Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

CNPEM

1º Workshop sobre o Estado da Arte da Tecnologia de Produção de Etanol: de Olho na Segunda Geração

Campinas – 17-18/11/2015

A integração do Pré-tratamento na Biorrefinaria da Cana-de-açúcar

Prof. Dr. Antonio Aprigio da Silva Curvelo

Instítuto de Química de São Carlos - USP

Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol - CNPEM

Sumário

- Objetivos
- Biorrefinaria de 1ª Geração: Matéria-prima e Produtos
- Biorrefinaria Integrada (1ª e 2ª Gerações): Matéria-prima e Produtos
- Biorrefinaria Integrada (Modificado): Fracionamento da Biomassa
- O Pré-tratamento é sempre necessário?
- Considerações Finais

Objetivos

- Valorização da Cana-de-açúcar
- A integração Biorrefinaria 1G + Biorrefinaria 2G
- Utilização integral de Subprodutos e Efluentes
- Necessidade de Fracionamento / Pré-tratamentos
- Conclusões

Biorrefinaria de 1ª Geração

Produção de Açúcar / Álcool / Energia - Cogeração

Biorrefinaria de 1ª Geração
Produção de Açúcar / Álcool / Energia - Cogeração

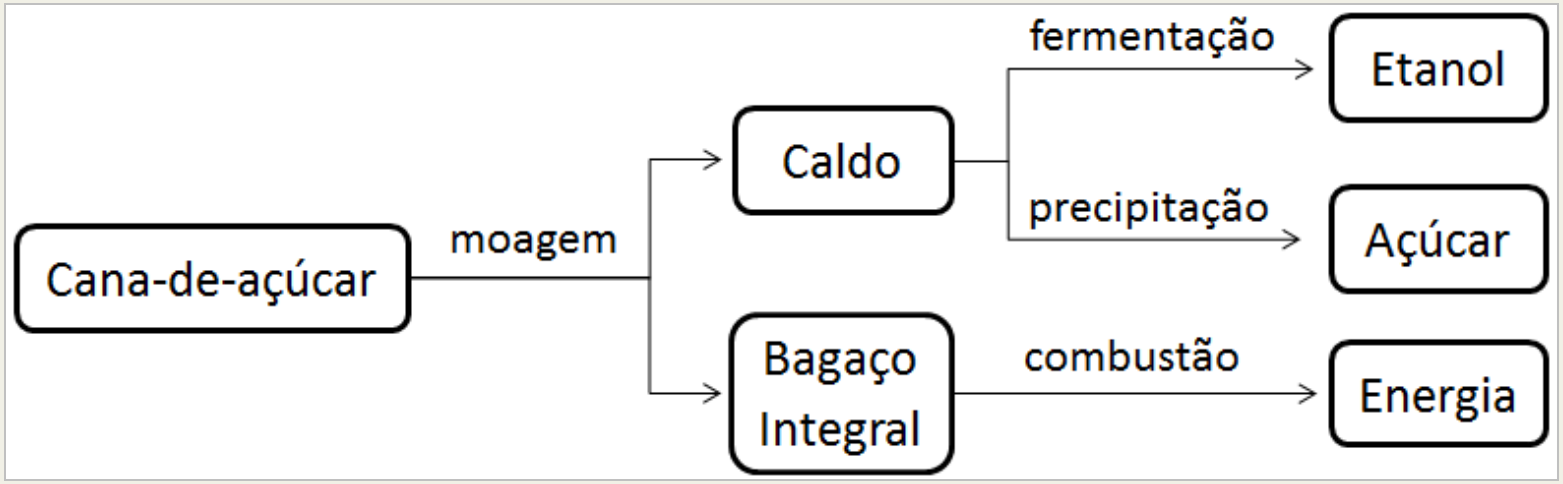


Figura 1. Fluxograma de produção de etanol de 1ª geração

A Cana-de-açúcar na Biorrefinaria de 1ª Geração

- ***Matéria-prima*:** Colmo integral
- ***Processo*:** Moagem
- ***Produtos*:** (Caldo – Sacaroses) Açúcar e Etanol
- ***Subprodutos*:**
  - ✓ Bagaço de Cana-de-açúcar
    - ➢ Cogeração – Ração animal
  - ✓ Folhas / Palha: Permanece no campo
  - ✓ Torta de filtro: Volta ao campo
  - ✓ Vinhaça: Volta ao campo
  - ✓ Cinzas: Volta ao campo

