/t de cana). A variável preço da cana-de-açúcar foi construída da mesma forma que a variável INV, considerando a qualidade da matéria-prima (kg de ATR/t de cana) para cada uma das 6 regiões disponibilizada pela ORPLANA e o preço médio da cana-de-açúcar (R\$/kg de ATR) fornecido pelo CONSECANA.

A variável EMC foi calculada com base no censo varietal do CTC e fórmula fornecida pelo CTC.

### Resultados e Discussão

Os resultados da estimação do modelo de Efeitos Fixos estão apresentadas na (Tabela 1). O poder explicativo do modelo ficou em torno de 76%. A variável que exerceu o maior impacto sobre a produtividade foi a variável produtividade atingível, utilizada como proxy dos fatores climáticos. O valor do coeficiente estimado dessa variável no modelo de efeitos fixos foi de 0,2450 significando que um aumento de 10% na produtividade atingível causa um aumento de 24,50% sobre a produtividade da cana-de-açúcar. O segundo mais alto coeficiente estimado foi o da variável estágio médio de corte, cujo valor do parâmetro foi de -0,0691, significando que o aumento de uma unidade adicional na variável EMC, a mudança porcentual sobre a produtividade agrícola será um decréscimo de 6,68%. A variável preço da cana-de-açúcar possui uma relação positiva e estatisticamente significativa sobre a produtividade da cana-de-açúcar. O coeficiente estimado para essa variável indicou que um aumento de 10% no preço da cana-de-açúcar proporciona um aumento de 6,47% na produtividade da cana-de-açúcar no próximo período. Portanto, quando os preços recebidos pelos produtores de cana-de-açúcar aumentam, provavelmente há uma intensificação dos tratos culturais e manejo da cultura, refletindo no aumento da produtividade dessa cultura na próxima safra.

**Tabela 1.** Resultados dos modelos estimados para a produtividade da cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo, 1998-2009

Variáveis Explicativas	Modelo de Regressão
	Efeitos Fixos
$\ln PC_{t-1}$	0,0647* (0,0241)
$\ln PT_{t-1}$	0,0553** (0,0225)
$\ln PMO_{t-1}$	-0,0910 (0,0584)
$\ln PA_t$	0,2450* (0,0893)
$EMC_t$	-0,0691** (0,0324)
$INV_{-1}$	0,0029 (0,0043)
Constante	7,1004* (1,1884)
$R^2$	75,86
Observações	66
Teste F	8,74**

**Nota: Na estimativa dos coeficientes já foi usada a correção para autocorrelação.**

**(a) Teste F no modelo de efeitos fixos refere-se ao Teste de Chow.**

**\*significativo a 1%;\*\* significativo a 5%;\*\*\* significativo a 10%.**

**Fonte: Elaborado pelos autores, resultados de pesquisa**

A análise de regressão mostrou uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre o preço da terra e a produtividade da cana-de-açúcar no próximo período. Embora na literatura essa relação não esteja bem definida, essa variável foi inserida no modelo tendo em vista que a terra é um fator de produção e principal ativo do empreendimento agrícola e quanto mais alto seu valor, a tendência é aumentar a escala de produção de maneira a aumentar sua produtividade. Portanto o valor do coeficiente estimado indicou que um aumento de 10% no preço da terra causa um aumento de 5,53% na produtividade cana-de-açúcar no próximo período.

Em relação à variável preço da mão-de-obra, o coeficiente estimado dessa variável não foi estatisticamente significativo para explicar a produtividade da cana-de-açúcar, embora o sinal apresentado foi o esperado, pois essa variável foi incluída no modelo como representativa de um componente de custo da cultura.

Por último e mais importante para o presente trabalho, o coeficiente da variável índice de novidade varietal para os anos de 1998 a 2009 não foi estatisticamente significativo, embora tenha apresentado sinal conforme o esperado. Entretanto, mesmo que apresentasse um valor estatisticamente significativo para explicar a produtividade da cana-de-açúcar, o aumento de 1 ponto percentual no índice de novidade varietal, acarretaria em um aumento de apenas 0,29% na produtividade da cana-de-açúcar em termos de ATR/ha.

