



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Uma análise das diferentes fontes de carboidratos para obtenção do bioetanol

Silvio Roberto Andrietta  
BioContal



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Matéria prima

- O etanol pode ser obtido de diferentes matérias primas:
  - Amido
  - Sacarose
  - Material Lignocelulósico



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

Amido

# Amido

- Fontes:
  - Raizes e cereais
    - Milho
    - Mandioca
    - Trigo
    - Semente de sorgo
    - outros



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Amido

- Composição
  - Amilose
    - Cadeia longa sem ramificação com ligações  $\alpha$ 1-4 entre as moléculas de Glicose
  - Amilopectinas
    - Cadeias de 40 unidades de glicose com ligações  $\alpha$ 1-4 com ramificações com ligações  $\alpha$ 1-6.

# Amido

- Unidade de processamento
  - Hidrólise enzimática (muito bem conhecida)
    - Amilase
      - DP4 – Polissacarídeo com 4 moléculas de glicose
      - DP3 – Polissacarídeo com 3 moléculas de glicose
      - DP2 – dissacarídeo com 2 moléculas de glicose
      - DP1 – glicose
    - Glucoamilase
      - Glicose



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Amido

- Características do hidrolisado
  - Baixo nível de inibidores de crescimento da levedura
  - Quantidade nutricional razoável
  - Apresenta quantidade significativa de sólidos insolúveis

# Amido

- Limitação da tecnologia
  - Baixa relação carbono renovável/carbono fóssil por utilizar combustíveis fósseis para gerar energia
  - Compete diretamente com alimentos
  - Geralmente necessita de grande volume de água no processamento exigindo recirculação de vinhaça



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

Sacarose

---



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Sacarose

- Fontes:
  - Cana de açúcar
    - Caldo de cana
    - Melaço (subproduto da fábrica de açúcar)
  - Beterraba
  - Sorgo sacarídeo



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Sacarose

- Características da matéria prima
  - Não é necessário adição de enzimas
    - As células de levedura possuem a enzima para hidrólise da sacarose (invertase)
  - Apresenta baixa concentração de sólidos insolúveis
  - Necessita de pouca água para o preparo de mosto e geralmente esta é oriunda do condensado de vapores obtidos da evaporação do próprio caldo