Biorrefinaria Integrada (1ª Geração e 2ª Geração)

Produção de Açúcar / Álcool / Energia – Cogeração / Derivados

A nascente indústria de Etanol 2G deve se associar com a indústria de Etanol 1G (consolidada)?

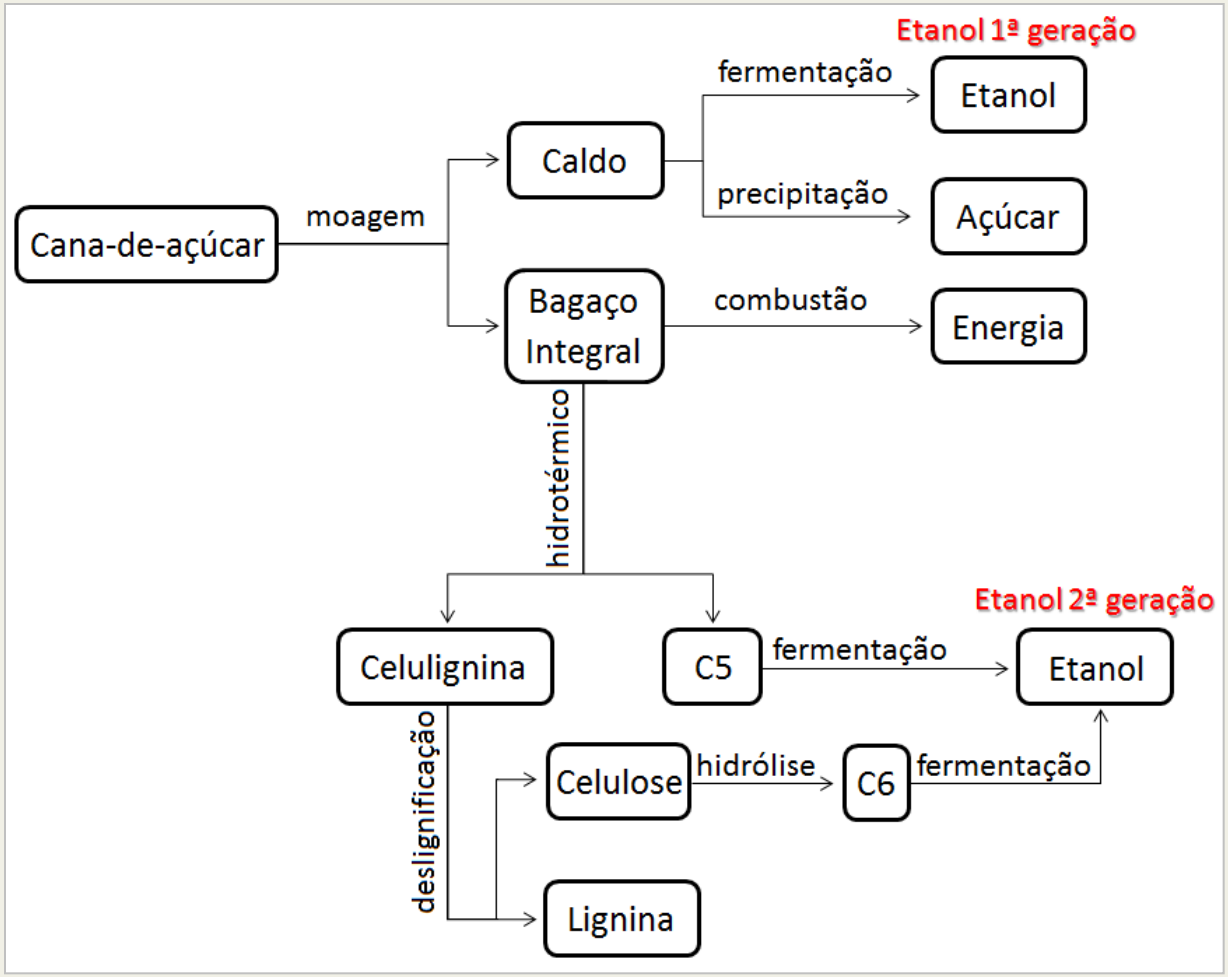


Figura 2. Fluxograma de produção de etanol reunindo a 1ª e a 2ª gerações.
(C5 representam pentoses – principalmente xilose e C6 representa glicose)

A Cana-de-açúcar na Biorrefinaria Integrada

1ª Geração – (2ª Geração)

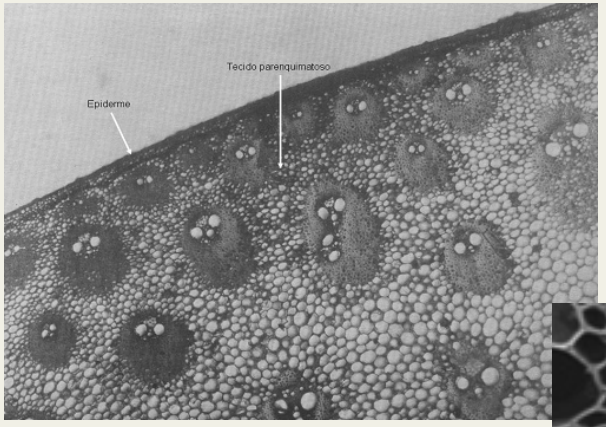
- ***Matérias-primas*:**
  - ➢ Colmo integral – (Folhas/Palha e Bagaço de Cana-de-açúcar)
