



Centro de Ciência e
Tecnologia do Bioetanol

Technological Demands for Higher Generation Process for Ethanol Production

Carlos Eduardo Vaz Rossell
carlos.rossell@bioetanol.org.br

Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)

BIOEN Workshop on Processes for Ethanol Production

September 10th 2009-São Paulo, Brazil



Identificação das barreiras que estão impedindo atingir uma tecnologia de conversão de bagaço em etanol

Apresentação dos principais fatores a ser otimizados no desenvolvimento e demonstração de uma tecnologia de produção de etanol a partir de bagaço (palha).

Apresentar as vantagens de associar a hidrólise à produção de etanol dos açúcares extraíveis da cana segundo um modelo baseado no processamento de cana de açúcar.

Integração das produções de Bioetanol do caldo de cana de açúcar (primeira geração; GI) e a partir de bagaço e o palha (segunda geração; GII).

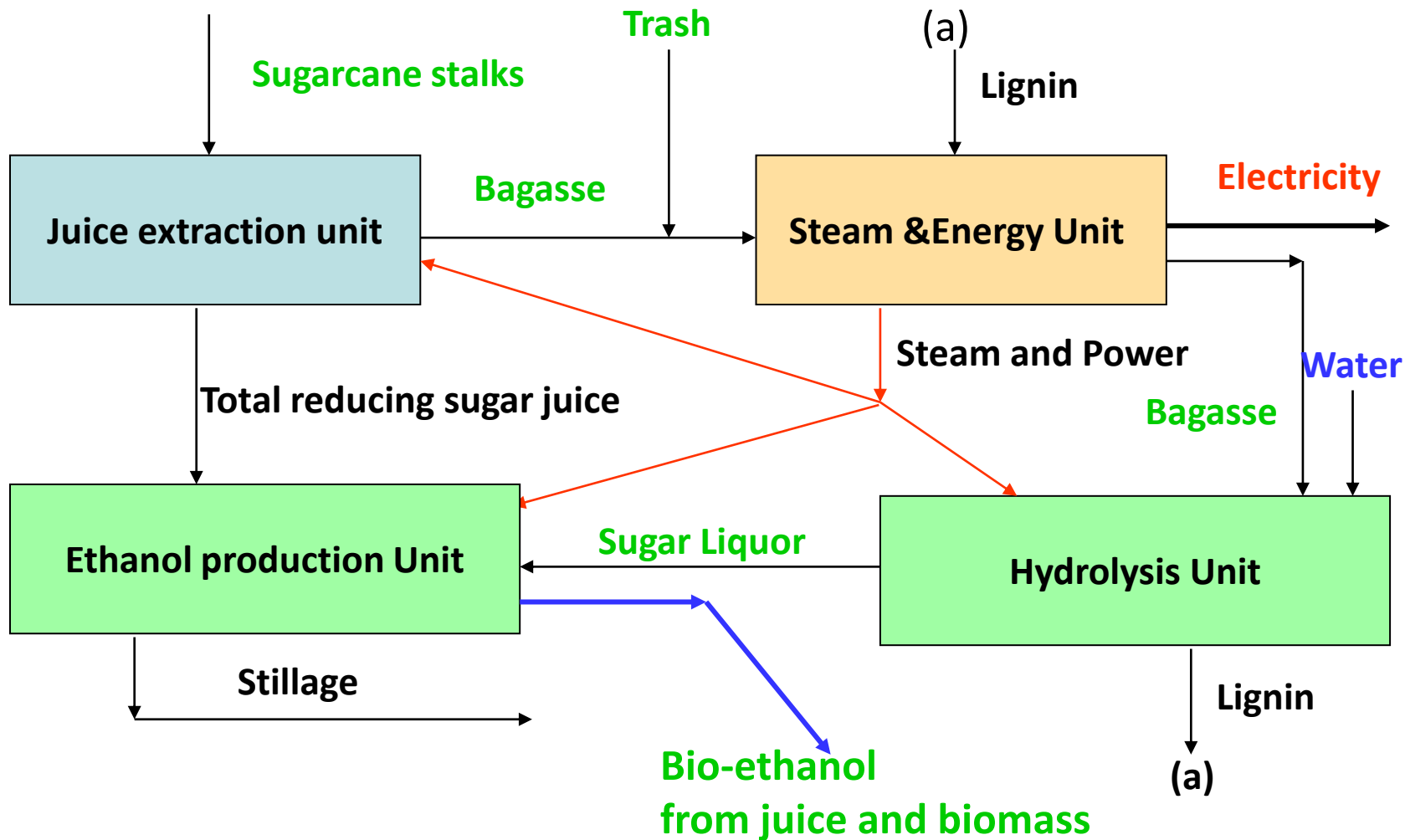
Modelo:

