

# GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Bioeletricidade  
A segunda revolução energética da cana-de-açúcar

Rio de Janeiro, 24 de novembro de 2005

Helcio M. Lamonica

Divulgação Livre – Divulgar a Fonte



## Centro de Tecnologia Canavieira

- Em 2004 a **Copersucar** abriu para o mercado nacional o seu Centro de Tecnologia, constituindo o Centro de Tecnologia Canavieira.
- O **Centro de Tecnologia Canavieira - CTC** é voltado a P&D de tecnologias para a produção e transformação da cana-de-açúcar.
- Atualmente mais de 114 associados compõem o novo **CTC**, representando 151 milhões t cana moída e  $1,7 \cdot 10^6$  ha de área plantada, representando, respectivamente, 42% e 33% da produção total do Brasil.

Base: safra 2003/04 - Atualizado em out/2005





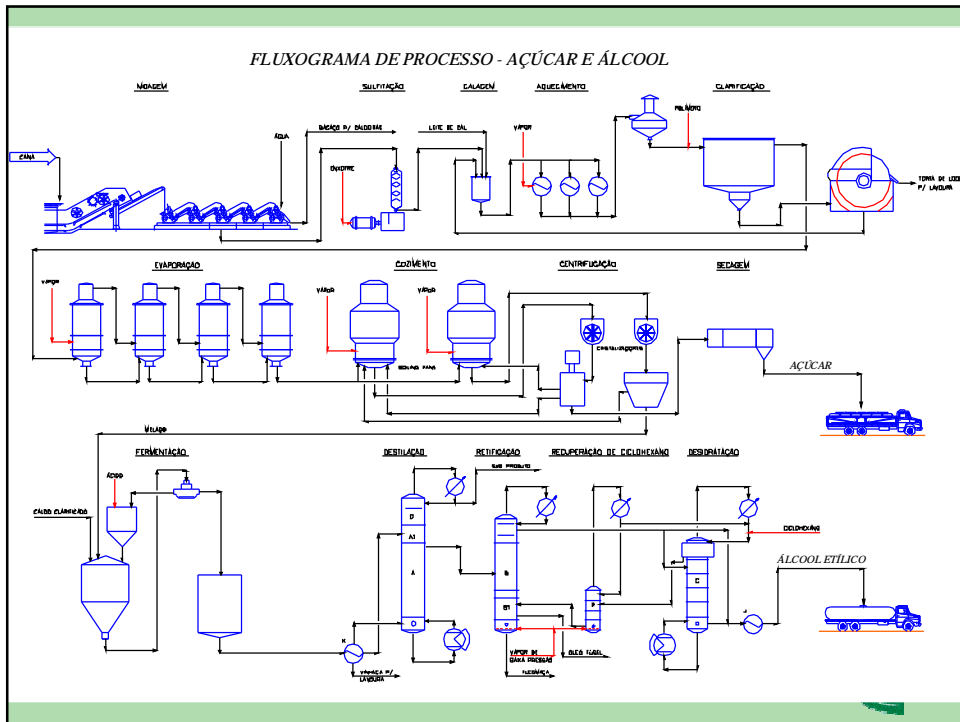
## Matéria Prima

- Cana-de-açúcar

Tabela 1 - Composição média da cana-de-açúcar.

Composição	Teor (%)
Água	65 - 75
Açúcares	11 - 18
Fibras	8 - 14
Sólidos solúveis	12 - 23





## Energia Consumida na Usina

- Usina necessita de duas formas básicas de energia:
  - Eletromecânica (acionamentos, iluminação, etc.)
  - Térmica (aquecimento, evaporação, cozimento, etc.)



