

A era digital na excelência operacional

Explorando o GAOA em projetos de melhoria contínua

Henrique Berbert de Amorim Neto
Fernando Henrique C. Giometti

22º SBA – Ribeirão Preto (2023)



No mundo, o mercado de produtos digitais para o agronegócio foi estimado em USD 50 bi e deve atingir

USD 100 bi

até 2023

Fonte: Deloitte: "The future of agriculture: How technology will drive growth and innovation"

No Brasil

USD 10 bi

até 2025

Fonte: Deloitte: "The future of agriculture: How technology will drive growth and innovation"

No Brasil

50%

Dos agricultores já usam ou vão utilizar algum tipo de produto digital

Fonte: Mckinsey "The Brazilian Farmer's mind in the digital era"

“Somos especialistas em servir as **pessoas**, gerar conhecimento e valor, solucionar problemas e criar **conexões** valiosas”



Consultoria



Engenharia

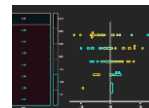


Cursos &
Treinamentos

Pesquisa e
Desenvolvimento



ESG



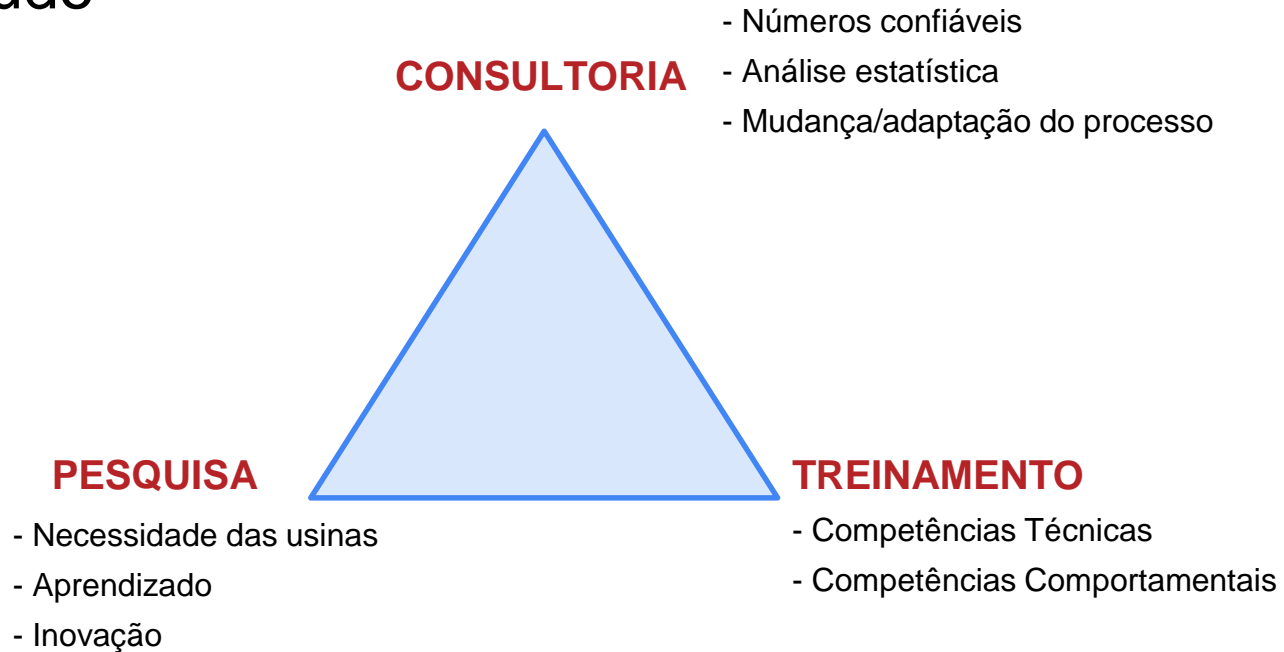
I 4.0



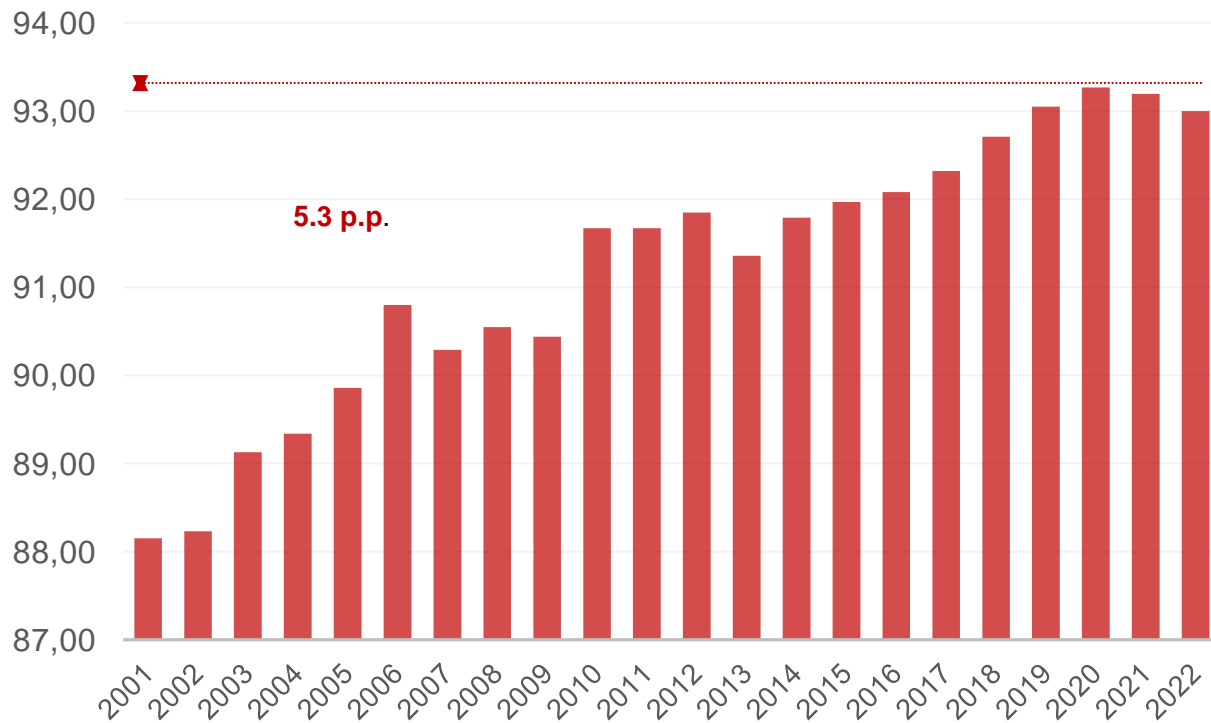
HUB

Tripé essencial

a base de tudo



RTC (%)





- **Profissionais** tem papel fundamental na implantação da Indústria 4.0
- É importante entender o **impacto** que a Indústria 4.0 causa nas **pessoas** de uma organização
- A automação e outras tecnologias em evolução estão mudando as necessidades das organizações, gestores precisarão reavaliar a estrutura e redefinir as tarefas que exigem o envolvimento humano



O poder da genética e da metagenômica na indústria

07 de Novembro

14:30 às 16h

INSCREVA-SE ENQUANTO HÁ TEMPO

12

DIAS

2

HORAS

15

MINUTOS

39

SEGUNDOS

Preencha o formulário abaixo para participar do evento e receber seu certificado de conclusão.

Nome completo*

Email*

Empresa*

Cargo*

Enviar

Excelência operacional e melhoria contínua

Ao adotar esse enfoque, as organizações podem impulsionar a eficiência, a qualidade e encontrar oportunidades em seus processos operacionais.



Histórico

Da Fermentec e suas transformações

Análises estatísticas

Aplicadas à resolução de problemas.

GAOA

E os desafios da implementação

Uso de dados

Fermentação.
Cozimento
RTC (%)

Sumário

1. História

Análises estatísticas

Primeiros trabalhos de otimização de processo obtiveram sucesso.



1980

Dados mensais

Benchmarking Fermentec. Avaliação mensal de safra.



1990

Dados semanais

Servidor estruturado e banco de dados. Boletim de médias semanais.



2002

Tempo real

GAOA: com um conjunto de tecnologias é possível processar grande quantidade de dados.

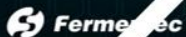


2018

GAOA

GESTÃO AVANÇADA E OPERAÇÃO ASSISTIDA

Tecnologia avançada com 40 anos de conhecimento específico na produção de açúcar e etanol.



- Integração de sistemas
 - Automação e laboratório.
- Computação em nuvem
- Big Data & Analytics
- Especialista Virtual
 - Modelos estatísticos, balanço de massa e aprendizado de máquinas.
 - Relatórios semanais
 - Reunião mensais