Destilaria cujos produtos são AEHC e AEAC (GI) e bioeletricidade na qual é acoplada uma unidade de sacarificação de bagaço e os licores de ART são processados aproveitando ao máximo as facilidades da Destilaria (complementada dos equipamentos necessários).

Vantagens:

- ✓ Ganhos de Economia de escala: redução de investimentos e custos operacionais;
- ✓ Maior eficiência de conversão e energética.
- ✓ Matéria prima disponível a custo comparativamente menor;
- ✓ Gera as necessidades energéticas;
- ✓ Aumento da produção de etanol sem aumentar área de plantio;

Bioetanol do caldo (GI) e de bagaço (GII)



Bagaço.

Potencial disponível: 140 Kg/TC (umidade 50%)

Vantagens

Disponibilidade, entregue na destilaria, custo do processamento físico incorporado na etanol GI;

Custo menor (próximo a US\$8,00/T) comparado a outros resíduos lignocelulósicos.

Fatores a otimizar

Propriedades físicas e químicas a determinar;

Tratamento físico requerido: preparo final, limpeza e classificação em frações;

Estocagem e conservação;

Processamento a etanol versus produção de bioeletricidade;

Processos específicos para sacarificação do bagaço.

Palha (resíduos da colheita).

Potencial disponível: 140 Kg/TC (bagaço equivalente)

Fatores a otimizar

Palha (Kg/TC) que pode ser retirada sem prejudicar a cobertura do terreno;

Procedimentos de colheita, transporte, estocagem, conservação, limpeza e preparo da palha;