- ***Processos*:** Moagem – (Pré-tratamento (?) e Hidrólise)
- ***Produtos*:** [Caldo – Sacaroses] – [Glicose] – Açúcar e Etanol (Etanol)
- ***"Subprodutos"*:**
  - ✓ Bagaço de Cana-de-açúcar (Hemiceluloses, açúcares C5 e Lignina)
    - ➢ Cogeração (Bagaço - Lignina), Ração animal – Derivados C5 e Lignina
  - ✓ Folhas / Palha: Permanece no campo (Matéria-prima Etanol 2ª geração)
  - ✓ Torta de filtro: Volta ao campo
  - ✓ Vinhaça: Volta ao campo
  - ✓ Cinzas: Volta ao campo

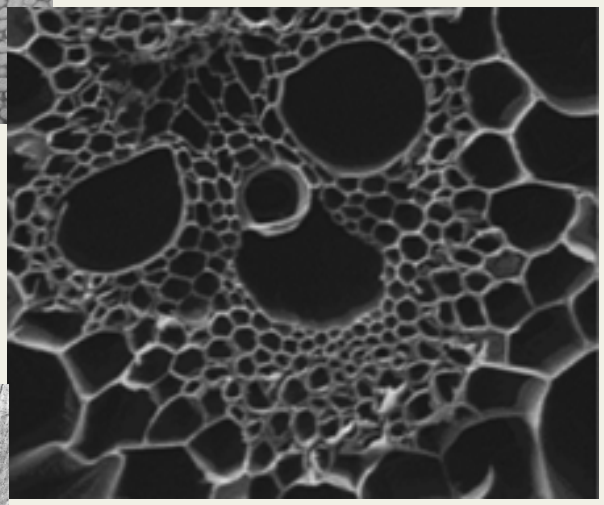
Biorrefinaria Integrada Modificada (1ª Geração e 2ª Geração)