Esse resultado, embora refute a hipótese inicial do trabalho de que a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar, no período considerado, contribuiu para o aumento da produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, corrobora os resultados de alguns trabalhos encontrados na literatura sobre variedades de cana-de-açúcar e produtividade agrícola dessa cultura, como os de SILVA (2011) e DEMATTÊ (2012), os quais concluíram que embora muitas variedades de cana-de-açúcar tenham sido liberadas e plantadas, não observaram ganhos na qualidade da matéria-prima expressa em Pol da cana e kg de ATR por tonelada de cana, sendo o clima o principal fator que afeta a produtividade da cana. Portanto, para esses autores, a “performance” das novas variedades tem ficado aquém das necessidades do setor, o qual passou por mudanças em suas práticas de manejo, principalmente com a colheita mecânica da cana crua. Essa opinião é compartilhada por PAUL MOORE (2014) inf. verbal. Centro de tecnologia Canavieira, o qual acredita que há uma estabilização no rendimento da cultura associada às alterações recentes nas práticas culturais, como a mecanização da colheita da cana crua. Para esse pesquisador, os produtores não adotam uma nova variedade se essa não apresentar aumento significativo de rendimento, o qual não tem sido alcançado recentemente.

De fato, ao analisar o índice de novidade varietal (Figura 1), observa-se uma diminuição na taxa de adoção de novas variedades de cana-de-açúcar nos canaviais das regiões do estado de São Paulo no período estudado.

Ainda segundo NIKKO *et al.* (2013), a crise de 2008 acarretou uma retração de crédito para as empresas do setor sucroenergético e conseqüente redução nos investimentos agrícolas, inclusive na renovação dos canaviais. As adversidades climáticas e a recente mecanização tanto da colheita como do plantio geraram efeitos deletérios para a produtividade. De fato o efeito dos fatores climáticos e o estágio médio de corte foram as variáveis mais importantes para explicar a produtividade da cana-de-açúcar no modelo estimado nesse trabalho. Entretanto, o modelo aqui estimado considera um período anterior ao ano de 2008 e mesmo assim, não foi captada a influência da introdução de novas variedades sobre a produtividade agrícola. Portanto esse resultado encontrado para o coeficiente do índice de novidade varietal vai ao encontro com a preocupação de alguns autores sobre a baixa adoção de novas variedades e o desempenho das novas variedades.

### Conclusões

Os resultados dessa pesquisa indicaram que as inovações biológicas na cana-de-açúcar, consideradas como a introdução de novas variedades dessa cultura, medida pela variável Índice de Novidade Varietal não contribuíram para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período analisado (1998-2009). De fato o ritmo de adoção de novas variedades durante os anos analisados foi baixo, conforme pode ser verificado pelo índice de novidade varietal (Figura 1) e pela análise qualitativa do censo varietal, onde foi possível verificar que a maior parte da área cultivada com cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo foi cultivada com variedades desenvolvidas na década de 1980, defasadas tecnologicamente e susceptíveis à doenças e pragas. Um dos motivos encontrados para justificar esse resultado é que muitos produtores não investem em infraestrutura, não há planejamento dos canaviais com a renovação anual necessária, momento de substituir mudas por outras de melhor qualidade e que tem potencial genético mais produtivo se o manejo for adequado, conforme mostram os resultados finais de experimentação dos programas de melhoramento genético.

Os resultados sugerem que uma análise mais detalhada a respeito das razões da não adoção das novas variedades seria necessária. Espera-se assim que esse trabalho contribua ao tema, subsidiando políticas públicas para a difusão e adoção dessas novas tecnologias, em especial as inovações biológicas, dada a importância de investimentos em adoção de novas variedades de cana-de-açúcar para que haja um aumento da produtividade da cana-de-açúcar visando atender ao possível crescimento da demanda por etanol nos próximos anos.