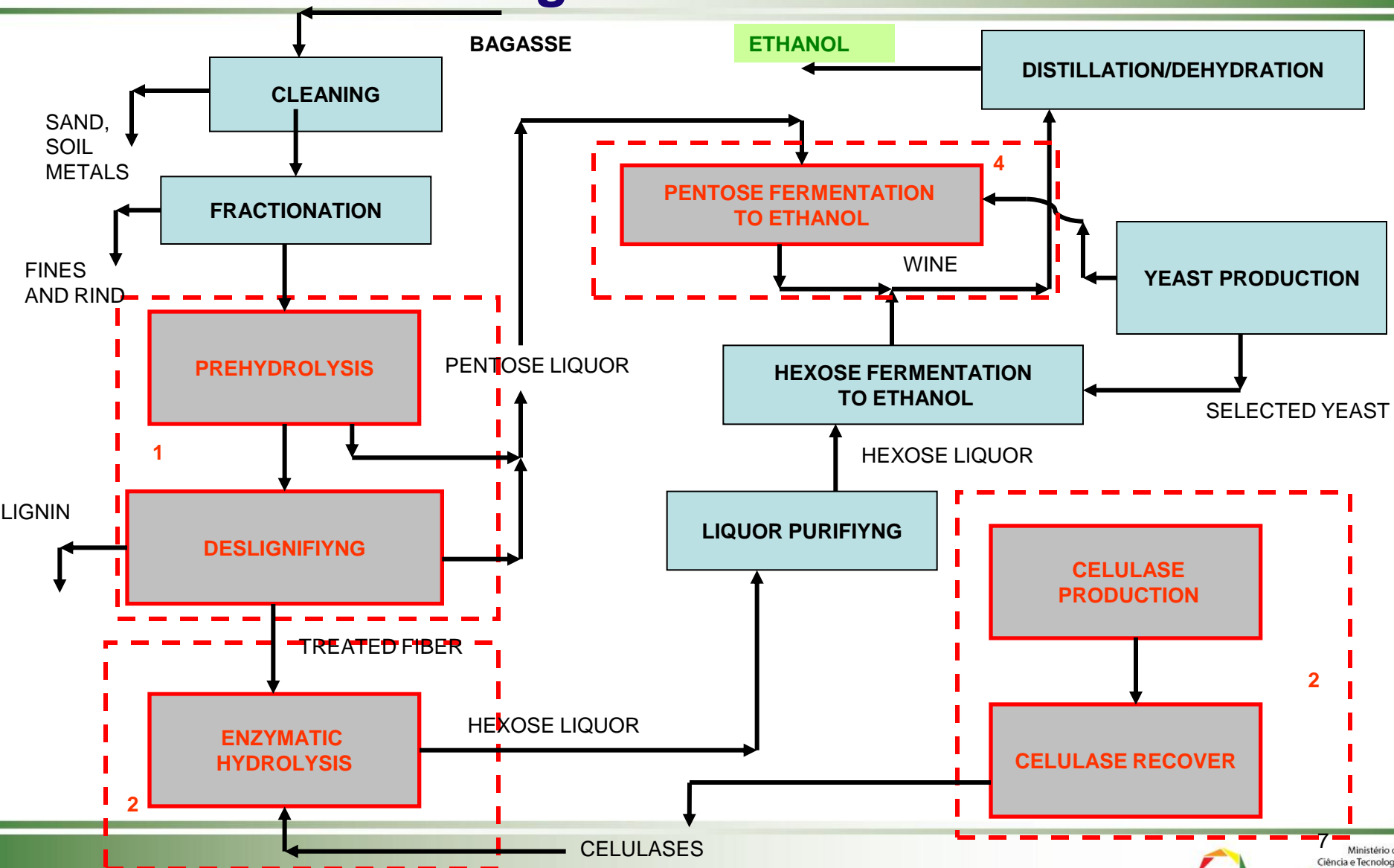
Propriedades físicas e químicas da palha;

Processamento da palha a etanol;

Tecnologia de combustão da palha para produzir energia térmica;

Formação do custo da palha posta na Destilaria.