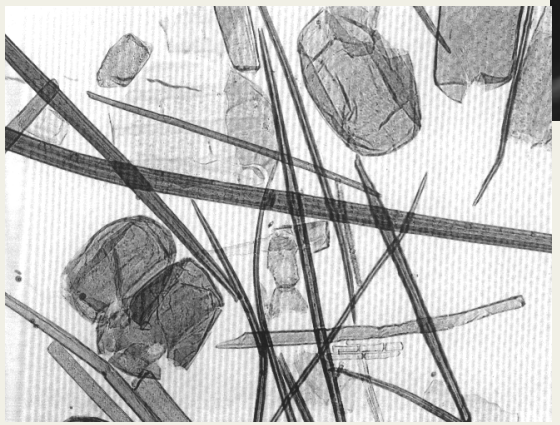
- Separação Frações Fibra / Medula –

Produção de Açúcar / Álcool / Energia – Cogeração / Derivados

A Cana-de-açúcar: Estruturação em Tecidos







Recalcitrância das Frações *Rind* e *Pith* da Cana-de-açúcar (1/2)

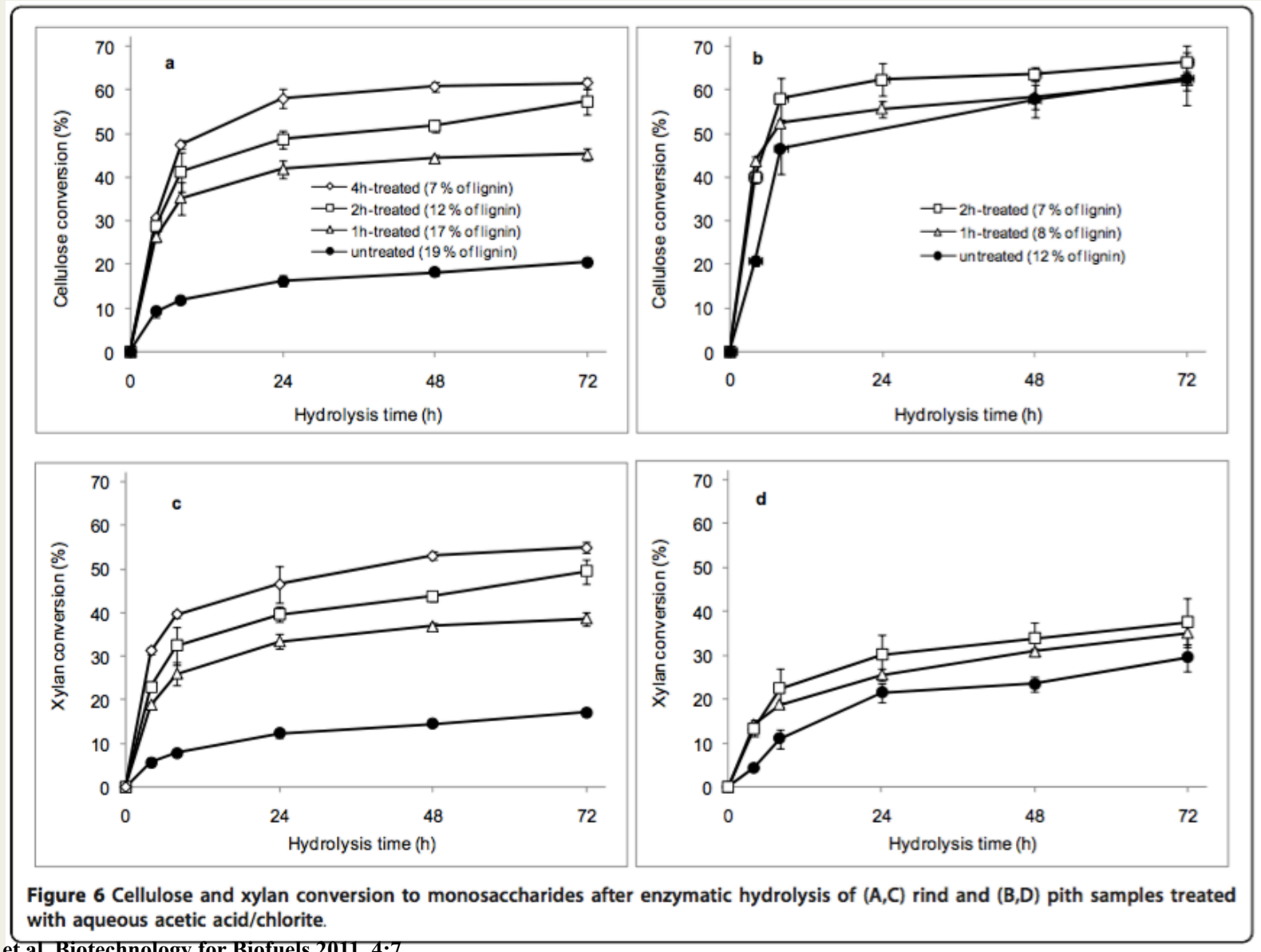