SOBRE O
GAOA

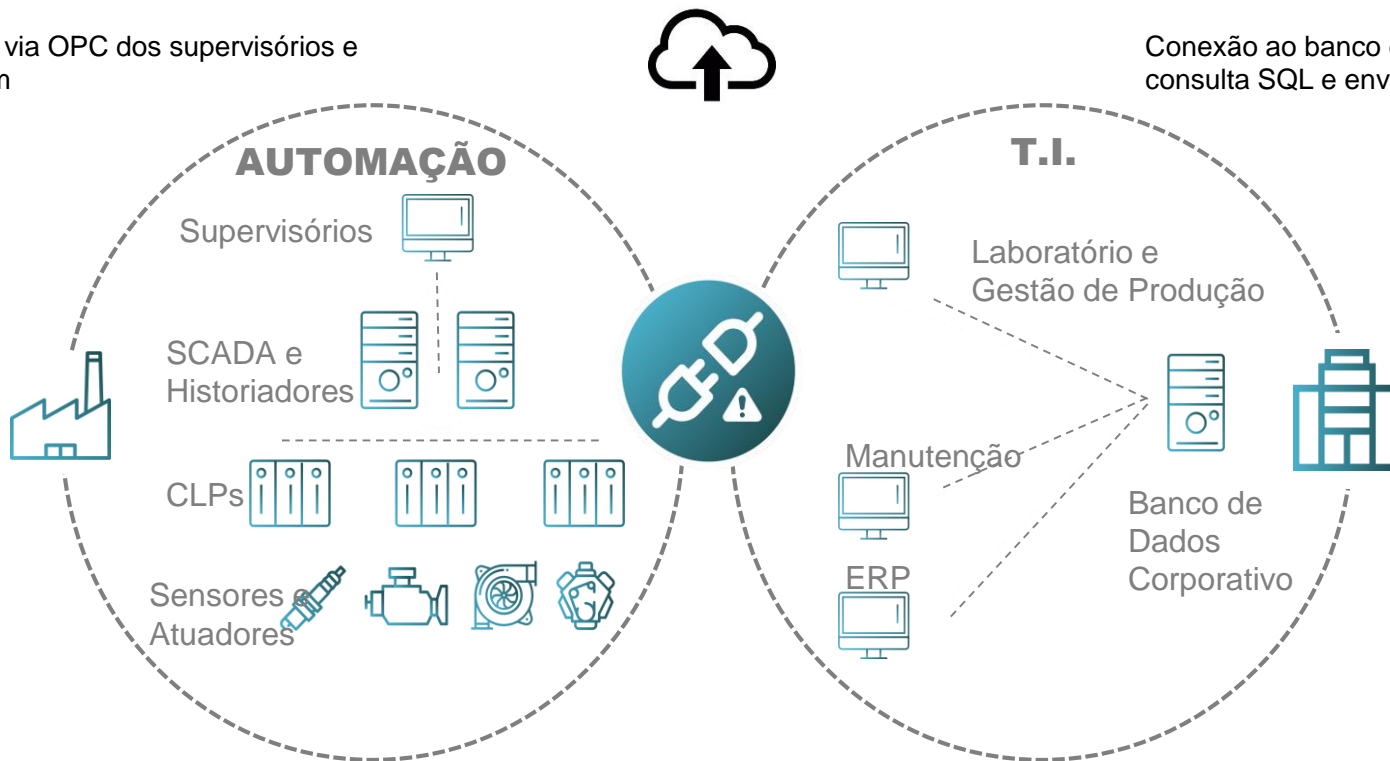
 Fermentec

A usina do (futuro) presente



Obtém dados via OPC dos supervisórios e envia a nuvem

Conexão ao banco de dados via consulta SQL e envio a nuvem



SOBRE O
GAOA

Dados confiáveis

CONTRIBUIÇÕES DA FERMENTEC



**OTIMIZAÇÃO DO
TEOR DE
FERMENTO NA
DORNA**



1982

**AMOSTRADOR
CONTÍNUO DE
MOSTO**

CARIOTIPAGEM

1992

**TESTE RÁPIDO PARA
ESCOLHA DO MELHOR
ANTIBIÓTICO PARA
CONTROLAR A
CONTAMINAÇÃO
BACTERIANA**

**USO DO NIR –
ANÁLISE EM 50 SEG.**

**SELEÇÃO DAS
LEVEDURAS
PE-2 E VR-1**



**AMOSTRADORES
COM SERINGAS**

**ANÁLISE DE ART
PELO REDUTEC COM
ELETRODO**

1997

**SELEÇÃO DAS
LEVEDURAS CAT-1**

**MELHORIA NAS
MEDIÇÕES
(AMOSTRADORES
PONDERAIS)**



IDENTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS PELO DNA



2002

ANÁLISE DE DESTRUIÇÃO

**RENDIMENTO DA FERMENTAÇÃO:
92%**

MANITOL COMO INDICADOR DA CONTAMINAÇÃO BACTERIANA

AMOSTRADOR CONTÍNUO DE MOSTO

2010

SELEÇÃO DE
LEVEDURAS PARA
FERMENTAÇÃO COM
ALTO TEOR ALCOÓLICO



FERMENTA
ÇÃO COM
ATÉ 16% DE
TEOR
ALCOÓLICO

HOJE

Análise estatísticas

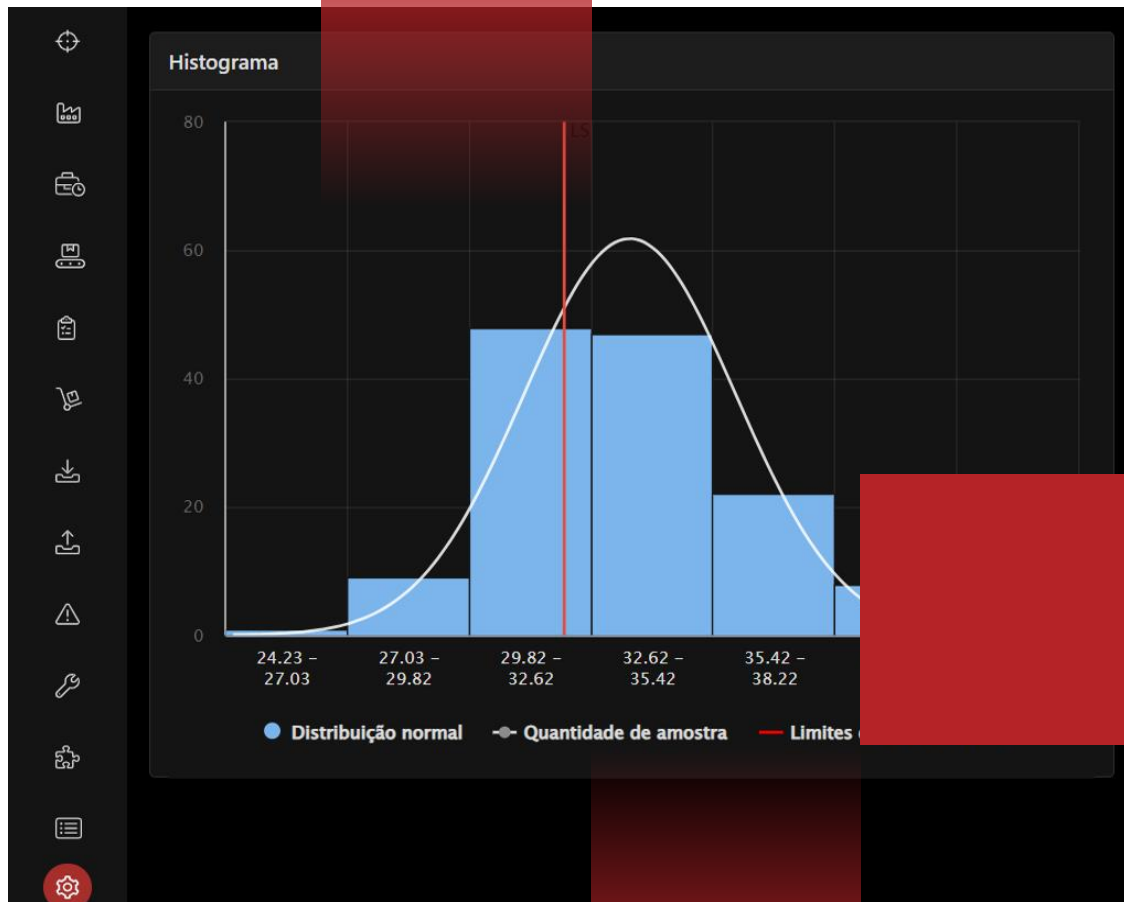
aplicadas em resolução de problemas



EXCELÊNCIA OPERACIONAL E MELHORIA CONTÍNUA

O que é um problema?

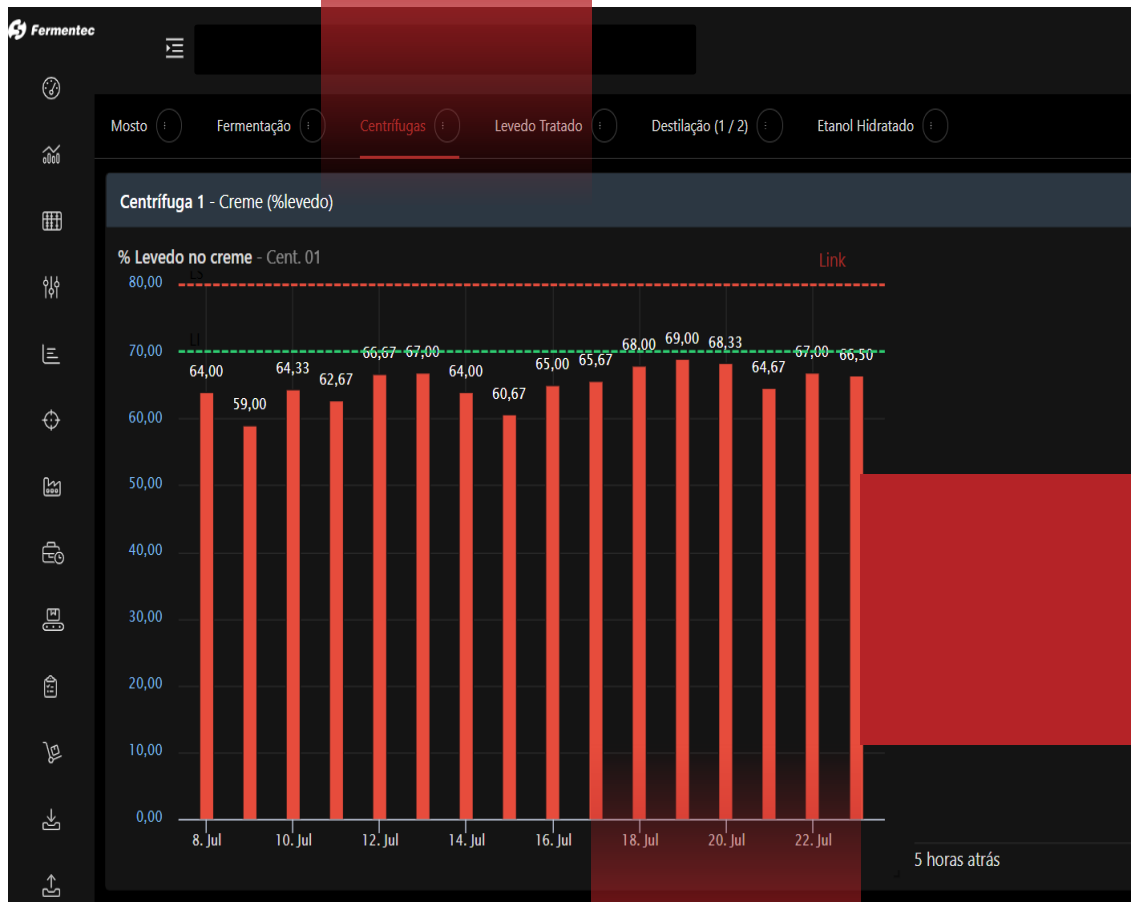
- Resultado indesejável: Erro, não conformidade, processo de produção em descontrole.



EXCELÊNCIA OPERACIONAL E MELHORIA CONTÍNUA

O que é um problema?