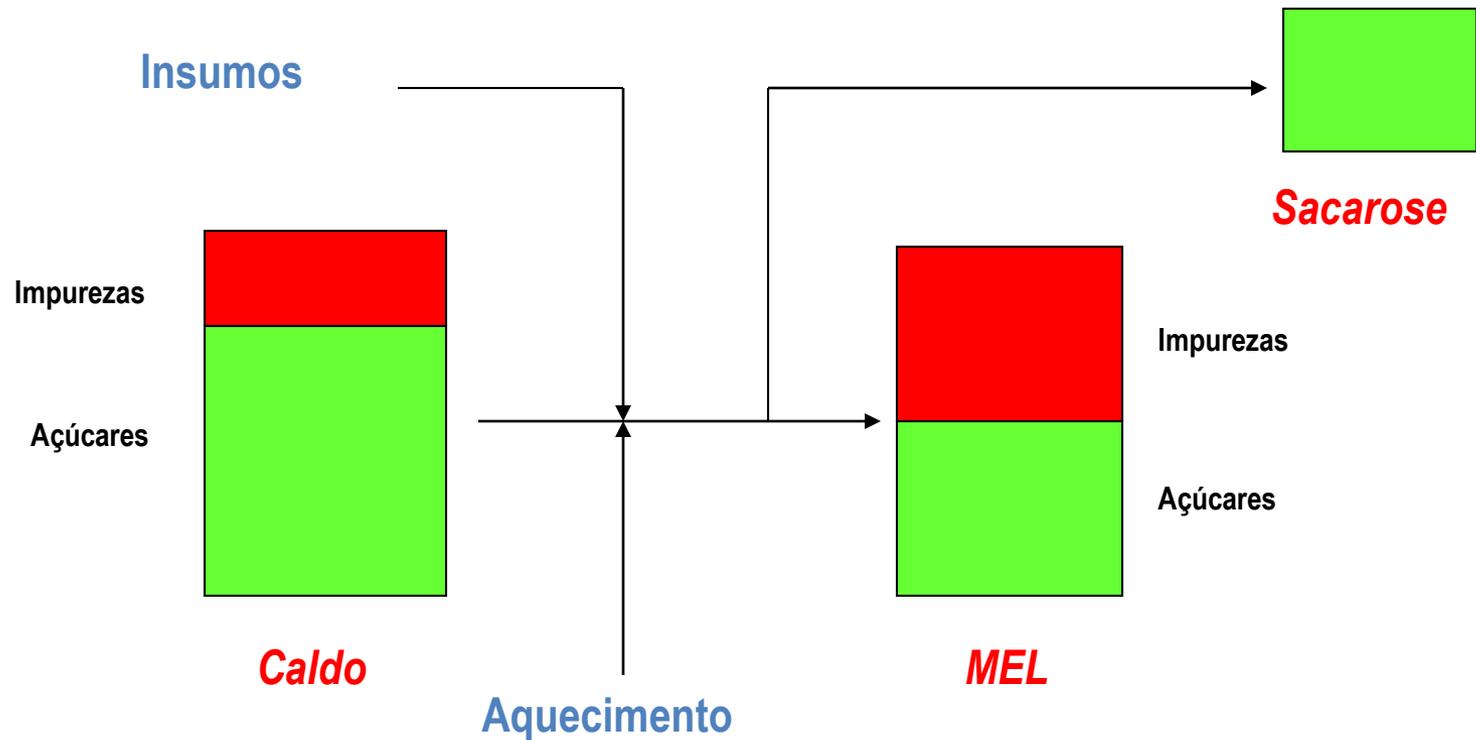


**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

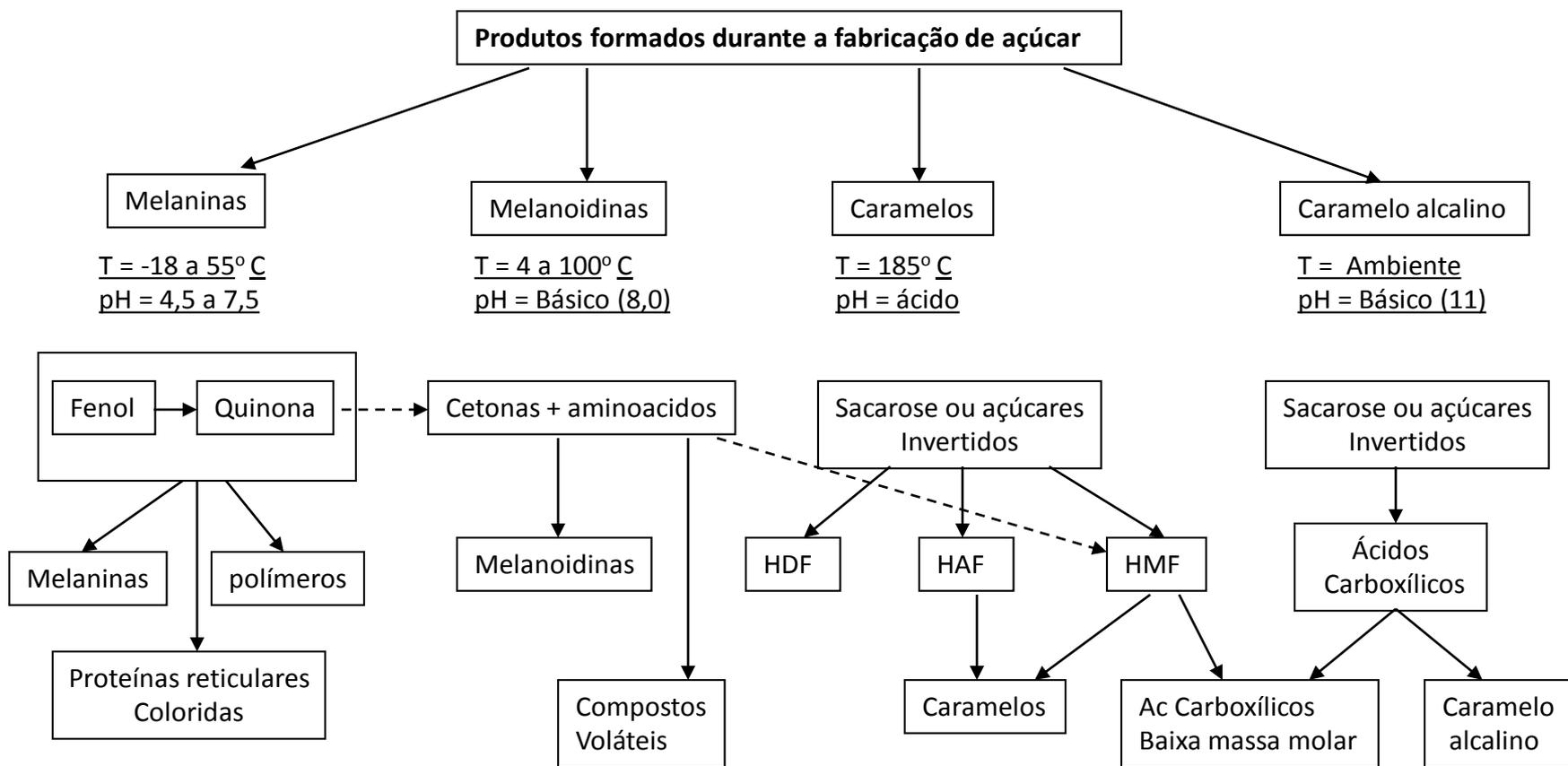
# Sacarose

- Diferença entre caldo e melaço
  - Caldo
    - Menor nível de nutrientes
    - Menor nível de inibidores
  - Melaço
    - Mais nutrientes em relação ao açúcar
    - Maior nível de inidores

# Diferenças entre mel e caldo



# Decomposição de glicose e frutose







Material  
Lignocelulósico

---



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Material Lignocelulosico

- Fontes:
  - Qualquer material vegetal
    - Celulose ----- Glicose (hexose)
    - Hemicelulose ---- Xilose (pentose)
  - COALBRA - pinos e eucaliptos
  - Granbio - Palha de cana
  - Raizen – Bagaço de cana
  - BlueFire – Grama e restos vegetais Los Angeles

# Material lignocelulosico

- Processamento
  - Pré-tratamento
    - Cozimento
    - Explosão da estrutura
  - Hidrólise
    - Celulase



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Material lignocelulósico

- Características do hidrolisado
  - Alto nível de inibidores de crescimento da levedura
  - Pobre em nutrientes
  - Contém grande quantidade de sólidos insolúveis
  - Baixa concentração de açúcares fermentescíveis
  - Contém pentose exigindo leveduras GMO



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Material lignocelulose

- Limitação da tecnologia