### Referências Bibliográficas

- BRENNAN, J.P. Measuring the contribution of new varieties to increasing wheat yields. **Review of Marketing and Agricultural Economics**, Camberra, v. 52, n. 3, p. 175-195, Dec. 1984. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/12281/1/52030175.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2013.
- CARVALHO, S.A.D.; FURTADO, A.T. Os esforços tecnológicos para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 57., 2014, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Brasília: SOBER, 2014. Disponível em: <<http://icongresso.itarget.com.br/useradm/anais/?clt=ser.4>>. Acesso em: 15 dez. 2014.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Censo varietal e de produtividade em 2011**. Piracicaba. Disponível em: <[http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC\\_Censo2011-12baixa.pdf](http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC_Censo2011-12baixa.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2013.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília : Conab, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 27 de jun. 2016.
- DEMATTÊ, J.L.I. Variedades de cana estão devendo... **Revista RPANEWS**, Ribeirão Preto, n. 141, p. 16-24, ago. 2012.
- FAO. **Banco de dados**: FAOSTAT. Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>. Acesso em: 18 fev. 2015.
- NIKO, D.; VALENTE, M.S.; MILANEZ, A. Y.; TANAKA, A.K.R.; RODRIGUES, A.V.P. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?. **Bioenergia: BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 37, p. 399-442, 2013.
- SILVA, G.M.A. Evolução da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar no período de 1984-2010. **STAB. Açúcar, Alcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, n. 3, p. 26-28, jan./fev. 2011.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 27 jun. 2016.
- WOOLDRIDGE, J.M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. London: MIT Press, 2002. 735 p.

## GESTÃO SUSTENTÁVEL DA RECONVERSÃO PRODUTIVA DO COMPLEXO SUCROENERGÉTICO DO NORDESTE DO BRASIL: REDIMENSIONAMENTO DO ESPAÇO CANAVIEIRO DE ALAGOAS

\*Vera Dubeux Torres

\*Professora / Pesquisadora da RIDESA/CECA/UFAL

*dubeuxtorres@gmail.com*

### Resumo

Nesse trabalho será mostrado o planejamento e a gestão estratégica dos empresários (usineiros e fornecedores de cana) ligados ao setor sucroenergético do Nordeste do país e em particular os do estado de Alagoas enfatizando a adoção de novas possibilidades para o uso do solo dessa tradicional região canavieira e a reformatação da estrutura organizacional das tradicionais usinas. As estratégias de diversificação das atividades socioeconômicas da região vêm privilegiando a tecnologia e novas relações entre os recursos produtivos fundamental na determinação da capacidade de reprodução dos atores sócioeconômicos do complexo sucroenergético local e regional. O redimensionamento da atividade canavieira está criando espaço para a agregação de outras dinâmicas produtivas geradoras de renda para o setor, redinamizado a economia e contribuindo com o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** gestão, cana-de-açúcar, redimensionamento, diversificação, sustentabilidade.

### Introdução

No cenário mundial, o Brasil destaca-se como o maior produtor de cana-de-açúcar, com os seguintes indicadores na safra 2014/2015: 9,01 milhões de hectares colhidos; moagem de 634,80 milhões de toneladas de cana; 35,56 milhões de toneladas de açúcar; e 28,66 bilhões de litros de etanol (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015). O Nordeste, região mais tradicional do Brasil no cultivo da cana de açúcar e ocupou durante muitas décadas superfícies importantes cultivadas com a referida gramínea. No período Colonial o Nordeste era o a região que mais plantava cana. Pernambuco ocupava primeira posição e Alagoas a segunda. Segundo dados do Instituto do Açúcar de Alcool – I.A.A., Em 1972 o Brasil plantava 1.541 (um milhão, quintos e quarenta mil) hectares de cana-de-açúcar. São Paulo já liderava a área plantada com 619 mil hectares (42%), Pernambuco ocupava segunda posição com 350 mil hectares (23%), Rio de Janeiro a terceira com 178 mil hectares (12%) e Alagoas desenvolvia a referida cultura em 176 mil hectares (11%) ocupando a quarta posição do país. Na década de 80 Alagoas passou a ocupar a segunda posição nacional em decorrência da sua topografia que permitia a mecanização em maiores áreas do que Pernambuco e Rio de Janeiro.

O Nordeste sempre privilegiou a produção do açúcar por razões históricas e pela logística para exportação. A estratégia de investir no álcool foi posta em prática na década de 70 com o surgimento do Proálcool, mas no fim da década de 80 o álcool passou a ser questionado como alternativa viável e entra em crise. A retomada do Proálcool em 2003 com a possibilidade de uso do carro flex redirecionou a estrutura de uso de combustíveis no Brasil modificando o mercado do então etanol. Em 2010, o uso do carro flex atingiu 80% dos veículos automotores. A atividade canavieira ampliava seu leque de possibilidades com o uso das biotecnologias e biorefinarias diversificando as produções. O uso da biomassa tornou-se realidade consolidando o modelo de reprodução de um setor sucroenergético tido como sustentável respaldado no apelo mundial por fontes de energias renováveis.