## Como esta energia é obtida ?

- Usina obtém toda energia térmica e eletromecânica a partir da combustão do bagaço.
- Como ?
  - Gera vapor a uma pressão superior a necessária no processo
  - Este vapor é expandido em turbinas a vapor sendo convertido em energia mecânica/elétrica
  - O calor rejeitado no escape das turbinas fornece a energia térmica necessária ao processo

É autosuficiente em energia J

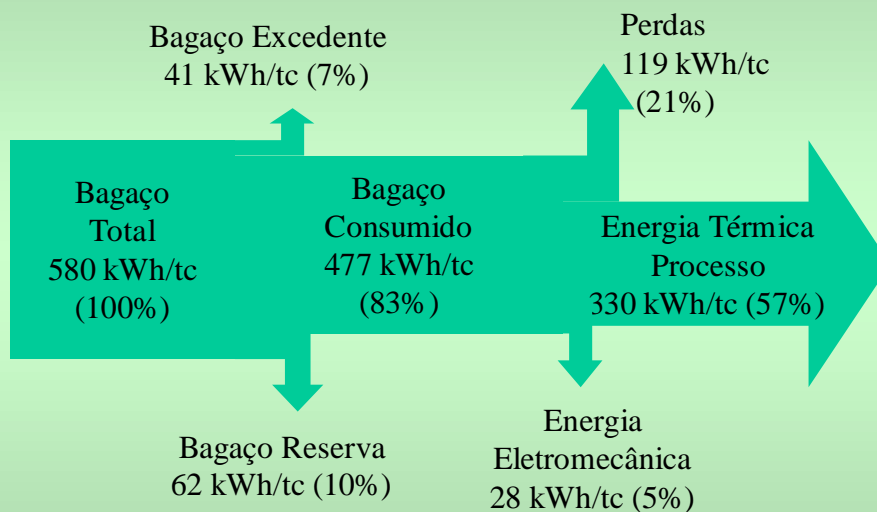


## Cenário Médio Atual (2001/02)

- Pressão de operação: 22 bar / 300 °C
- Auto-suficiente em energia térmica e elétrica
  - Consumo de energia elétrico-mecânica: 28 kWh/tc
  - Consumo de energia térmica: 330 kWh/tc  
(equivalente a 500 kg vapor / tc)
  - Sobra de bagaço: 7 %
  - Não utiliza palha