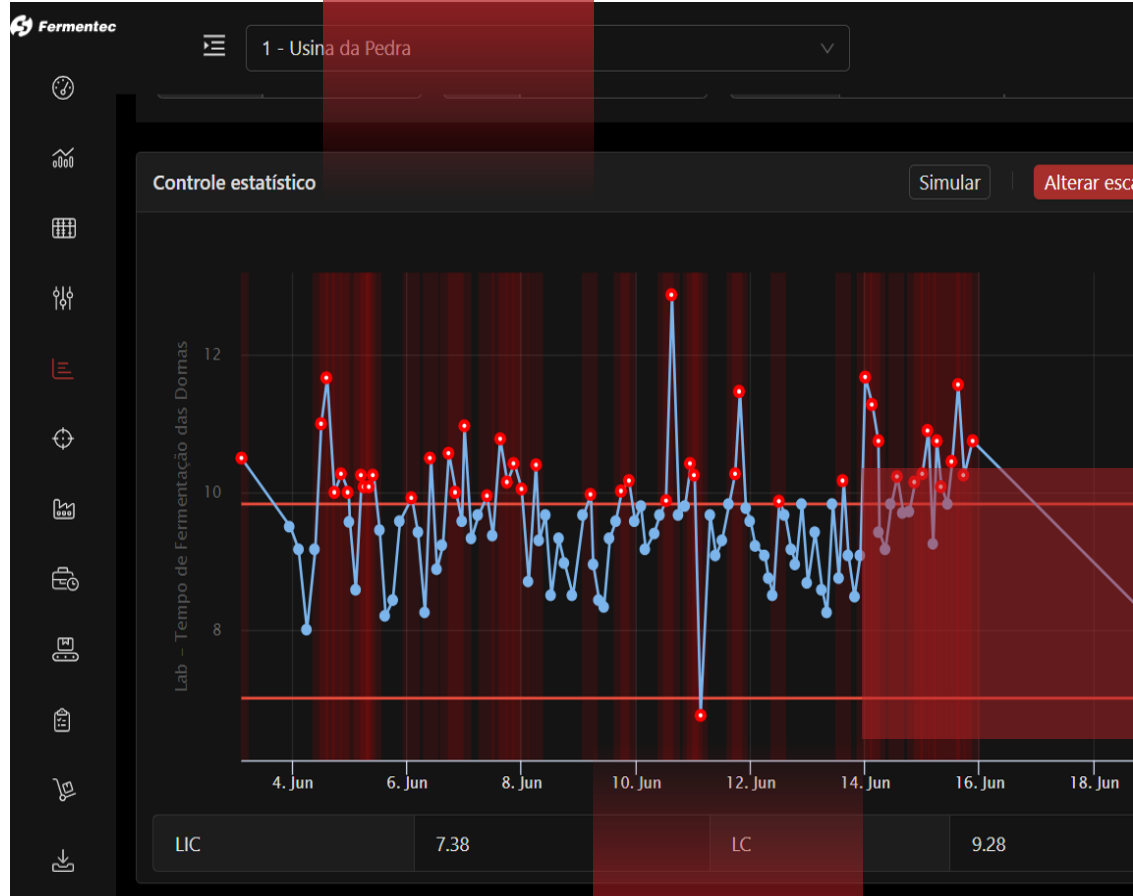
- Resultado indesejável: Erro, não conformidade, processo de produção em descontrole.
- Desempenho sistemático abaixo da meta. Lead time de produção sistematicamente pior que o requerido



EXCELÊNCIA OPERACIONAL E MELHORIA CONTÍNUA

O que é um problema?

- Resultado indesejável: Erro, não conformidade, processo de produção em descontrolo.
- Desempenho sistemático abaixo da meta.
- Lead time de produção sistematicamente pior que o requerido





Gestão da rotina e suas técnicas

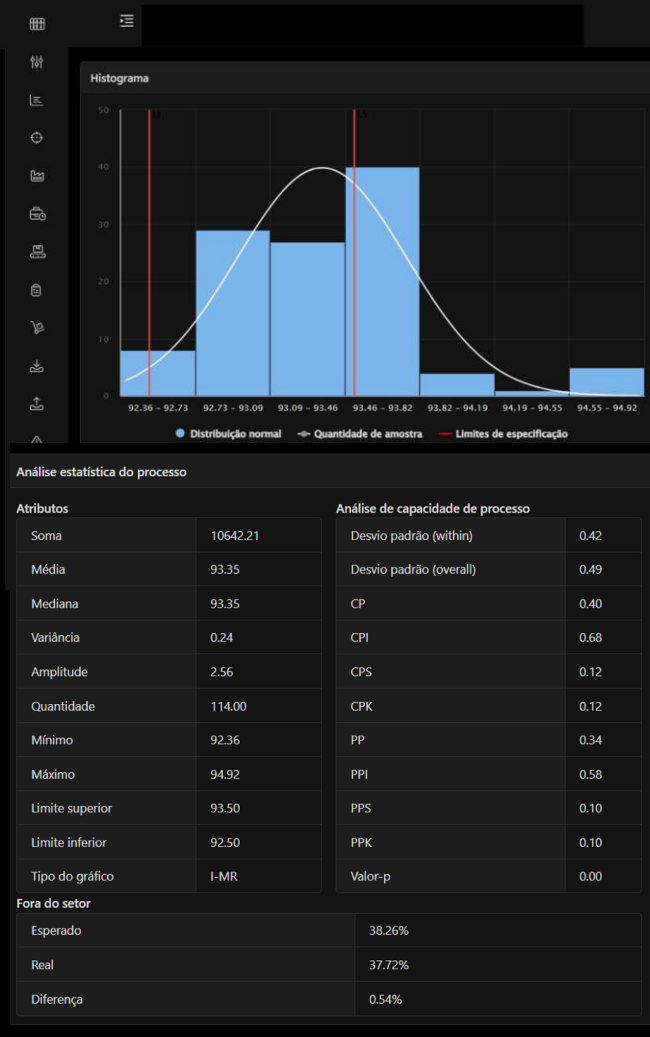
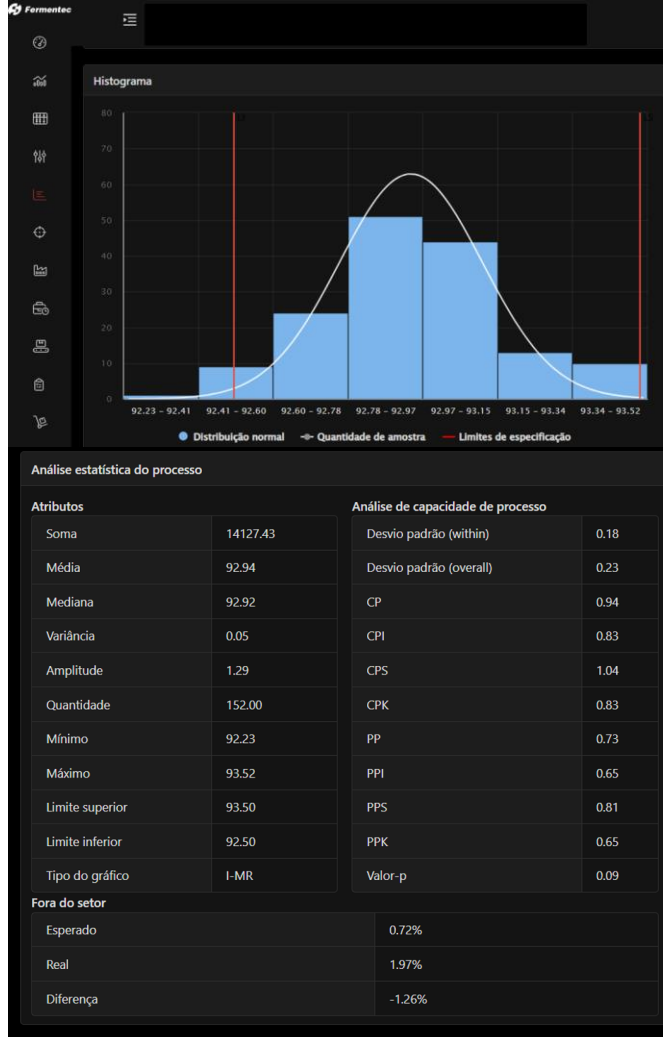
- PDCA / MASP / DMAIC
- Análise de dados: CEP, Capacidade, correlação, regressão.
- Ferramentas da qualidade: diagrama de Pareto, o diagrama de Ishikawa, os 5 Porquês, matriz de priorização
- Painéis de Gestão
- Gestão de desvios
- Plano de ação: 5W2H

TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS

Capacidade

Medida de variabilidade do processo em relação às especificações desejadas.

- Cp
- Cpk

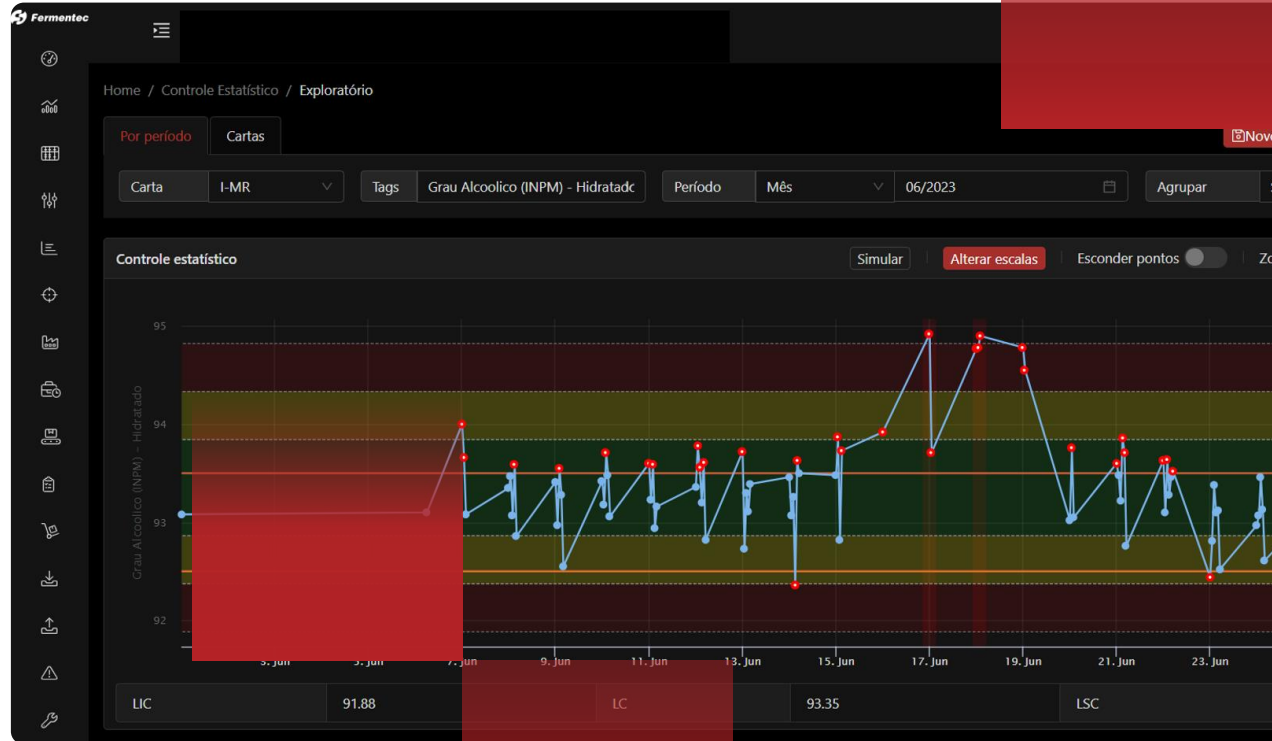


TÉCNICA DE ANÁLISE DE DADOS

Gráfico de controle

Detectar desvios ou causas especiais.