A análise realizada no Balanço Energético do Estado de Alagoas – BEAL, 2011 já informava que a estimativa para o período de 2011 a 2013 indicava a inversão nos quantitativos entre carros flex-fuel e à gasolina, porém anunciava que dependeria de vários fatores, tais como: preço dos veículos a etanol e a gasolina, consumo de combustível por quilometragem rodado dos veículos a etanol e a gasolina, dentre outras. Em 2014 uma contenção artificial dos preços da gasolina, pôs em questão a sustentabilidade do etanol, produto chave nessa cadeia de produção.

Em Alagoas, apesar da crise, o setor sucroenergético em 2014 ainda representava 15% do PIB e gerava mais de 100 mil empregos diretos. Com ICMS de 27% sobre o etanol e 17% sobre o açúcar e sem incentivos fiscais, Alagoas tinha então a maior carga tributária sobre o setor sucroalcooleiro do Brasil. “Com a carga elevada, só restava a exportação”. Nesse caso, Alagoas também saía perdendo porque os produtos destinados ao mercado internacional não recolhem ICMS. A crise se aprofundou e levou várias unidades de produção ao limite de reprodução.

### Produção e Consumo Anual de Derivados da Cana-de-açúcar na última década – AL (2005-2014).

Nas estatísticas do setor sucroenergético com dados sobre a produção e o consumo do ano de 2005 a 2014 observa-se que o consumo dos derivados da cana-de-açúcar em Alagoas é bem menor do que as produções alcançadas, o que reforça sua tradição como um estado exportador desses derivados. O destaque vai para o uso do caldo da cana-de-açúcar e do bagaço para a transformação em produtos energéticos (etanol, energia térmica e energia elétrica).

### - Açúcar

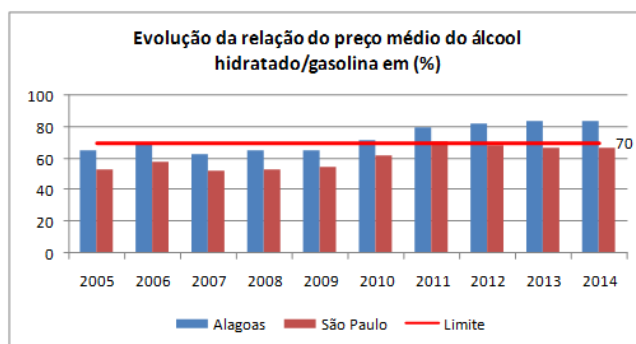
Constata-se que em 2005 o setor produziu mais de 23,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Verifica-se um aumento na produção no ano de 2007 quando se atingiu mais de 25 milhões de toneladas de cana. Em 2008 e 2011 foram registradas as maiores produções da década, 29,2 e 29,4 milhões de toneladas de cana, respectivamente. Em 2012 foram produzidas mais de 25,8 milhões de toneladas de cana, caindo para 20,2 em 2013. Já em 2014, houve uma pequena recuperação na produção, atingindo 21,8 milhões de toneladas de cana.

### - Álcool

No ano de 2008 verificou-se a maior produção de álcool anidro da década, 390 mil metros cúbicos, dos quais, 331 mil foram destinados à exportação. A maior produção de álcool hidratado foi verificada no ano de 2008, 492 mil metros cúbicos, dos quais 409 mil foram exportados.

Verifica-se que o consumo de álcool hidratado vem diminuindo muito nos últimos anos. A explicação para isso é o seu preço médio em relação à gasolina, haja vista, que só é interessante para o consumidor abastecer com álcool hidratado se seu preço estiver abaixo de 70% do valor da gasolina. Os dados abaixo mostram uma comparação dos preços médios da gasolina e do álcool hidratado para os estados de Alagoas e São Paulo.

No gráfico abaixo, verifica-se que, em Alagoas, o preço médio do álcool hidratado só esteve igual ou inferior a 70% do preço médio da gasolina nos anos de 2005 a 2009. Já em São Paulo, sempre esteve abaixo deste patamar.