## Distribuição de Energia na Usina

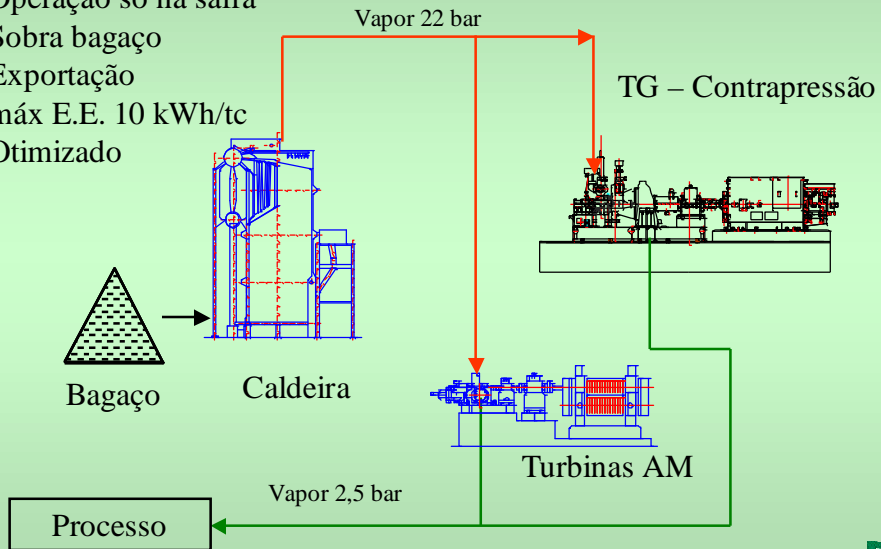


Relação Potência / Calor 0,085



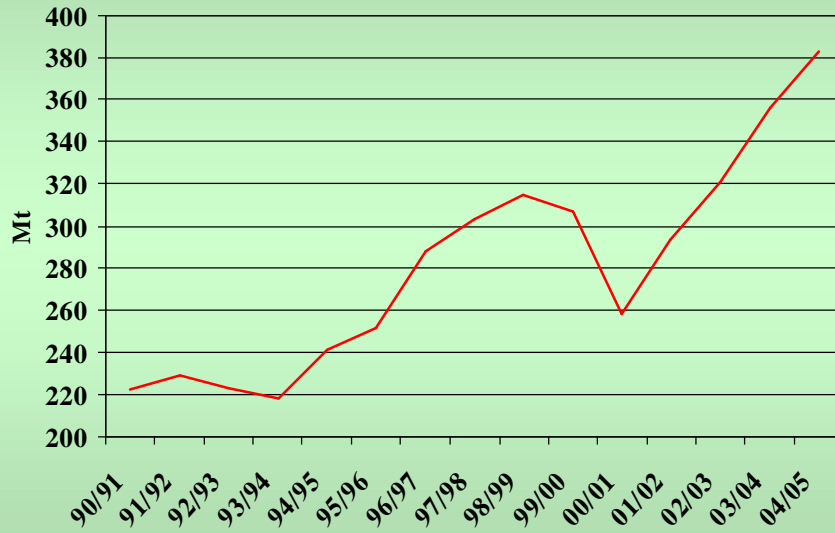
## Fluxograma – Atual 22 bar

Operação só na safra  
Sobra bagaço  
Exportação  
máx E.E. 10 kWh/tc  
Otimizado