- Voz do cliente
- Voz do processo

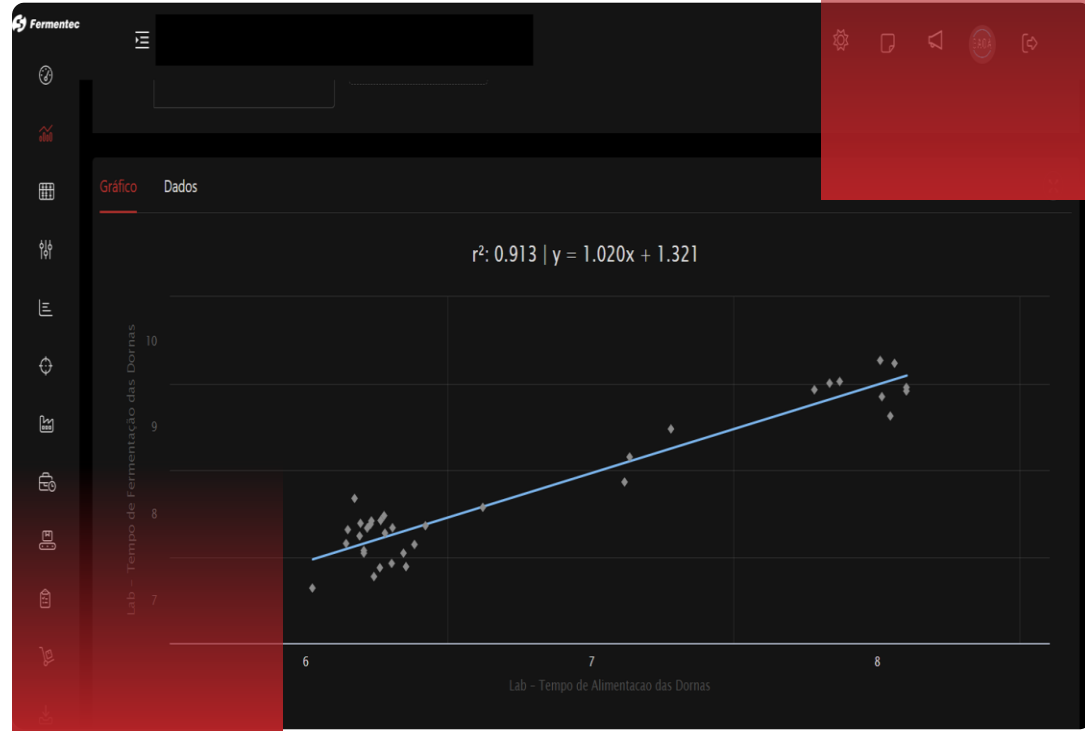


TÉCNICA DE ANÁLISE DE DADOS

Gráfico de dispersão e Correlação

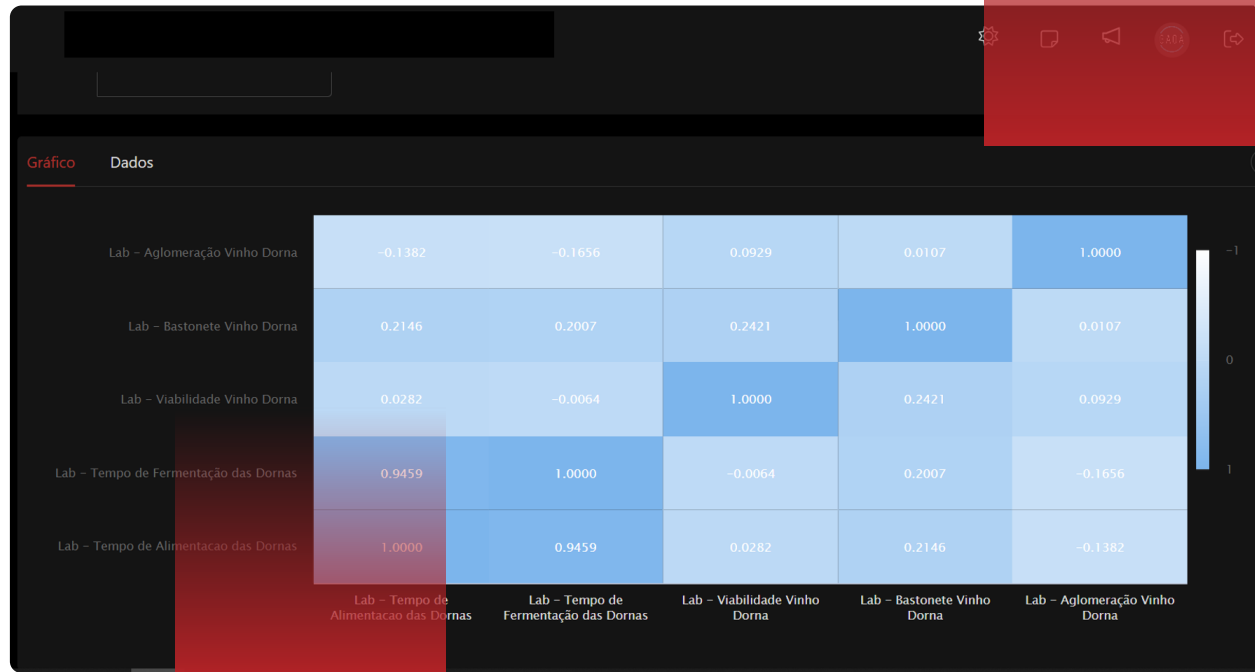
Visualizar e quantificar o relacionamento entre duas variáveis quantitativas

- Coeficiente de correlação R (-1 a 1)
- Coeficiente de determinação R^2 (0 a 1)



Matriz de Correlação

Tabela que mostra os coeficientes de correlação entre todas as combinações de variáveis em um conjunto de dados.



Tags relacionadas Lab - Tempo de Alimentacao das Dornas - TEMPO_ALIMENTACAO x

Matriz Dados

r^2	0,913	r^2 ajustado	0,910	F de significação	0,000
	Coeficientes	Erro padrão	Valor-p		
const	1,321	0,375	0,001		
Lab - Tempo de Alimentacao das Dornas	1,020	0,055	0,000		

AOA ©2023

TÉCNICA DE ANÁLISE DE DADOS

Regressão simples

Técnica estatística que permite modelar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes.

r^2	0,929	r^2 ajustado	0,914	F de significação	0,000
	Coeficientes		Erro padrão	Valor-p	
const	4,189	2,309	0,081		
Lab - Levedo Vinho Dorna (%)	-0,123	0,064	0,064		
Lab - pH Levedo Tratado	0,047	0,693	0,946		
Lab - Bastonete Vinho Dorna	0,011	0,014	0,448		
Lab - Viabilidade Vinho Dorna	-0,002	0,003	0,523		
Lab - Tempo de Alimentacao das Dornas	0,902	0,071	0,000		
Temperatura Máxima Dornas	-0,018	0,020	0,374		

TÉCNICA DE ANÁLISE DE DADOS

Regressão múltipla

Permite identificar mais de um fator influente em um processo, controlar variáveis relevantes e fazer previsões mais precisas.



Uso de datos - Estudios de caso

Estratégias operacionais de fermentação com uso de dados em tempo real





Definição do problema



Alterando a produção

PRODUÇÃO ETANOL	800 MLPD	500 MLPD
Preparo de mosto		
ART (%)	18,1	18,1
Vazão (m³/h)	309	193
Fermentação		
Volume Dorna útil (m³)	795	795
Etanol (%)	9,00	9,00
Alimentação (h)	5,40	8,64
Fermentação (h)	9,00	14,39
Centrifugação (h)	1,80	2,88
CIP / Transferência (h)	1,80	2,88
Ciclo Total (h)	12,60	20,15
Centrifugação		
Vinho bruto (m³/h)	442	276
Vinho centrifugado (m³/h)	369	230

Premissas

07 dornas

03 dornas alimentando

02 dornas fermentando

01 dorna centrifugando

01 dorna CIP / Transf.

30% pé-de-cuba



Aumento do tempo entre o final da fermentação (brix) e o início da centrifugação.

- Queda de viabilidade.
- Aumento da autólise das células.
- Proliferação bacteriana.

**ALTERANDO
A PRODUÇÃO**



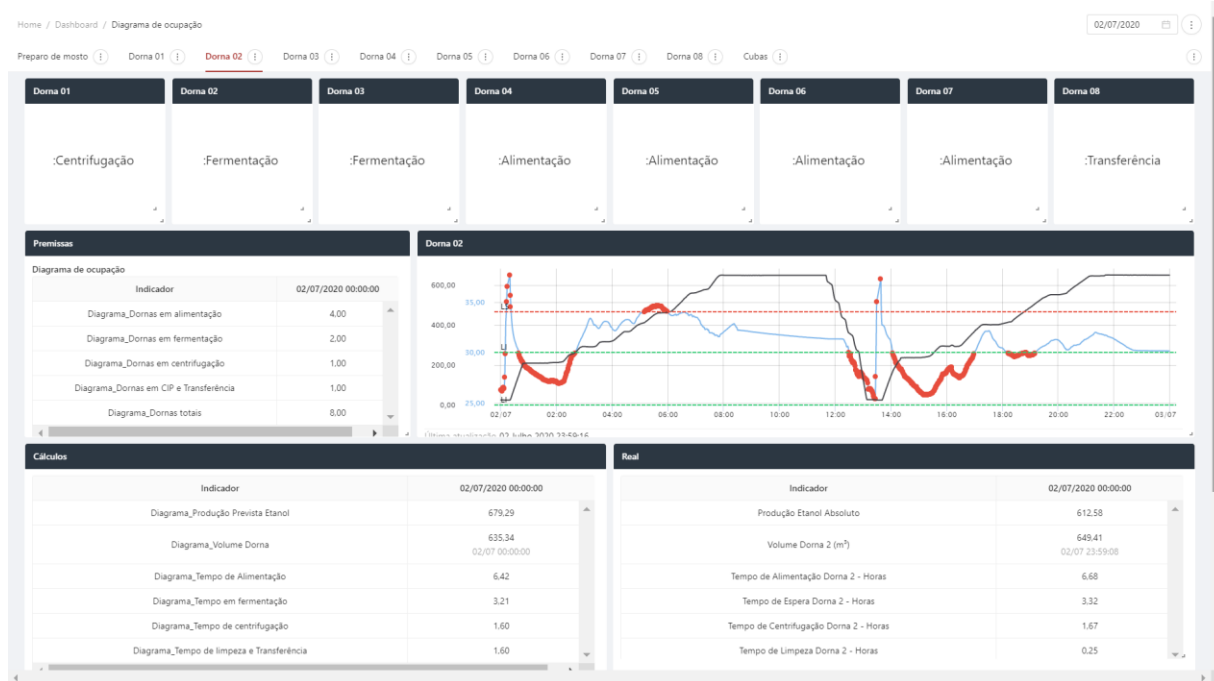


Estratégia de fermentação



- Faz cálculos de balanço de massa, energia e água que permite definir a estratégia operacional de fermentação conforme a **condição real** da planta de etanol.