Enzymatic Hydrolysis for bagasse to ethanol conversion



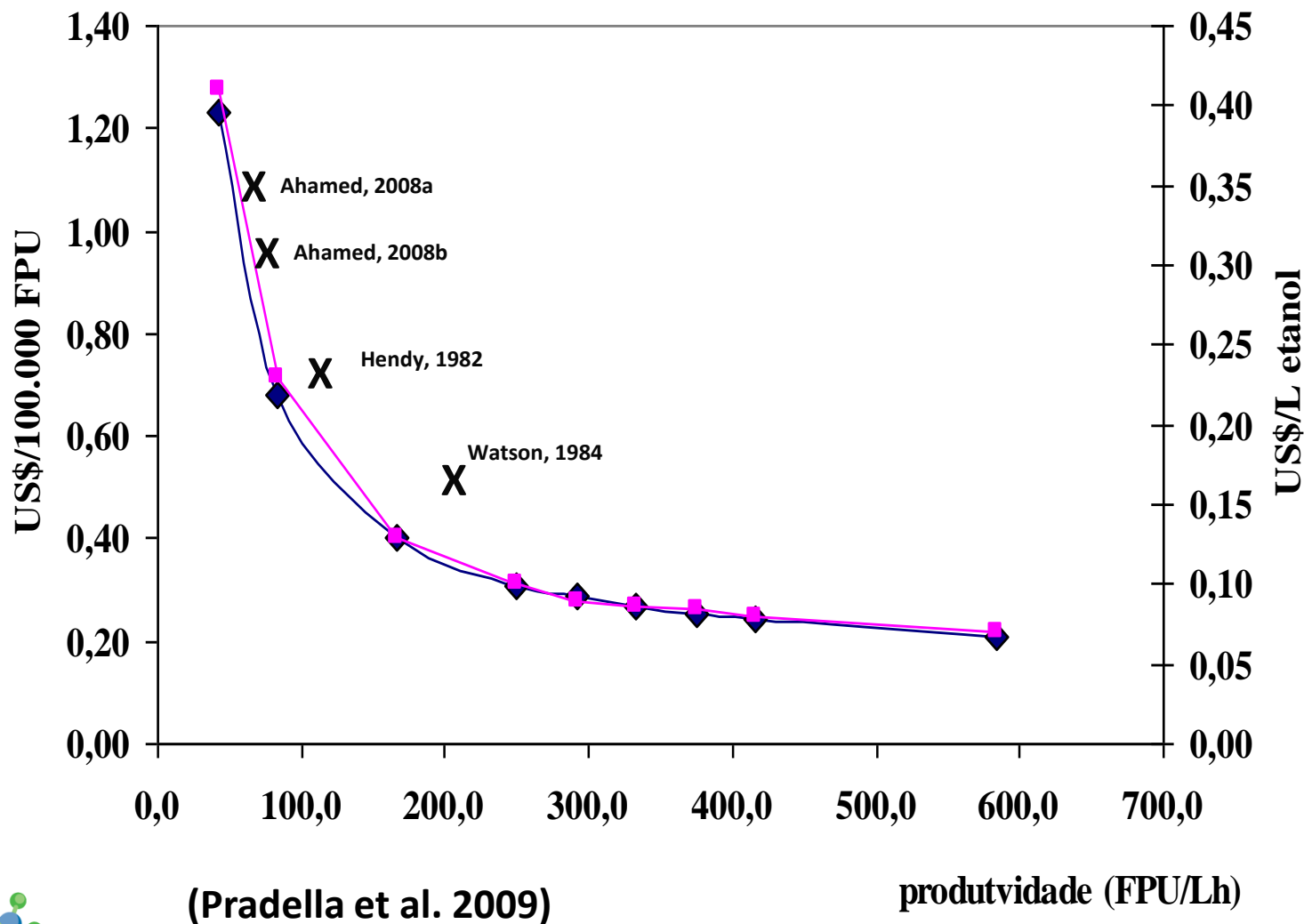
Principais barreiras que limitam o desenvolvimento do processo

▪ Prétratamento:

- ✓ Impacto das propriedades físicas e químicas da matéria prima (bagaço, suas frações e a palha);
- ✓ Tratamento, separação e recuperação de celulose, pentoses e lignina ou descristalinização da celulose;
- ✓ Minimização de inibidores gerados;

- **Complexo enzimático:**
 - ✓ Processo de produção de complexo enzimático direcionado para rendimento (UFP/m³ de meio final) e produtividade elevada (UFP/m³.h). Redução do custo de produção de uma UFP.
 - ✓ Desenvolvimento de complexo enzimático (endo-, exo-glucanase, β -glicosidase, etc.) de alta especificidade.
 - ✓ Complexos enzimáticos com maior: estabilidade, maior temperatura de operação e faixa de pH.
 - ✓ Isolamento e construção de linhagens de microorganismos de alta produtividade

Biosíntese das hidrolases. Custo vs. produtividade



Formação do custo da enzima

Item	Substrato a US\$ 0,05/Kg	Substrato a US\$ 0,30/Kg
Investimentos	45 %	35%
Substrato (fonte C)	4,3 %	25,2 %
Energia	12,6 %	9,8 %
Outros	37,90 %	29,60 %

- **Reação de hidrólise (catálise enzimática):**
 - ✓ Elucidar os mecanismos envolvidos na interação enzimas substrato, produtos intermediários e finais.
 - ✓ Modelar a reação de hidrólise da celulose a glicose, catalisada pela celulase (complexo enzimático): taxa de conversão muito baixa, inibição pelo substrato, produtos intermediários e final.
 - ✓ Reação heterogênea (partícula- meio líquido): fatores hidrodinâmicos, limitações na concentração de substrato.
 - ✓ Desenvolver projeto de reatores de maior taxa de conversão
 - ✓ A sacarificação e fermentação em separado (HFS) adequam-se melhor na integração GI e GII, mesmo assim as outras alternativas devem ser investigadas (SFS, CDM e outras).