Potencial de Geração de Energia  
Elétrica do Setor

## Produção de Cana-de-açúcar - Brasil



Fonte: [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br), 1/03/2005



## Áreas Cultivadas – Cana-de-açúcar

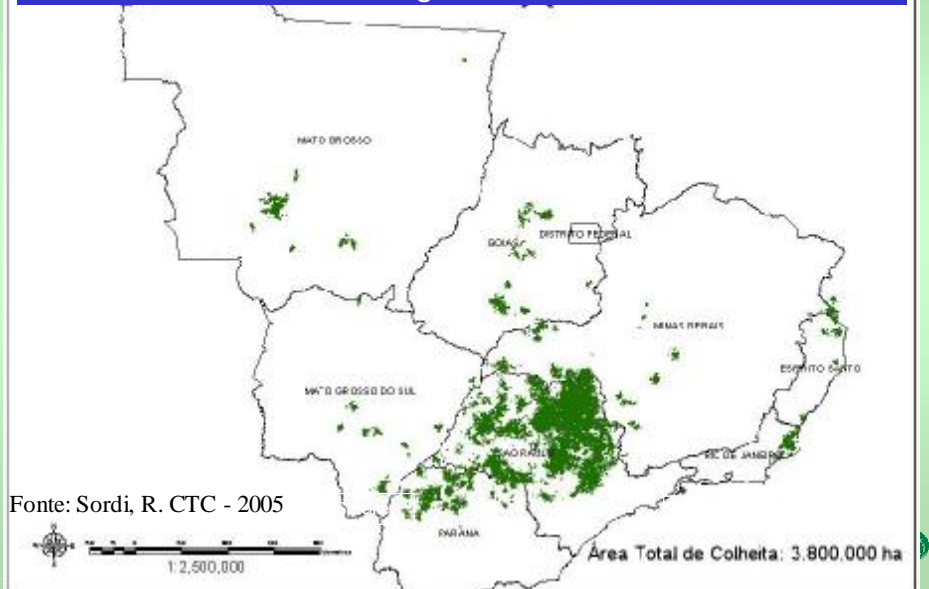


Fonte: Sordi, R. CTC - 2005



# Cana-de-açúcar na Região Centro-sul

Sensoriamento remoto – imagens de satélite



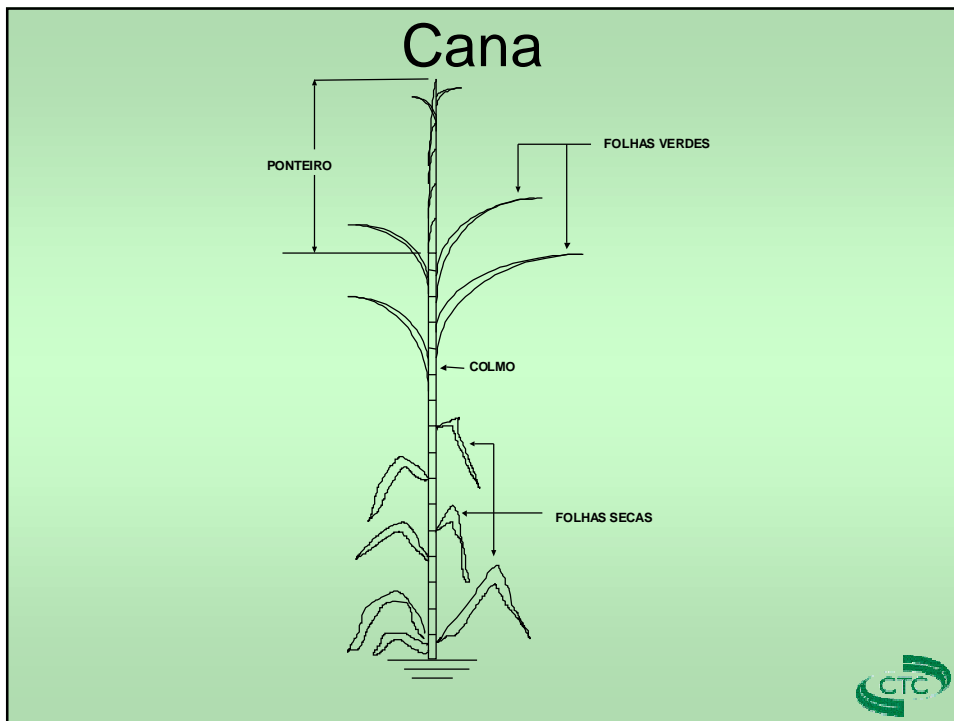
## Produção Energia Primária BRASIL (%)

	1990	2003
<b>Não Renovável:</b>	<b>38</b>	<b>53</b>
Petróleo + GN	36	51
Outras NR	2	2
<b>Renovável:</b>	<b>62</b>	<b>47</b>
Hidráulica	16	14
Produtos da cana	17	16
Outras R	29	17
<b>Total (milhões TEP)</b>	<b>108</b>	<b>184</b>

Fonte: BEN 2004







## Energia da Cana

1 TON DE CANA (COLMOS)	Energia (MJ)
• 140 kg de açúcar	2 300
• 280 kg de bagaço (50% umidade)	2 500
• 280 kg de palha (50% umidade)	2 500
<b>TOTAL</b>	<b>7 300 (0.16 TEP)</b>
<b>360 milhões de toneladas de cana</b>	<b>58 milhões TEP</b>
Nota: Consumo de energia primária no Brasil é de 200 10 <sup>6</sup> TEP/ano (BEN 2004)	

CTC

## Potencial Energético - Resíduos de Cana

	Mundo (10 <sup>6</sup> t)	Brasil (10 <sup>6</sup> t)
Produção de cana (1)	1 320	360
Produção de bagaço (2)	370	101
Produção de palha (2)	370	101
Biomassa Total	740	202
TEP (3)	158	43

Consumo Energia Primária no Brasil 200 10<sup>6</sup> TEP (BEN 2004)

- (1) Fonte: FAOSTAT 2004 p/ Mundo e UNICA p/ Brasil
- (2) 50% de umidade
- (3) base PCI – 2 130 kcal/kg (BEN 2004)



## Alternativas de Aproveitamento Energético

- Açúcar → Álcool
- Fibra → Energia Elétrica e/ou Álcool



## Balanço Energético da Produção e Processamento da Cana Fluxos Externos de Energia

	Valores Médios	
	Consumo MJ/tc	Produção MJ/tc
Agricultura	202	
Indústria	49	
Etanol produzido		1 919
Excedente de bagaço		168
<b>Totais</b>	<b>251</b>	<b>2 087</b>
<b>Produção/Consumo</b>	<b>8,3</b>	

Nota: Etanol de milho = 1,3 (USDA, 2002)