SISTEMA ESPECIALISTA





Definindo o Volume da dorna

$$V \text{ útil } (m^3) = Qvb \text{ (m}^3/h) * 24 \text{ (h)} / \text{Dornas } (n^{\circ}) / \text{ciclo dia } (n^{\circ})$$

$$V \text{ útil } (m^3) = 276 * 24 / 7 / (24 / 12,59)$$

$$V \text{ útil } (m^3) = 276 * 24 / 7 / 1,91$$

$$V \text{ útil } (m^3) = 276 * 24 / 7 / 1,91$$

$$V \text{ útil } (m^3) = 495$$



Volume da dorna

PRODUÇÃO ETANOL	800	500	500
Preparo de mosto			
ART (%)	18,1	18,1	18,1
Vazão (m³/h)	309	193	193
Fermentação			
Volume Dorna útil (m³)	795	795	495
Etanol (%)	9,00	9,00	9,00
Alimentação (h)	5,40	8,64	5,40
Fermentação (h)	9,00	14,39	9,00
Centrifugação (h)	1,80	2,88	1,80
CIP / Transferência (h)	1,80	2,88	1,80
Ciclo Total (h)	12,60	20,15	12,60
Centrifugação			
Vinho bruto (m³/h)	442	276	276
Vinho centrifugado (m³/h)	369	230	230

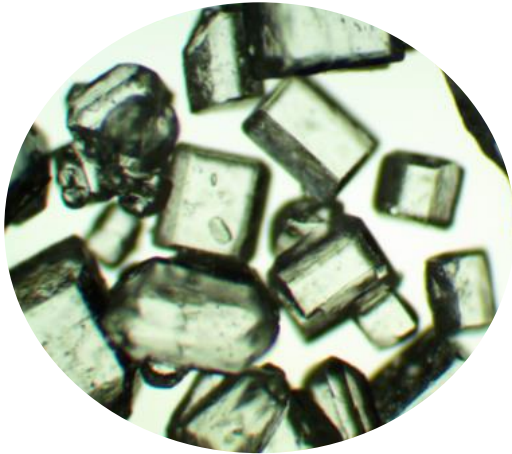


Tratamento do levedo

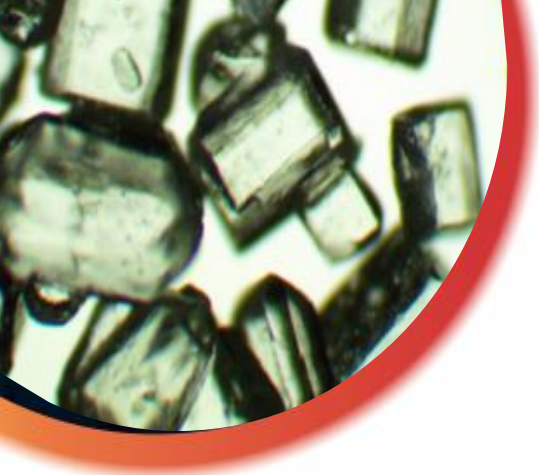
PRODUÇÃO ETANOL	800	500
Preparo de mosto		
ART (%)	18,1	18,1
Vazão (m ³ /h)	309	193
Fermentação		
Volume útil (m ³)	795	495
Etanol (%)	9,00	9,00
Centrifugação		
Vinho bruto (m ³ /h)	442	276
Vinho centrifugado (m ³ /h)	369	230
Pré-fermentação		
Volume Cuba (m ³)	239	149
Volume de creme (m ³)	119	75
Volume Água (m ³)	119	75
Volume Ácido (t)	0,48	0,30
Levedo (%)	35,0	35,0
CO2		
Vazão água (m ³ /h)	15,55	9,72

Estratégias de fabricação de açúcar com uso de dados em tempo real

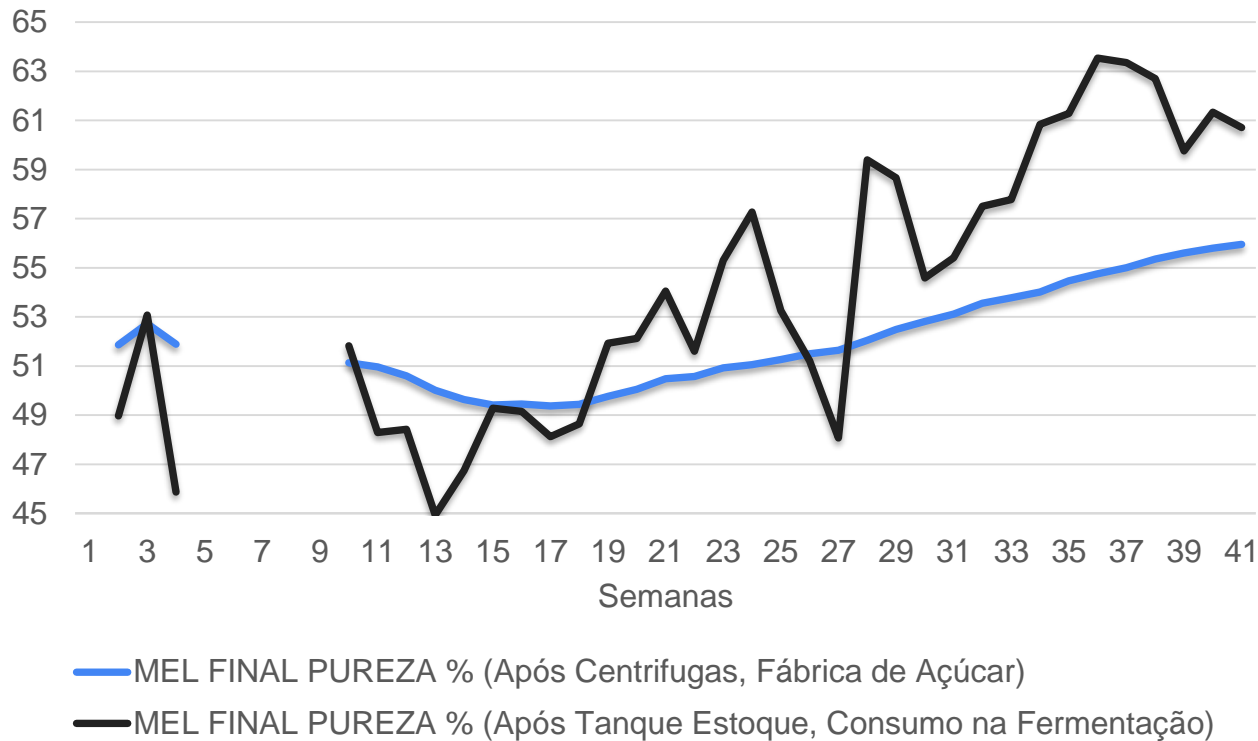


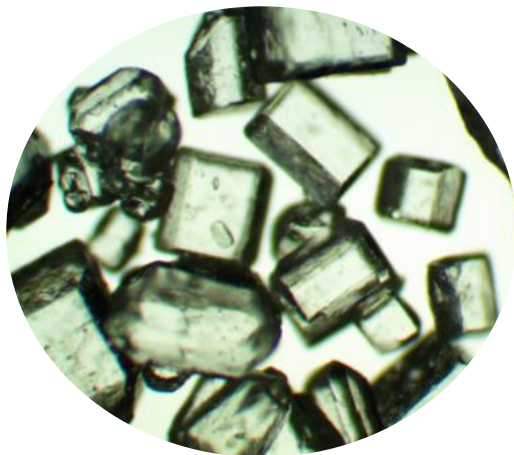


Definição do problema

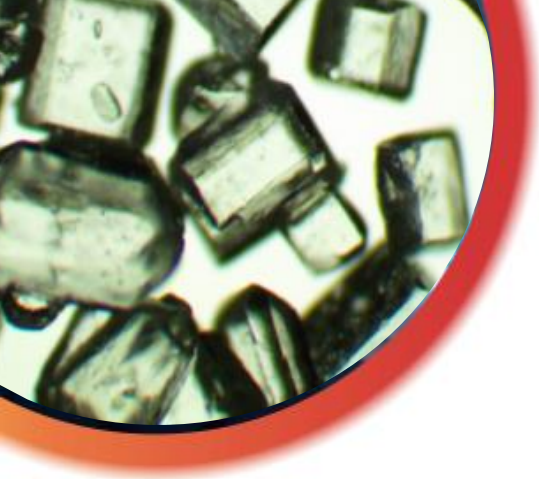


Mix de produção açucareiro





Estratégia de produção



ESTRATÉGIAS DE FABRICAÇÃO

COZIMENTOS

A padronização dos cortes deve respeitar a qualidade e granulometria do açúcar comercial, buscando equilibrar a busca por maximizar a produção em função dos equipamentos disponíveis.

Mix de produção açucareiro

- ▶ **GRANULOMETRIA**
- ▶ **TEMPO DE COZIMENTO**
- ▶ **VAZÕES**

The image shows a smartphone screen with a dark theme. The top section is titled 'Granulometria' and contains a table with two columns: 'Indicador' and '29/09/2021 ...'. Below this is a section titled 'Tempo de cozimento' with another table with the same two columns. At the bottom, there is a partially visible section titled 'Magma Diluído - (t/h)'.

Indicador	29/09/2021 ...
FÁBRICA_AM Cristalizado (mm)	0,18
FÁBRICA_AM Final Massa Cristalizada (mm)	0,26
FÁBRICA_AM Cristal 1 Corte - MB (mm)	0,33
FÁBRICA_AM Cristal Magma (mm)	0,48
FÁBRICA_AM Cristal 1 Corte - MA (mm)	0,68
FÁBRICA_AM Açúcar (mm)	0,85

Indicador	29/09/2021 ...
FÁBRICA_Tempo Cozimento Massa A (Horas)	2,07
FÁBRICA_Tempo Cozimento Massa B (Horas)	4,48

PLATAFORMA GAOA

GRANULOMETRIA

- *Os cristais crescem em volume e peso com o cubo do seu tamanho.*

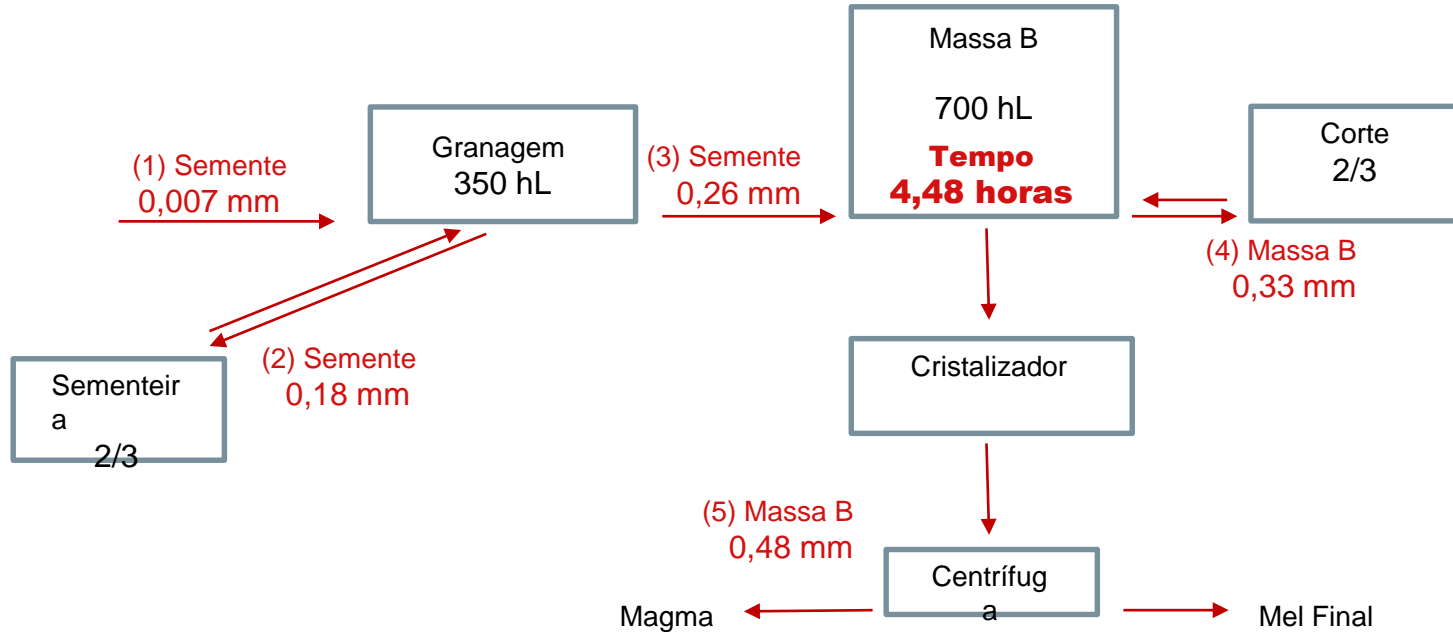
Qual o planejamento dos cozimentos para produzir açúcar comercial com 0,80 mm?