  - Enzima não trabalha bem em alta concentração de sólidos
  - Baixa concentração de açúcares no hidrolisado
  - Baixa concentração de etanol no vinho
  - Grande consumo de energia e água
  - Alto custo da enzima
  - Alto custo de manutenção do pré-tratamento

# TIPOS DE PROCESSO DE FERMENTAÇÃO

---



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Tipos de Processo

- Quanto a utilização das células de levedura
  - Processos com reciclo de células
    - Separação, regeneração e reutilização das células do ciclo anterior
  - Processos de um único ciclo
    - Propagação de um inóculo para cada ciclo

# Tipos de Processo

- Quanto a forma de operação
  - Processos batelada alimentada
    - Fermentadores agitados
    - Carga do inóculo
    - Alimentação
  - Processos contínuos
    - Fermentadores agitados
    - Alimentação de mosto e inóculo de forma contínua



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

## Tipo de processo – Quando utilizar

- Processo contínuos
  - Somente quando tem-se operação com pouca interrupção, utiliza matéria prima de boa qualidade, instalação sanitárias e massa celular em processo elevada
- Com reciclo de célula
  - Para mostos que apresentam baixa concentração de sólidos insolúveis na sua composição
  - Linhagens de levedura estáveis geneticamente e com grande capacidade de dominância.