Atualização – outubro 2003



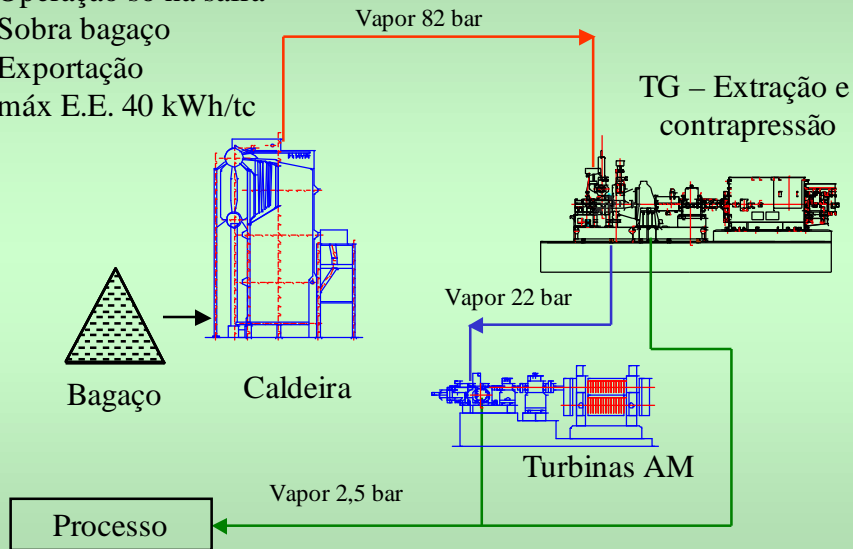
## Como aumentar a Exportação de Energia Elétrica em Cogeração ?

- Aumentar a eficiência das turbinas a vapor
- Aumentar a pressão do vapor vivo
- Uso de turbinas de extração e contrapressão

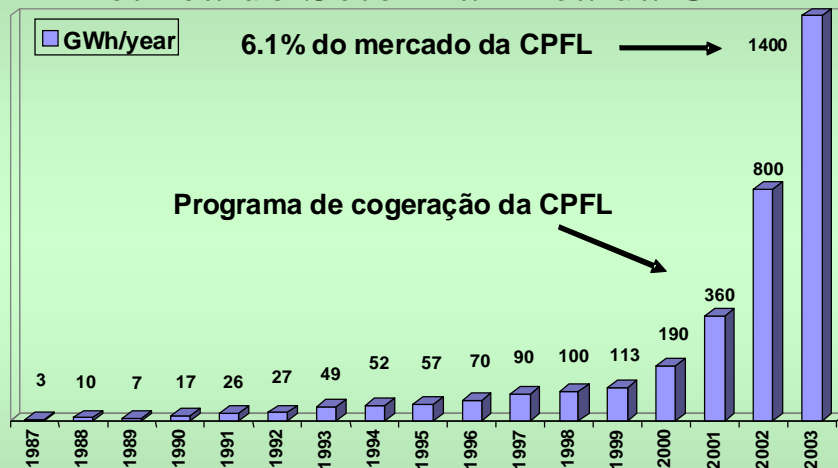


## Convencional – Cogeração Safra

Operação só na safra  
Sobra bagaço  
Exportação  
máx E.E. 40 kWh/tc



## Evolução da Exportação de Energia Elétrica do Setor na Área da CPFL



~ 80% das Usinas do estado de São Paulo estão na área da CPFL; o estado de São Paulo produz ~ 60% da produção Brasileira de cana.