- 01 Vácuo de granagem.
- 01 Sementeira de granagem.
- 01 Cozedor de massa B.
- 01 vaso de corte massa B.
- 02 cozedores de massa A.

ESTRATÉGIAS DE FABRICAÇÃO

GRANULOMETRIA

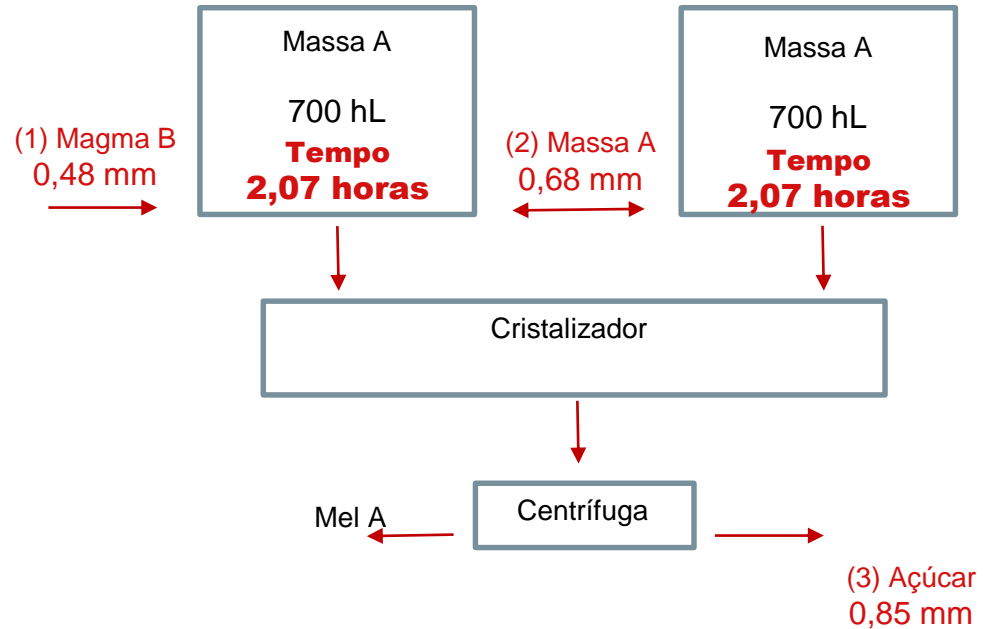
Massa B (09 cozimentos)



ESTRATÉGIAS DE FABRICAÇÃO

GRANULOMETRIA

Massa A (02 cozimentos)



PLATAFORMA GAOA

TEMPO DE COZIMENTOS



➤ **TEMPO DE COZIMENTO**

➤ **DIGITALIZAÇÃO**

Registro automático dos cozimentos
(número, tempo, temperatura, brix, pressão
de vapor).

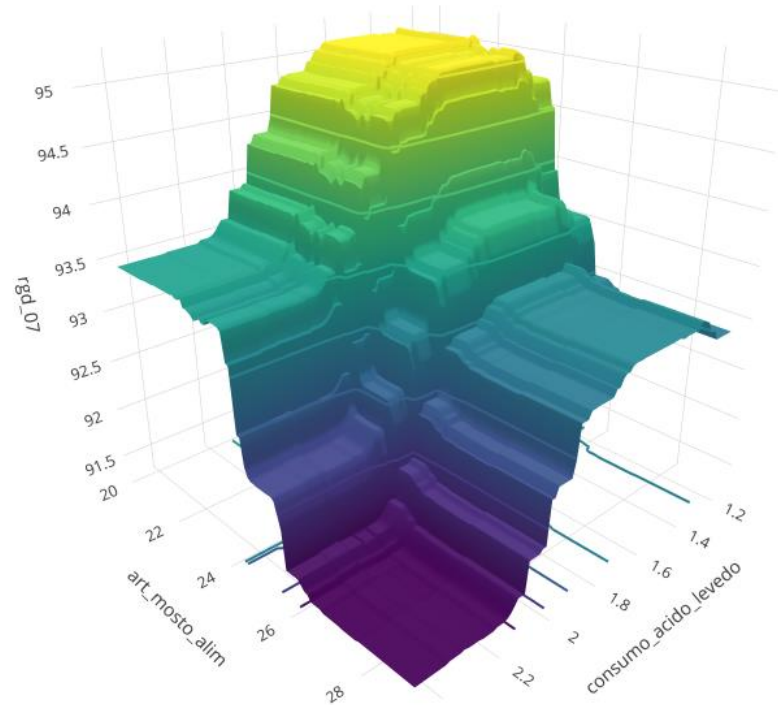
Identificando perdas de performance (RTC %) com dados





ANÁLISE ESTATÍSTICA

- Correlaciona cada variável contra todas as outras, identificando rapidamente padrões consistentes.

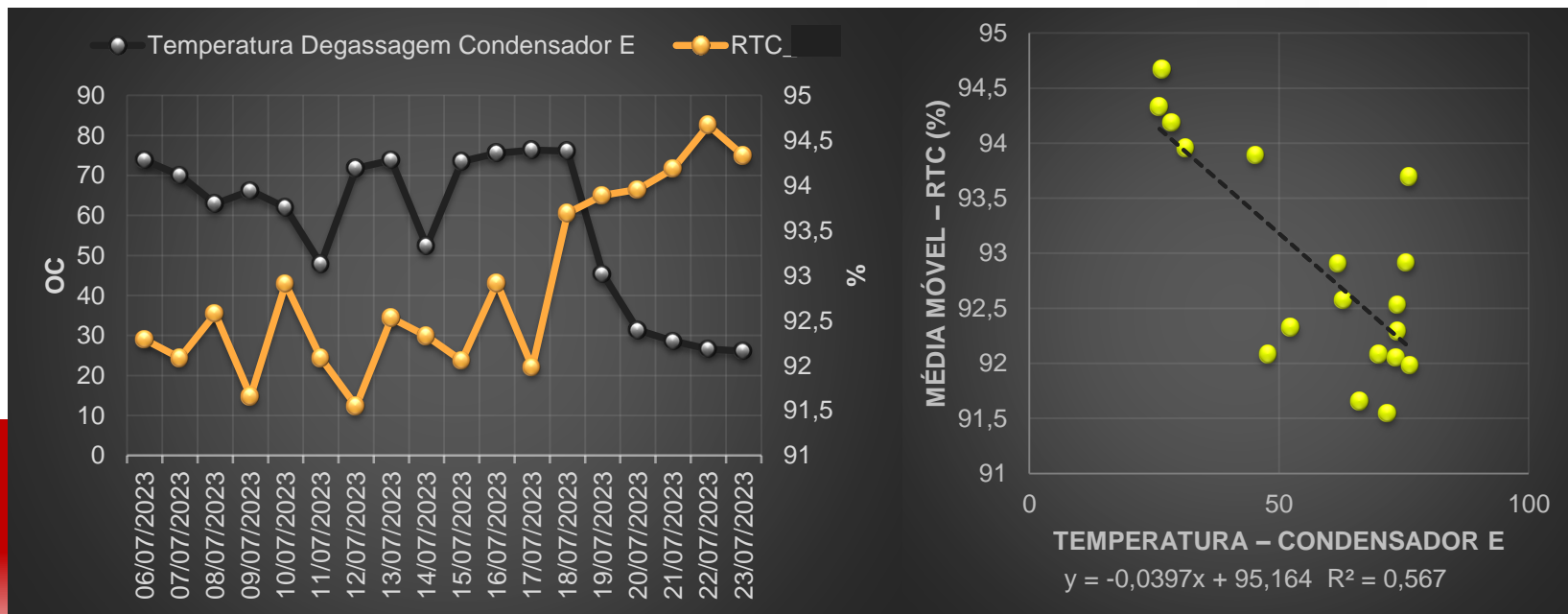


CASOS DE SUCESSO

Temperatura Condensador - E

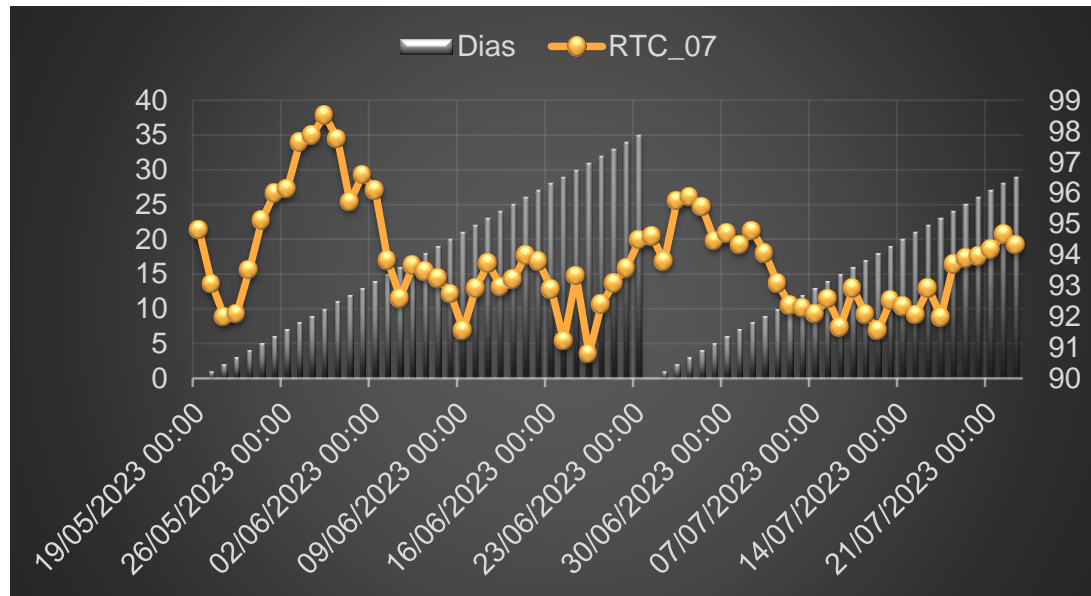
RTC (%)