Figure 6 Cellulose and xylan conversion to monosaccharides after enzymatic hydrolysis of (A,C) rind and (B,D) pith samples treated with aqueous acetic acid/chlorite.

Siqueira et al. Biotechnology for Biofuels 2011, 4:7

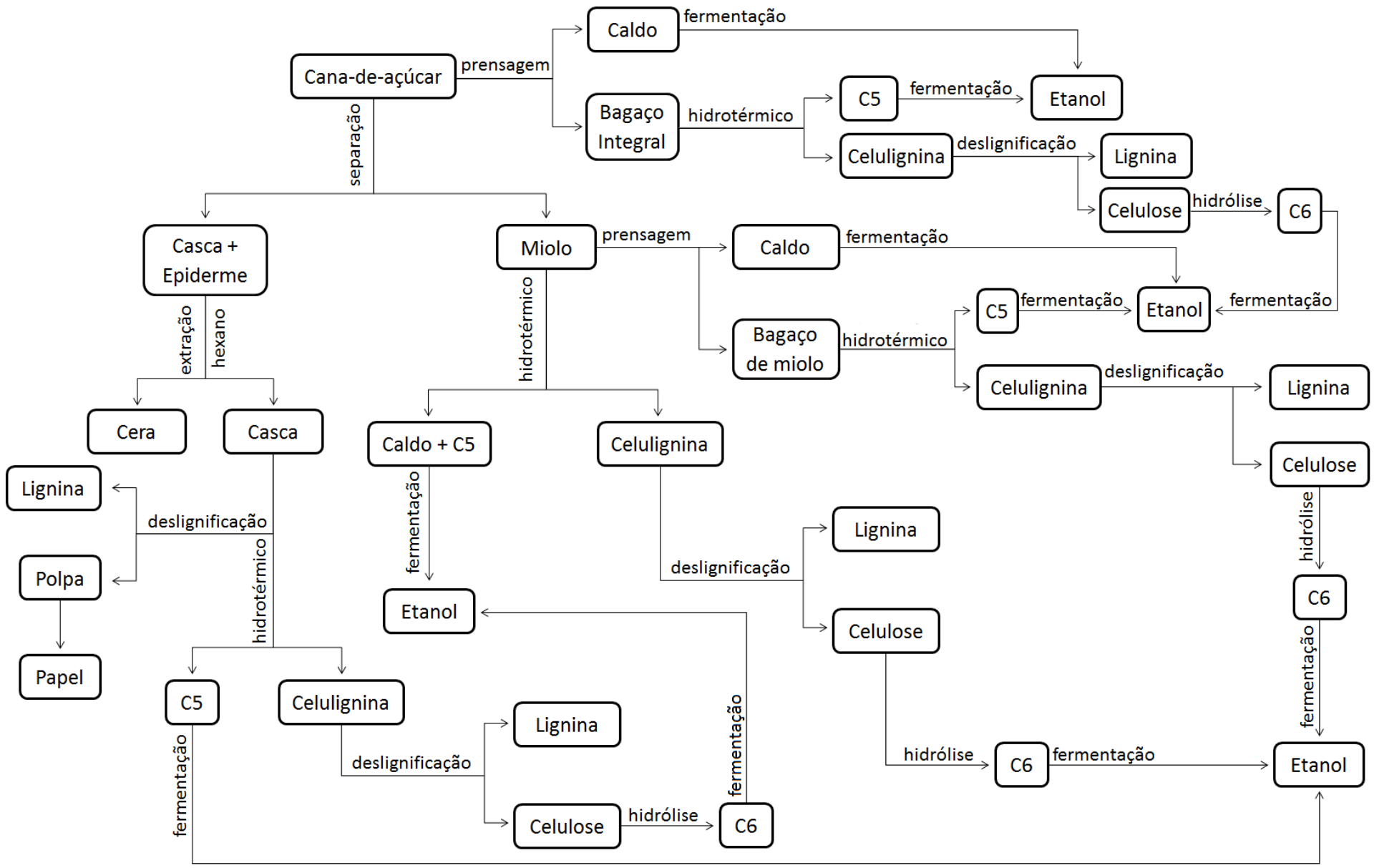
Recalcitrância das Frações *Rind* e *Pith* da Cana-de-açúcar (2/2)