Fonte: Xavier, B. (2004). "Histórico da co-geração com biomassa na CPFL"



## Geração de Grandes Excedentes

- Caldeiras de alta pressão
- Turbogeneradores de extração e condensação
- Exportação de E.E. ano todo (safra e entre-safra)
- Utilizar outros ciclos térmicos (gaseificação/ ciclo combinado)
- Reduzir consumo de vapor do processo
- Obter combustível complementar



## Uso da Palha da Cana-de-açúcar



## Disponibilidade de Palha

- Produtividade média da cana: 82,4 t/ha
- Palha disponível (base seca): 11,5 t/ha
- Palha % de cana (base seca): 14%

Obs.: Valores médios para as variedades plantadas no Brasil  
Cana de ano e meio (média de 5 cortes)

Atualização – outubro 2003



## Principais Características da Palha

- Umidade
  - No corte : 50%
  - Após uma semana no solo :  $\leq 15\%$
- Poder calorífico inferior (PCI - kcal/kg)
  - No corte : 1.800
  - Com 15% umidade : 3.100
- Teor de cinzas :  $\leq 5\%$  base úmida
- Eficiência de enfardamento :  $\geq 70\%$
- Custo aproximado (US\$/t MS)
  - Processada no ponto de consumo : 18,49  
(US\$ 1,28/MM BTU)

Obs.: do custo total US\$ 8,00 /t MS (impactos agrícolas)



## Impactos Agrícolas do Colchão de Palha

### Positivos

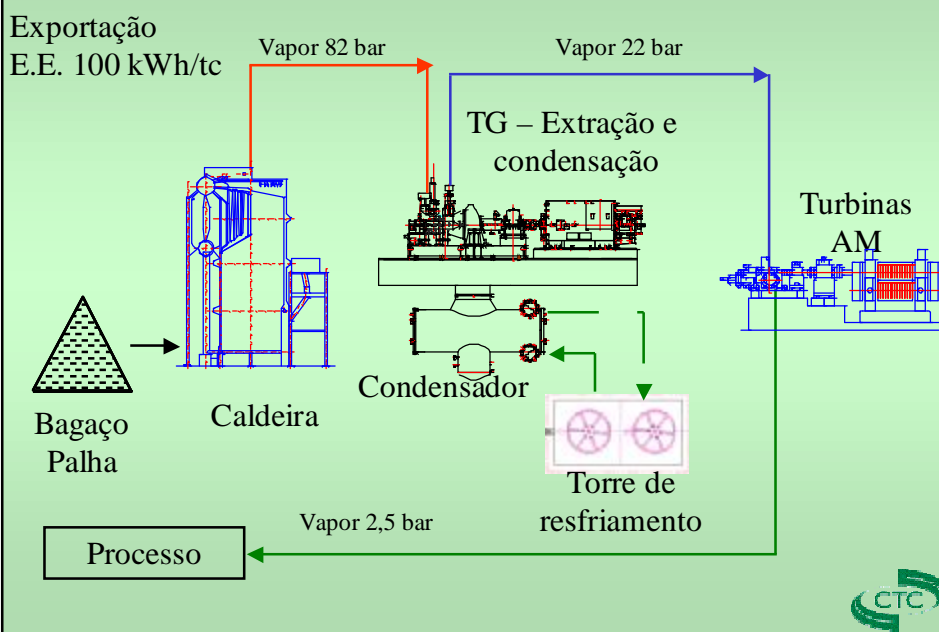
- Proteção do solo contra erosão
- Redução da amplitude da variação térmica
- Incentivo ao aumento da atividade biológica
- Aumento das taxas de infiltração de água no solo
- Redução da evaporação
- Controle de ervas daninhas