0,99%



CASOS DE SUCESSO

Tempo de campanha – cozedor contínuo



Menos 15 dias

Mais 15 dias

RTC > 94%

20

4

RTC < 94%

11

31

p value 0,00000766

CASOS DE SUCESSO

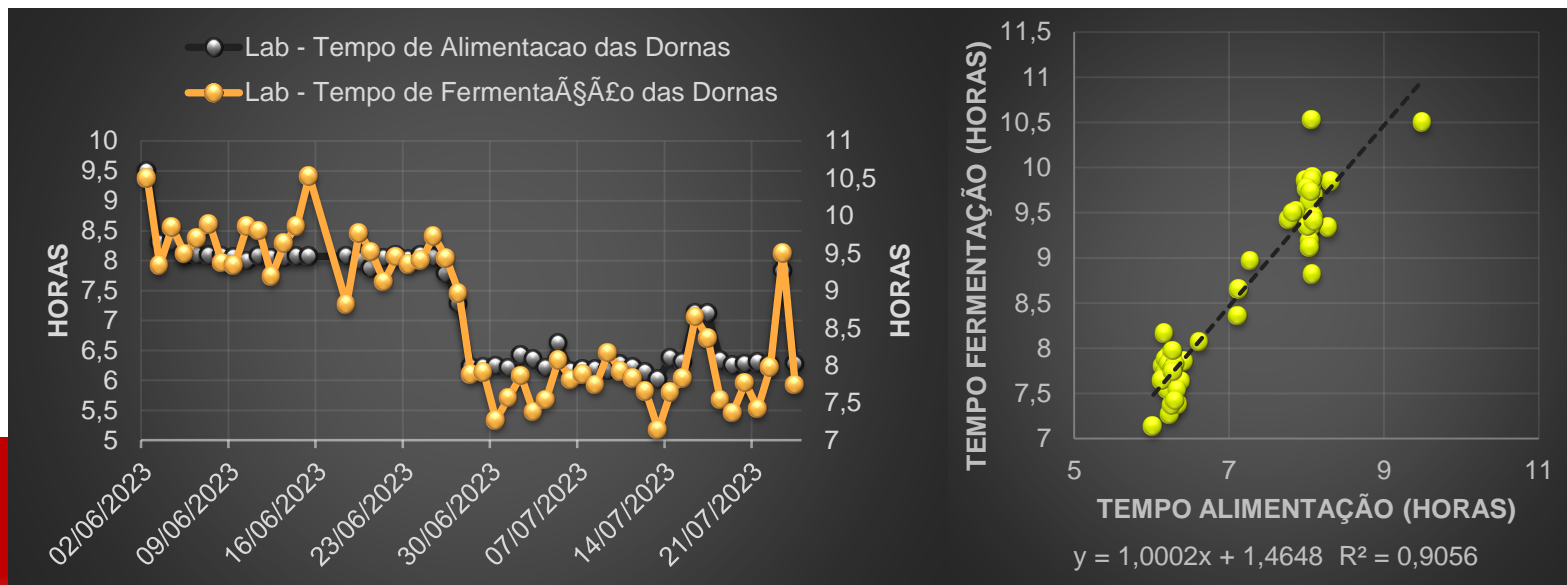
Tempo de Fermentacao

ANTES

970 MLPD

DEPOIS

1220 MLPD



Usina 4.0: Projeto aplica inteligência artificial para aumentar produtividade de usinas

Fermentec e UFSCar receberão aporte de R\$ 2,2 milhões para desenvolvimento de inteligência artificial usada no aumento da produtividade industrial e na redução da produção de vinhaça

NovaCana - Publicado: 15 Jun 2022 - 09:14



O projeto, intitulado “Aplicações de inteligência artificial para aumento da produtividade industrial e redução da vinhaça em usinas de açúcar e etanol”, marca uma parceria entre a Fermentec e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A intenção é otimizar o bioprocesso de fermentação para produção de etanol, por meio da adoção de um fluxo de dados em tempo real e de algoritmos computacionais que permitam ampliar a produtividade industrial e reduzir a produção de vinhaça.

O valor do instrumento é de R\$ 2,2 milhões com uma contrapartida de R\$ 682,65 mil. A vigência estabelecida foi de 36 meses.



EXCELÊNCIA OPERACIONAL E
MELHORIA CONTÍNUA

O PODER DA TRANSFORMAÇÃO

A combinação da expertise humana com a capacidade das tecnologias digitais cria um ambiente propício para alcançar novos patamares de desempenho operacional.



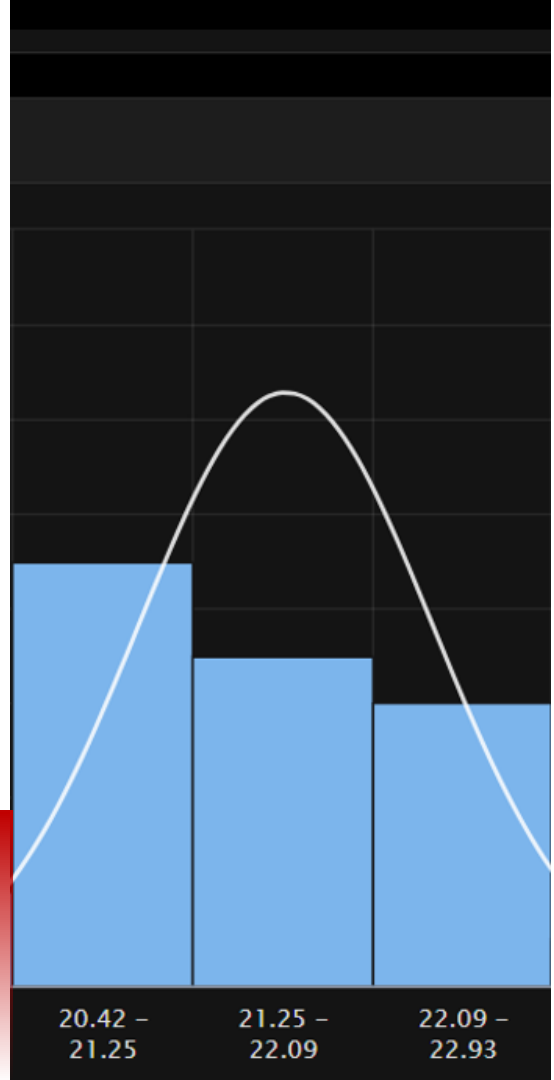
PESSOAS: fator-chave para impulsionar a melhoria contínua.



TECNOLOGIA DIGITAL: Inédita rapidez na tomada de decisão.



PROCESSOS: estrutura e a metodologia para conduzir as mudanças



O que é o NIR?



Sucesso do NIR depende da sua calibração



Estatísticas de avaliação de desempenho do modelo de calibração

✓ Viés (bias)

■ RMSECV

■ RDP

■ MAE

✓ Coeficiente de determinação (R^2)

✓ RMSEP

■ RER

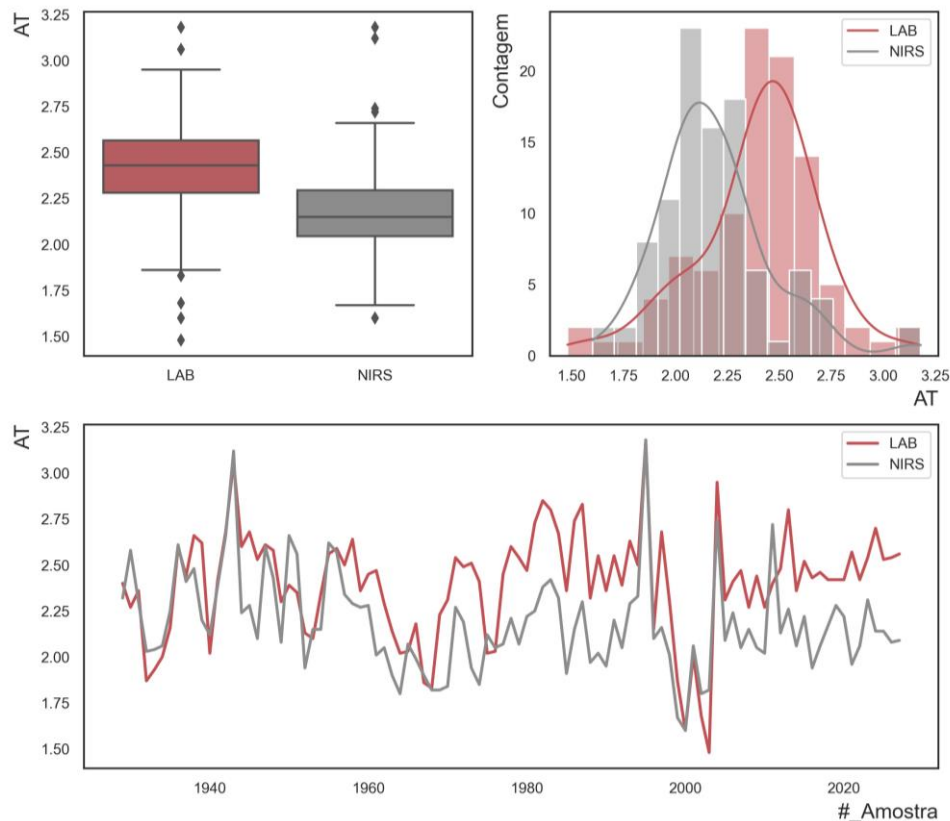
■ MAPE

Viés (Bias)

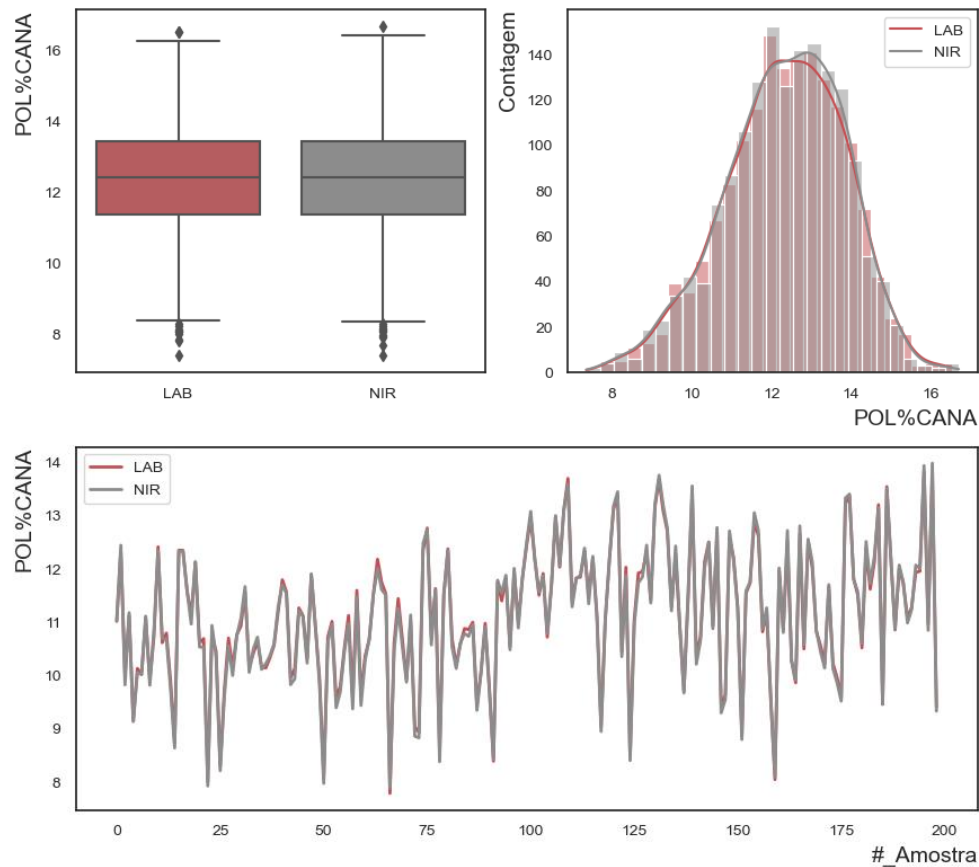
Tendência do modelo prever valores mais altos ou mais baixos do que os valores reais indicando erro sistemático.

$$viés = \frac{\sum_{P=1}^P (y_P - \hat{y}_P)}{P}$$

- Deve ser próximo de zero
- Se for significativo identificar causas e ajustar modelo.