### - Energia

A (Tabela 9.1.4a) mostra também que a geração de energia através do bagaço da cana aumentou de 597 GWh em 2005 para 633 GWh em 2014 passando de 25,19 para 29,02 kWh por tonelada de cana. No levantamento para o ano de 2014 de acordo com os dados fornecidos por 11 unidades industriais do setor, constatou-se que a média de geração foi de 33,61 kWh por tonelada de cana. Os dados estão na tabela abaixo, onde se pode observar que a unidade industrial que teve o maior aproveitamento obteve 95,62 kWh por tonelada de cana e, a de menor aproveitamento, obteve 15,82 kWh por tonelada de cana. O responsável pela unidade de maior aproveitamento informou que sua geração ainda não obteve o rendimento esperado para o seu projeto de eficiência que é mais do que o dobro do resultado aqui apresentado.

Os resultados obtidos pela a unidade de maior aproveitamento comprovam o que vem sendo afirmado em todos os balanços energéticos realizados na última década, de que se pode obter algo em torno de 200 kWh por tonelada de cana. Caso todas as unidades industriais estivessem com esse rendimento, o setor poderia ter gerado no ano de 2014 um total de 4.361.507 MWh. Para efeito de comparação, de acordo com o seu Relatório da Administração – Exercício 2014, a Eletrobras Distribuição Alagoas forneceu 3.335.540 MWh para o seu universo de consumidores cativos no ano de 2014.

### A atual política de formação de preços e a legislação ambiental redefinindo o tamanho da atividades canavieira em Alagoas

Não só a política governamental influenciava na formação do preço do etanol e na definição de quantidades e preços para compra de energia elétrica advinda da co-geração nas usinas, mas na oscilação do câmbio repercutindo no preço do açúcar no mercado internacional. O racionamento nos investimentos, o aumento do custo de produção da cana, açúcar e etanol, a legislação ambiental interferindo no corte da cana-de-açúcar e inviabilizando o uso de terrenos com declividades acima de 12% vão excluindo parte dos produtores e reduzindo áreas plantadas com cana. Esses empresários (produtores e fornecedores de cana) vão em busca de alternativas, que em Pernambuco e Alagoas são revestidas de dinâmicas bem particulares. A área cultivada com Cana-de-açúcar em Alagoas é significativamente reduzida e de mais de 500 mil hectares passa para pouco mais de 300 mil hectares plantados.

### - A atual crise do setor sucroenergético a nível regional e local

As usinas do Estado estão enfrentando a maior crise da história e sem a presença do Estado nos moldes citados em Dubeux-Torres, 2009 em analisando as estratégias de gestão adotadas pelos proprietários de usinas de cana-de-açúcar diante das grandes mudanças provocadas pelas instituições públicas, a exemplo do Instituto do Açúcar e do Alcool - I.A.A., resultando na implantação de um complexo agroindustrial produtor de açúcar e álcool. Neste sentido foi realizada uma análise do surgimento da usina de açúcar no Brasil República, período de 1889 e 1930 e analisou-se a regulamentação da atividade sucroalcooleira, enfatizando a relação do Estado e do Mercado. O posterior afastamento do Estado das atividades canavieiras com a extinção do I.A.A. em 1989, marcou a última década do século XX. A participação do Estado, a partir de 1990 foi redefinida, sem o anterior intervencionismo, tornando o espaço canavieiro mais competitivo, o que era aconselhável em tempos de economias globalizadas.

Na última década a proposta do governo e dos produtores foi a de implementar um modelo baseado no programa nacional de bioenergia a partir do apelo aos aspectos sociais, ecológicos e econômico para atender as normas nacionais e internacionais e neste sentido também tecnicamente sustentável. O Brasil era apontado como o país ideal para a produção da energia a partir da biomassa e estratégias e metas foram definidas para as décadas seguintes. O dimensionamento das plantas de produção foram definidas em função de perspectivas de mercado, de novas tecnologias e do adequado uso das desejáveis energias renováveis.

Partiu-se em busca de investimentos para o melhor aproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar, (bagaço, palha, etanol de segunda geração, biodigestão - biogás e bioetanol). A co-geração em 2014, liberou 14,31 GWh por ano para o sistema, significando cerca de 3,18



GW médios de capacidade para geração de excedentes. Considerando as 4,5 mil horas médias de excedentes de geração por safra, com o atual volume de cana processada o setor poderia chegar a 22 GW de potência instalada. Busca-se então ações para a melhorar a eficiência energética.