# Tipo de processo e matéria prima

- Amido (milho)
  - Possui sólidos insolúveis em sua composição
    - Processo com único ciclo
  - Baixa concentração de células no vinho
    - Processo batelada alimentada



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Tipo de processo e matéria prima

- Sacarose (Caldo e melaço de cana de açúcar)
  - Possui baixa concentração de sólidos insolúveis
    - Processo com ou sem reciclo
  - Alta concentração de células no vinho
    - Processo batelada alimentada ou contínuo



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

## Tipo de processo e matéria prima

- Material lignocelulósico
  - Possui alta concentração de sólidos insolúvel no hidrolisado e utiliza células geneticamente modificadas
    - Processo sem reciclo
  - Baixa concentração de células no vinho
    - Processo batelada alimentada

# Tipos de processo consorciados

---



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Tipo de processo consorciado

- Amido / sacarose
  - Durante a safra, pode-se utilizar excedente de células da fermentação de sacarose para inóculo de fermentação de milho
  - Dependendo da tecnologia de preparo de hidrolisado, a planta de etanol de sacarose pode ser utilizada na entressafra para fermentação de milho.

# Tipo de processo consorciado

- É possível trabalhar com reciclo de célula para o processo de milho?
  - Mesmo com a tecnologia que permite diminuir a quantidade de sólidos no hidrolisado, o reciclo utilizando nossas centrífugas não.
  - Utilizando as decanters, talvez. Mas deve-se lembrar que a quantidade de sólido no hidrolisado é maior que a de células, então depois de alguns ciclos, toda a massa deve ser substituída.



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Tipo de processo consorciado

- Para quem quer economizar na aquisição de levedura para a partida pode utilizar a estratégia de deixar 10% do vinho contido no fermentador e reutiliza-lo.
- Melhor do que tentar centrifugar

# Tipo de processo consorciado

- Lignocelulósico / sacarose
  - Se as linhas de C5 e C6 forem separada, pode-se utilizar a fermentação de sacarose para consumo da linha C6, caso esta possua baixa concentração de sólidos insolúveis e baixa concentração de inibidores
  - No entanto, deve-se ter uma planta a parte para consumo de C5.



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Tipo de processo consorciado

- Pode-se reciclar o fermento para material lignocelulósico
  - Sim se as células forem estáveis e com potencial de dominância elevado e o mosto não tenha concentração elevada de sólidos em suspensão