Tabela 21. Massa resultante do bagaço da cana-de-açúcar após a hidrólise enzimática com os caldos enzimáticos (1 U FPase) dos fungos *M. racemosus* CBMAI 847 e *A. sydowii* CBMAI 934

Amostras tratadas (min)	Massa final (%) (*M. racemosus* CBMAI 847)	Massa final (%) (*A. Sydowii* CBMAI 934)
Bagaço (0 min)	80	79
Bagaço (20 min)	66	35
Bagaço (40 min)	78	35
Bagaço (60 min)	80	39
Bagaço (80 min)	76	27
Bagaço (100 min)	76	22
Medula (100 min)	63	19
Casca (100 min)	70	44

Santos, D.A. – Exame de Qualificação Doutorado – IQSC – USP - 2015

Biorrefinaria Integrada - Modificada.

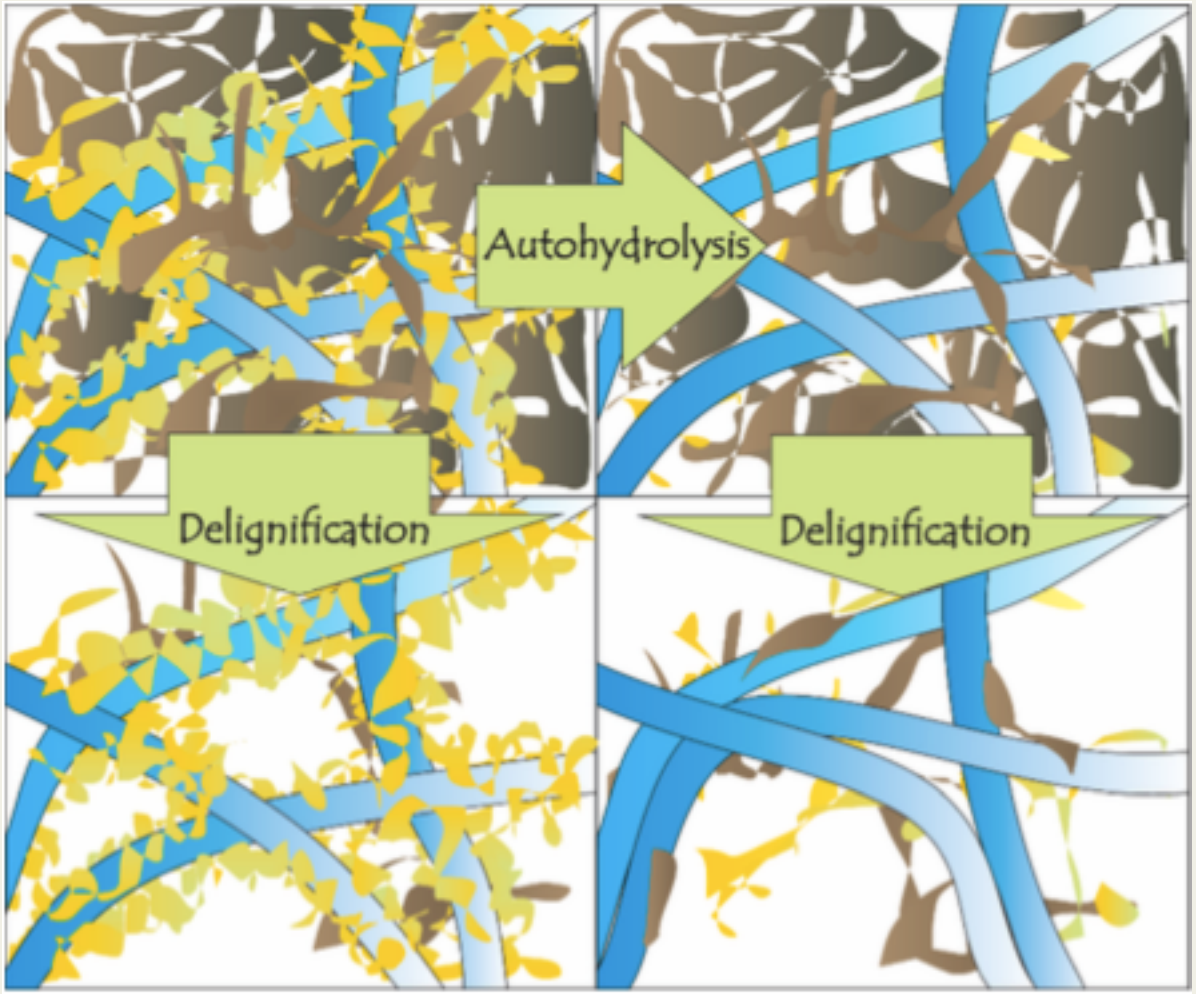


A Cana-de-açúcar na Biorrefinaria Integrada (Modificada)

- ***Matérias-primas***:
  - **Colmo – Fração Medula e Fração Fibra**
  - **Bagaço de Cana-de-açúcar – Fração Medula**
  - **Folhas / Palha**
- ***Processos***:
  - Moagem – Fracionamento; Extração; Pré-tratamento (?) e Hidrólise
- ***Produtos***:
  - Açúcar; Etanol; Cogeração; Ração animal; Fibra "industrial"; Blocos Químicos e Extrativos
- ***Subprodutos***:
  - Torta de filtro: Volta ao campo
  - Vinhaça: Volta ao campo
  - Cinzas: Volta ao campo

Os processos de Pré-tratamento são (sempre) necessários?

Pré-tratamentos na Biorrefinaria de 2ª Geração