- **Reação de hidrólise (catálise ácida):**
 - ✓ Seleção de catalisadores e condições de operação que inibam a destruição dos açúcares formados;
 - ✓ Modelar a reação de hidrólise da celulose a glicose, catalisada por ácidos): rápida destruição dos açúcares através de reações consecutivas (furfural, HMF, ácidos alifáticos : fórmico e levulínico);
 - ✓ Reação heterogênea (partícula- meio líquido): fatores hidrodinâmicos, limitações na concentração de substrato.
 - ✓ Desenvolver projeto de reatores capazes de controlar a decomposição dos carboidratos.

- **Metabolismo das pentoses:** etanol é o produto alvo e com potencial de absorver o **ART5** gerado.
- ✓ Desenvolvimento de uma rota eficaz de conversão de pentoses em etanol (microorganismos: isolamento e/ou construção)
- ✓ Desenvolvimento de alternativas de conversão das pentoses em outros produtos de interesse

- **Fatores associados a engenharia**
- ✓ Demonstração da fermentação alcoólica de hidrolisado (ART6) em presença de inibidores;
- ✓ Reações de prétratamento em condições de temperatura e pressão elevadas com catalisadores corrosivos.
- ✓ Seleção de ligas para suportar corrosão e abrasão;
- ✓ Projeto de reatores e equipamentos capazes de operar com maior teor de bagaço em suspensão
- ✓ Projeto de sistemas para agitação e transporte de massa e energia no meio heterogêneo;
- ✓ Dispositivos para alimentação pressurizada de bagaço;

- **Captação e uso de água:**
 - ✓ No GI nas condições atuais já é muito elevado (têm soluções de Engenharia disponíveis);
 - ✓ No GII com a tecnologia atual seria 4-5 X (requer abordagem científica e tecnológica)
- **Efluentes:**
 - ✓ **Sólidos : lignina;** requer beneficiamento adequado para queima;
 - ✓ **Líquidos: Vinhoto;** elevado volume, requer redução e tratamento. Não possui valor como fertilizante comparado com o vinhoto de GI. Tecnologias disponíveis: concentração térmica e biodigestão;
 - ✓ **Vapores:** voláteis provenientes do pretratamento;
 - ✓ **Produtos químicos: SO₂, H₂SO₄, NaOH, CaO** precisam ser removidos.



Centro de Ciência e
Tecnologia do Bioetanol

Etanol de bagaço (GII) integrado à destilaria (GI)

Anteprojeto de uma unidade com prétratamento de bagaço, recuperação do licor de pentoses, sacarificação em batelada da celulignina, póstratamento dos licores e fermentação a etanol junto com o mosto de xarope de cana de açúcar.