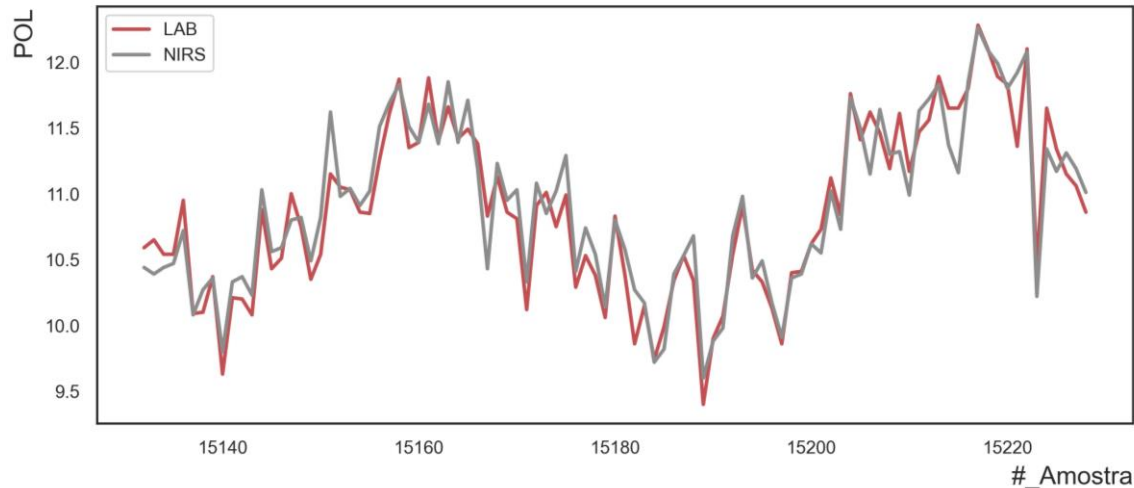
Viés (Bias)



RMSEP

Medida da exatidão do modelo

- < 2x o Erro Padrão do Laboratório
- < 10x a amplitude da concentração das amostras
- Deve ser adequado ao uso pretendido

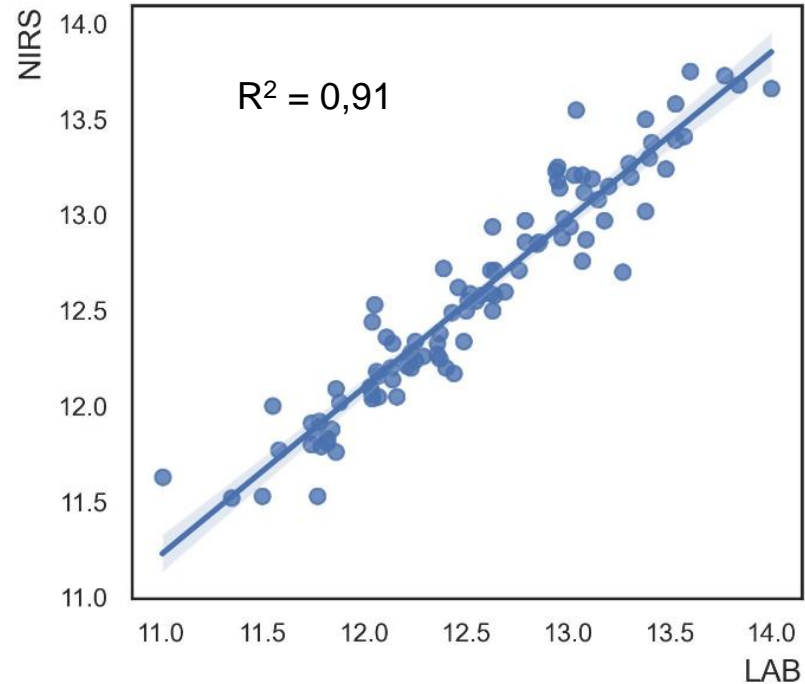


$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n_{\text{samples}}} \sum_{i=0}^{n_{\text{samples}}-1} (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

R²

Medida estatística usada para avaliar a qualidade de um modelo

- 0,66 a 0,81 previsões quantitativas aproximadas
- 0,82 a 0,90 adequado para uma boa predição
- > 0,91 excelente



Quais ferramentas de monitoramento devo utilizar?

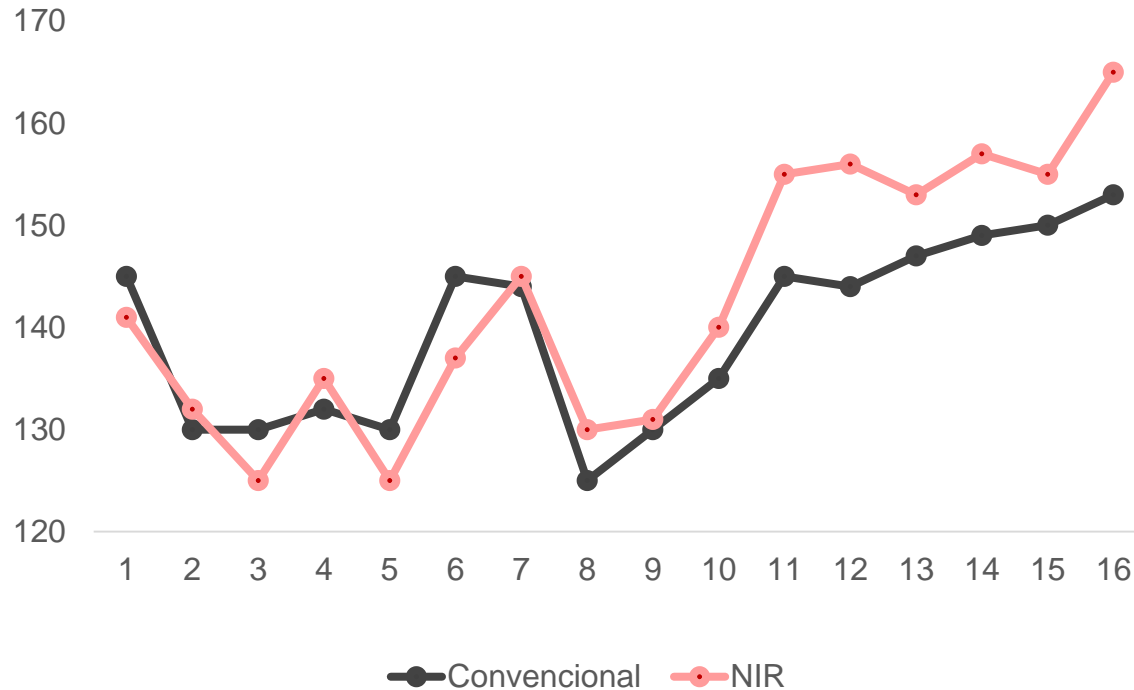
- 1) Monitoramento comparativo entre as análises convencionais e a determinação pelo NIR, considerando o erro padrão (RMSEP)
- 2) Através de gráfico / carta controle para observar viés e tendência ao longo do tempo.

Monitoramento comparativo

Análises convencionais X NIR, Considerando o erro padrão (RMSEP)

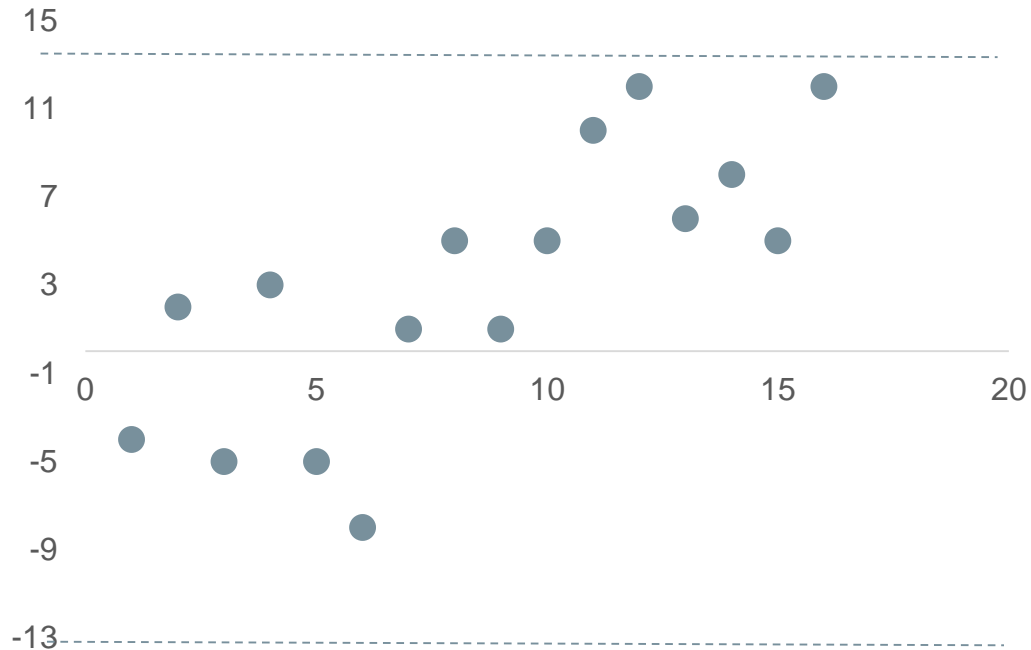
AMOSTRA / DETERMINAÇÃO	Resultado NIR	Resultado Convencional	Diferença (p.p.)	2x RMSEP
Cor do Açúcar	130	125	5	13
Cor do Açúcar	132	135	-3	13
Cor do Açúcar	140	128	12	13
Cor do Açúcar	135	132	3	13
Cor do Açúcar	135	142	-7	13
Cor do Açúcar	135	140	-5	13
Cor do Açúcar	175	151	24	13

Cor do Açúcar



**Monitoramento
através de
gráfico/carta
controle**

Diferenças Cor do Açúcar (NIR x Convencional)



**Monitoramento
através de
gráfico/carta
controle**



Fermentec





Fernando Henrique C. Giometti

Especialista de aplicação e coordenador da equipe GAOA

- Graduado em Ciências Biológicas
- Mestre em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio – IBSP
- Especialização em Agroenergia – MBA USP
- Especialização em Inteligência Empresarial - Pós MBA FGV
- Especialista de aplicação na Fermentec há mais de 15 anos
- Autor e co-autor de artigos científicos, capítulo de livros e e-book.