Physical effects of pretreatments. Native lignocellulose (top left), with cellulose fibrils (blue) embedded in a matrix of hemicelluloses (yellow) and lignin (brown). Delignification reveals large pores, while the hemicelluloses supports the fibril network. Autohydrolysis reveals cellulose surface, but accessibility is limited by lignin. Subsequent delignification leads to collapse of the network. (Ville Pihlajaniemia et al, Green Chem, 2015)

Os processos de Pré-tratamento são (sempre) necessários?

1. Produto derivado de Lignina

Cana-de-açúcar	Licor Soda	Lignina	Bagaço
Rendimento (%)	1,2	2,1	4,0

2. Produto derivado de Celulose

	Produto A		Produto B	
Cana-de-açúcar	Polpa	Bagaço	Polpa	Bagaço
Rendimento	47	42	39	47

1. Qual a melhor Matéria-prima Lignocelulósica?

Produto derivado de Lignina

Matéria-prima	Bagaço de Cana	*Pinus* taeda	Fibra de coco verde
Teor de Lignina (%)	22,5	27,8	29,6
Processo A (%)	9,5	21,7	15,3
Processo B (%)	3,9	11,4	4,0

2. Qual o melhor Tecido Vegetal em uma mesma Planta?

Produto derivado de Lignina

Cana-de-açúcar	Rendimento (%)
Palha	9,5
Bagaço	7,8

Considerações Finais

- **Biorrefinaria 2ª geração induzindo mudanças nos processos de 1ª geração**
- **Os produtos desejados devem nortear a escolha da Matéria-prima e do Pré-tratamento / Tratamento**
- **Aproveitamento integral de todas as frações e subprodutos do processo**
- **Otimização dos balanços de água e energia**

Agradecimentos aos Estudantes, Colaboradores e