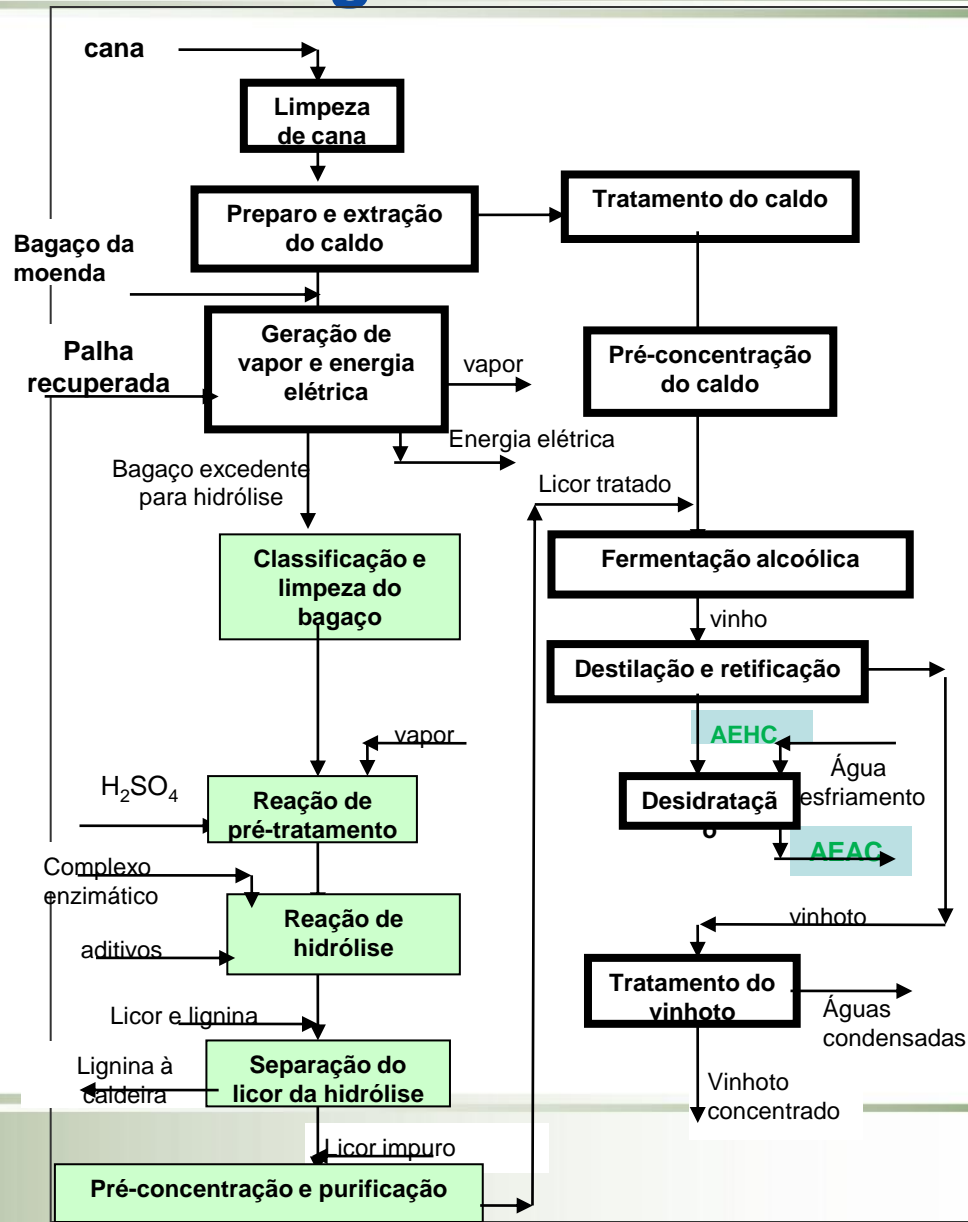
Hidrólise integrada com uma Destilaria Padrão de 12000 TCD, 1000 m³/dia de AEAC e 167 dias de Safra otimizada em rendimentos, geração e uso de energia, uso de água e geração de efluentes.



Considerados dois estágios tecnológicos: 2015 e 2025.

Nota: Estudo de 2007, prevista revisão e atualização pelo grupo de Biorefinaria do CTBE



Etanol de bagaço (GII) integrado à destilaria (GI)



 hidrólise
 destilaria

Bases do Modelo

Cenário	Conversões previstas	Etanol Hexoses	Etanol Pentoses	Etanol Total
2015	hexoses: 80% fermentação: 91% pentoses: 78,5 % fermentação: 0% destilação: 99,75 %	94,2	0	94,2
2025	hexoses: 95% fermentação: 91% pentoses: 85 % fermentação: 50% destilação: 99,75 %	111,4	37,9	149,3

	2015	2025
Pré-tratamento	Explosão com vapor e adição de H₂SO₄	
Sacarificação enzimática	48 horas de reação	24 horas de reação
Fermentação das pentoses	Não	Sim
fermentação	Contínua ou batelada junto com o mosto da destilaria	
Destilação, retificação e desidratação	Destilação múltiplo efeito e peneiras moleculares	
Etanol produzido (m³/dia)	151	381
Concentração térmica do vinhoto em 6 estágios	50% do volume inicial	33% do volume inicial
Lignina produzida como bagaço equivalente (ton/dia)	685	1088