Observações  
importantes

---



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

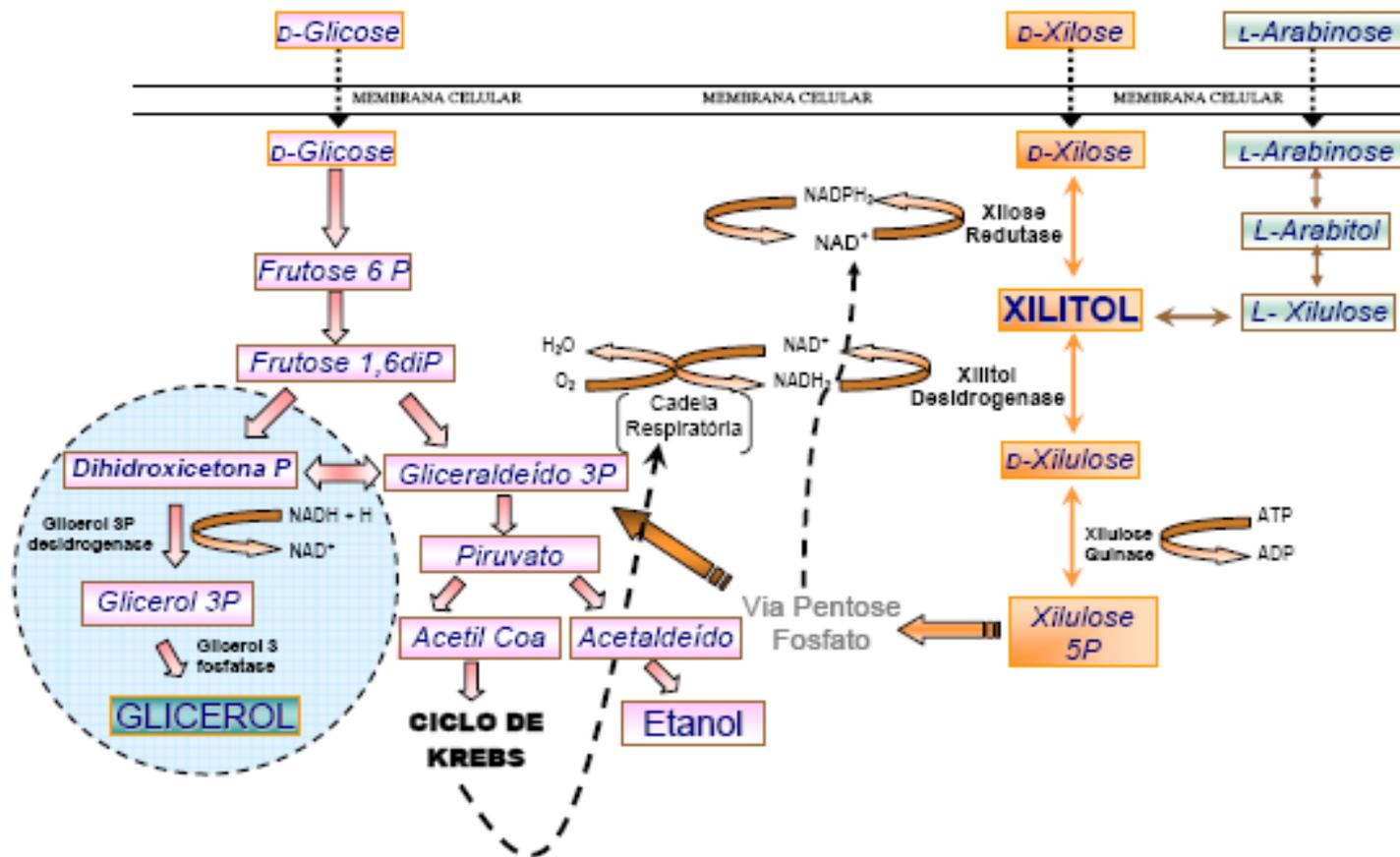
# Produção de biomassa

- Aerobiose com processo puramente oxidativo
  - Energia – 38 ATP
  - Rendimento em massa – 0,5 g MS/gART
  - Rendimento em etanol – 0 gEtOH/gART
- Aeróbico reprimido
  - Energia – entre 2 e 38 ATP
  - Rendimento em Massa – 0,1 a 0,12 gMS/gART
  - Rendimento em etanol – 0,38 gEtOH/gART
- Anaeróbico – Processo oxido-redutivo
  - Energia – 2 ATP
  - Rendimento em massa – 0,03 a 0,05 g MS/g ART
  - Rendimento em etanol – 0,46 gEtOH/gART



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso

# Caminho metabólico consumo de xilose



# Estequiometria da reação

- Hexose (glicose e Frutose)
  - Glicose ---- 2 Etanol + 2 CO<sub>2</sub>
  - 180 g hexose = 92 g Etanol
  - $Y_p = 0,511$
- Xilose
  - 3 Xilose ----- 5 Etanol + 5 CO<sub>2</sub>
  - 450 g pentose = 230 g Etanol
  - $Y_p = 0,511$



**BioContal**  
Tecnologia em Bioprocesso