Na safra 2013/2014 apenas 20 das 24 usinas de Alagoas entraram em operação, o que levou o setor a desempregar cerca de 15 mil trabalhadores. Na safra 2014/2015 outras três usinas foram desativadas. De acordo com o Sindaúcar-AL, as indústrias têm capacidade de geração de 100 mil empregos diretos durante o período de colheita e metade destes empregos na entressafra. O setor representava a única atividade econômica que liga Alagoas com o mercado mundial. Com as usinas que saíram de operação estima-se atualmente em mais de 20 mil empregos diretos perdidos, afetando a economia de vários municípios da região canavieira.

Embora haja quem entenda que se trata de uma crise conjuntural, o cenário atual faz crer que é necessária uma revisão mais profunda do modelo do setor sucroenergético, e adoção de medidas de longo prazo, que garantam a estabilidade setorial. O mesmo raciocínio foi demonstrado quanto aos biocarburantes. O preço do açúcar oscila de acordo com o mercado internacional. A taxa de câmbio beneficia os produtos exportados a exemplo do açúcar, mas prejudica o setor nos itens a serem importados para a produção do açúcar.

A atual crise do setor sucroenergético alagoano pode ser constatada pela evolução da receita bruta estimada para o setor. Considerando que afora as dívidas que vinham se acumulando ao longo dos anos por razões ligadas ao clima ou pelos investimentos para modernizar o complexo agroindustrial, a atual situação financeira é uma das mais graves dos últimos anos. A rentabilidade obtida por tonelada de cana-de-açúcar passou de R\$ 126,00 na safra 2004/2005 para R\$ 186,00 na safra 2010/2011. Na safra 2013/2014 essa rentabilidade decresceu para R\$ 116,52 por tonelada de cana resultando em forte redução na renda bruta do setor. O faturamento de etanol produzido em Alagoas foi igualmente reduzido no período entre 2010/2011 e 2013/2014 passando de 129,2 milhões para 50,4 milhões de reais (etanol hidratado consumo interno) e de 270,1 milhões para 225,7 milhões de reais (etanol hidratado exportado). Este faturamento incorreu em redução no ICMS de cerca de 77 milhões para 40 milhões de reais para o estado (DUBEUX-TORRES *et al.*, 2014)

Os representantes dos trabalhadores (Fetag-AL e Sindicatos dos Trabalhadores na Indústria do Açúcar) e as federações da Indústria (FIEA) e da Agricultura (FAEAL) e das Associações Comerciais se articulam e apoiam as iniciativas em busca de soluções. A diversificação surgiu como uma possibilidade: diversificação de produtos oriundos da cana-de-açúcar e diversificação no uso do solo com outras culturas. A reformatação no modelo de organização e gestão das estruturas vai redefinir o modo operante das unidades de produção.

#### **As estratégias em direção a reformatação do Setor Sucroenergético de Alagoas**

Através da análise da conjuntura econômica nacional verticalizando para Alagoas, constata-se que seria preciso construir caminhos para o crédito e definir um cenário econômico com base inclusive na diversificação ampliando o leque de produtos a partir da cana-de-açúcar. A energia assumiu importante espaço na anunciada diversificação. Reconhecendo que o setor sucroenergético era importante para a economia do Estado buscou-se parcerias para minimizar os efeitos da crise e se encontrar alternativas que possibilitassem a reprodução do setor então transformado em sucroenergético.

A ampliação do plantio de florestas energéticas no Nordeste passou a ser visto como uma alternativa interessante para a substituição da cana-de-açúcar em terrenos com declividades acima de 12%. A colheita mecanizada é inviável com a citada topografia tornando impossível o corte de cana crua. O uso da biomassa advinda dessas florestas passa a representar possibilidade de incremento na geração de energia considerada como limpa e renovável. Alagoas ocupa grande espaço na matriz energética nacional quanto às energias renováveis advindas da cana-de-açúcar (60%) segundo o BEAL, 2014 e se lança no incremento dessa produção através dessa diversificação.