Parâmetros operacionais

	2015		2025	
Moagem total (TC)	2.000.000 toneladas/safra			
Excedente de bagaço e palha com bagaço equivalente	47,48%		76,03%	
Bagaço para hidrólise	268.350 toneladas/safra		462.451 toneladas/safra	
Etanol do processo convencional (m³/safra)	182.000	87,83%	185.000	74,43%
Etanol da hidrólise (m³/safra)	25228	12,17%	63542	25,57%
Etanol total (m³/safra)	207228	100,00%	248542	100,00%
Vapor do processo (2,5 bar) Total (kg/TC)	484	100,00%	518	100,00%
Excedente de energia elétrica (kWh/TC)	49,34	51,94%	54,71	53,43%

Custo do etanol de hidrólise (2015)

Valor do bagaço	R\$ 17,20 por tonelada	
Processamento do bagaço	268 mil toneladas/ano	
Estimativa dos Investimentos envolvidos	R\$ 124 000,00	
Item	Valor unitário (R\$/t bagaço)	Participação (%)
Obras civis	0,48	0,33
Equipamentos	80,69	56,10
Mão de obra	4,22	2,93
Insumos	50,97	35,44
Outros	7,47	5,19
Custos de processamento do bagaço	R\$ 143,82/tonelada	
Custo de produção do etanol	R\$ 1,53/litro	

Custo do etanol de hidrólise (2025)

Valor do bagaço	R\$ 17,20 por tonelada	
Processamento do bagaço	426 mil toneladas/ano	
Estimativa dos Investimentos envolvidos	R\$ 133000,00	
Item	Valor unitário (R\$/t bagaço)	Participação (%)
Obras civis	0,50	0,45
Equipamentos	52,45	46,94
Mão de obra	2,65	2,37
Insumos	46,26	45,61
Outros	5,18	4,64
Custos de processamento do bagaço	R\$ 107,01/tonelada	
Custo de produção do etanol	R\$ 0,72/litro	

Análise do custo de produção

- **Investimentos:**
 - ✓ Decisão quanto a operar ano todo e somente na Safra.
 - ✓ A produtividade da sacarificação (reator e biocatalisador) influem diretamente nos investimentos.
 - ✓ O processo: prétratamento, concentração em ART do licor, nível de inibidores de fermentação influem diretamente nos investimentos
- ✓ **Insumos e energia:**
 - ✓ **Bagaço (palha);**
 - ✓ **Complexo enzimático;** redução do custo de produção da enzima, aumento da produtividade têm um forte influencia no custo;
 - ✓ **Energia térmica, mecânica e elétrica;**
 - ✓ **Necessário aproveitar as pentoses;**
 - ✓ Produtos químicos: pouco significativos;
 - ✓ Excedentes de EE geram créditos;
- **Obras civis , mão de obra e outros:** não tem grande peso



Centro de Ciência e
Tecnologia do Bioetanol

Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)

www.ctbe.org.br

Missão: Desenvolvimento da cadeia produtiva de cana de açúcar a Bioetanol.

Programas:

Ciência;

Engenharia Agrícola;

Conversão de biomassa (etanol e outros produtos)

Biorefinaria Virtual (modelagem e validação de processos);

Sustentabilidade.





Centro de Ciência e
Tecnologia do Bioetanol

Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)

Modelo de Atuação:

Suporte à comunidade científica e tecnológica no desenvolvimento de pesquisas relacionadas a Etanol de cana de açúcar (Laboratório Nacional);

Parcerias com o setor privado no desenvolvimento e transferência de tecnologia

Quadro de pesquisadores e programa próprio de pesquisas

Infraestrutura:

Laboratórios de Pesquisa;

Laboratório (LDP) e Planta Piloto de Desenvolvimento de Processos (PPDP).



Centro de Ciência e
Tecnologia do Bioetanol

Thanks very much for your attention!

Muito obrigado!