#### **- A Tecnologia A RIDESA e a contribuição das variedades RB**

A tecnologia continua a ser responsável por ganhos de produtividades na cana e seus derivados e destacamos a obtenção de variedades mais produtivas que ao longo dos anos vem melhorando o desempenho do setor neste sentido. Na década de 70 foi criado o PLANALSUCAR (Programa Nacional de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar) em 1990, houve a transferência das suas estruturas físicas, tecnológicas e de recursos humanos para as Universidades Federais: UFAL, UFRPE, UFV, UFSCar, UFRRJ, UFPR e UFS. A partir de então fora criada a RIDESA. Depois dos anos 2000, a RIDESA passou a ser integrada por outras três Universidades Federais: UFG, UFMT e UFPI. Atualmente, a Rede utiliza para o desenvolvimento de seus estudos um total de 72 estações experimentais, localizadas nos estados onde a cultura da cana-de-açúcar apresenta maior expressão. Nestes 25 anos de atuação, as universidades federais deram maior ênfase à manutenção e continuidade da pesquisa relacionada ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar, que continuou a utilizar a sigla RB para identificar suas variedades.

#### **- O redimensionamento do setor sucroenergético: reorganização do modelo operante e das relações sociais de produção**

Em busca de sustentabilidade a produção de energia renovável é outra estratégia que passou a ser utilizada pelo setor sucroalcooleiro e nos últimos anos e está sendo reforçada pelas negociações sobre o clima, que culminaram em 2015 na grande reunião realizada em Paris. Desenvolver sistemas de produção com técnicas culturais que permitam a economia de água, de energia e de nitrogênio e resguardar produções com a almejada rentabilidade passa a ser um dos grandes desafios. Aumentar a produção de alimento, energia e escolher espécies vegetais que respondam as necessidades que estão surgido com remapeamento edafoclimático de algumas regiões que já estão, e que serão afetadas pela citada mudança passou a exigir amplo esforço dos pesquisadores em inovação tecnológica. Os gestores procuram acompanhar as tendências e esse período de transição energética e de apelo a fontes de energias renováveis vem dando oportunidade ao empresário do setor canavieiro de investir em eficiência energética melhorando a indústria e novos empreendimentos através da diversificação de biomassas para aumentar a produção de energia limpa.

#### **- Reversão através da diversificação**

No Nordeste o eucalipto, o milho, a soja, o sorgo são exemplos de espécies vegetais que passaram a fazer parte das novas culturas introduzidas nas áreas liberadas pela cana-de-açúcar em regiões não mecanizáveis. A política de preços e incentivos no mercado nacional e internacional em iniciativas dessa natureza passou a ser crucial para responder a pressão quanto ao abastecimento de energia (etanol,

bioeletricidade) e quanto a disponibilidade de alimento. A biomassa vegetal é uma grande possibilidade de fornecimento de material energético e já vinha sendo utilizada, ao longo dos anos, pelo setor como alternativa para substituição do petróleo (etanol).

O eucalipto está sendo introduzido no estado de Alagoas com o mesmo apelo da cana-de-açúcar: contribuição na fixação do CO<sub>2</sub> por meio de processo fotossintético em decorrência da implantação tida como florestas energéticas e geração de energia pela combustão e com possibilidades futuras de uso como combustível pela geração de etanol de segunda geração.

O projeto de lei do governo federal direcionado à diversificação da matriz energética nacional instituiu a política de geração de energia elétrica a partir da biomassa, estabelecendo a obrigatoriedade da contratação da bioenergia no conjunto da geração elétrica nacional. Esse incentivo governamental dentre outros, vem redefinindo as estratégias dos produtores para o uso dos terrenos íngremes e inadequados para o cultivo da cana de açúcar para a colheita mecanizada. Os que possuem terrenos mecanizáveis continuam com a cana nestas áreas e implantam outras culturas procurando explorar os benefícios dessa diversificação produtiva com possibilidades de racionalizar o uso do solo e obter outros ganhos a exemplo do advindo do sistema agropastoril, combinação de árvores, culturas agrícolas e animais numa mesma área. Essa iniciativa condiz com o que está sendo difundido como proposta aceitável em benefício dos ecossistemas, inclusive os degradados. Essa busca pela sustentabilidade permite a difusão de um modelo socialmente, economicamente e ambientalmente aceitável ou seja, interessante em processos de reconversão tidas como produtivas e passíveis de reprodução. Essa é uma das possibilidades para esse setor em crise e com várias unidades de transformação (indústrias) falindo e sendo desativadas.

#### **- Reconversão através da reorganização estrutural**

Os fornecedores de cana vinculados a essas massas falidas tentam também redefinir suas possibilidades de sobrevivência. Alguns se reorganizam criando cooperativas e pondo em prática modos de produção bem particulares na relação indústria/campo. O modo operante dessas novas estruturas organizacionais permitiu pela primeira vez a operacionalização de um modelo previsto no início do período de regulamentação do setor em análise segundo Dubeux -Torres (2009). Mesmo em se tratando de uma intervenção do Estado na economia canavieira e sendo colocava como condição para subsidiar a modernização do setor do açúcar não foi implementada na época a separação da indústria do campo na reestruturação e redimensionamento da estrutura de produção prevista como condição de acesso a linhas de financiamentos. A Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE tentou resgatar essa proposta mas as elites locais não permitiram essa dissociação anunciada.

As cooperativas que estão sendo criadas em Pernambuco e Alagoas representam tentativas de retomada da atividade dos fornecedores de cana que passariam a entregar matéria-prima a unidade de transformação (usina) reativada através de iniciativas dos antigos fornecedores de cana da usina que decretaram falência e que tinham dívidas para com esses fornecedores. A relação do fornecedor com o fator de produção terra continuaria a ser a mesma: ele era o proprietário e dono do Capital. A relação desse fornecedor com a indústria se dá através da Cooperativa. A Cooperativa recebe a cana e paga ao fornecer. A mais valia advinda do processo de transformação da cana só será repassado para esse fornecedor de cana se ele for sócio da cooperativa. O cálculo dos lucros são definidos em função das ações que ele possui no negócio (indústria) e não em função da quantidade de cana fornecida.

As administrações são independentes e os atores sociais inerentes à essa nova modalidade de relação de produção não conduz a subordinação entre o Capital industrial e o Capital agrário como condição para a existência dessa agroindústria criada sob forma de cooperativa. Essa estratégia possibilita a redistribuição mais equitativa do produto do empreendimento, reduz o desequilíbrio na relação de poder entre usineiro e fornecedor de cana (causador de inúmeros conflitos entre essas categorias sociais de produtores) e atenua os inúmeros impasses na gestão dessa relação.

#### **Conclusão**

Conforme vimos, a crise do setor acontece em dois níveis. Na esfera nacional, a exemplo de política de preços e modalidades de participação de usinas em leilões para investir em novas fontes de energia. Na regional, a crise passa por causas mais localizadas a exemplo do clima, custo com a mão-de-obra e impossibilidade de colheita mecanizada nas encostas. A forma de participação do poder público na atual conjuntura poderá redefinir as relações e conduzir o setor a novas estratégias de reprodução. Neste sentido, o setor também faz composições, busca tecnologias e tenta redefinir suas plantas de produção e evitar o fechamento de novas empresas. Finalmente é o planejamento e a gestão estratégica dos empresários (usineiros e fornecedores de cana) do Nordeste do país e em particular os do estado de Alagoas enfatizando a adoção de novas possibilidades para o uso do solo dessa tradicional região canavieira. As estratégias de diversificação das atividades socioeconômicas da região vem privilegiando a tecnologia (novas variedades de cana, biotecnologia, irrigação) e a reestruturação das estruturas de produção (novas relações entre os recursos produtivos). O redimensionamento da atividade canavieira está criando espaço para a agregação de outras dinâmicas produtivas geradoras de renda para o setor, redinamizado a economia e contribuindo com o desenvolvimento sustentável.

#### **Referências Bibliográficas**

- DUBEUX – TORRES, V.L. Perspectivas da Biomassa, para Produção de Energia no Brasil: Bioetanol X Biodiesel. 9º Congresso Nacional da STAB, Maceió, 00Alagoas. Anais, p. 825-830, 2009.
- DUBEUX – TORRES, V.L. Relação do Poder Público e do Poder Privado na Gestão do Setor Sucroenergético. 9º Congresso Nacional da STAB, Maceió, Alagoas. Anais, p. 831-835, 2009.
- BEAL- Balanço Energético do Estado de Alagoas, 2008 a 2014.