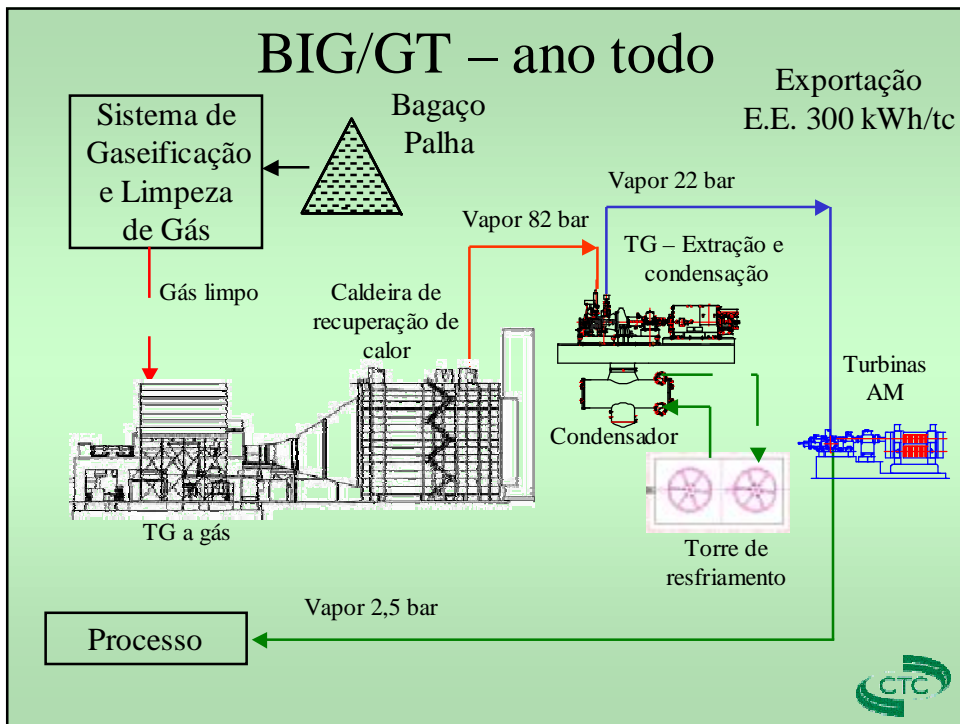
### Negativos

- Riscos de incêndio
- Dificuldade para execução de algumas operações agrícolas
- Retardamento ou falha na brotação (redução produtividade)
- Aumento das populações de praga (cigarrinha)



## Convencional – Condensação ano todo





## Alternativas de Geração em Usinas

Tecnologia	Operação	Consumo Processo kgv/tc	Excedente Energia kWh/tc	Potencial Brasil		% Consumo Brasil
				GWh	MW	
22bar-300C TG Contrapressão	Safra	500	0 – 10	3 600	900	1
80bar-480C TG Contrapressão	Safra	500	40 – 60	22 000	5 500	6
80bar-480C TG Condensação	Ano todo	340	100 – 150	54 000	7 200	16
BIG/GT	Ano todo	< 340	200 - 300	110 000	14 500	32

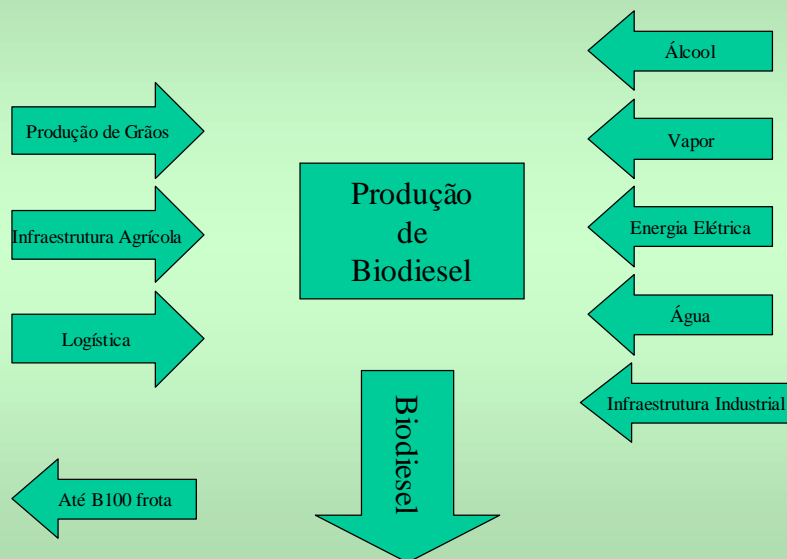
Obs.: Consumo residencial médio 150 kWh/mês  
Consumo nacional de energia elétrica 342 10<sup>3</sup> GWh/ano (BEN 2004)  
Moagem anual de 360 milhões de toneladas de cana



## Biodiesel - Integração com Usina Açúcar e Álcool



### Integração Biodiesel x Usina



## Aspectos Econômicos – 1 t de cana

	R\$
80 l álcool (R\$ 0,70 / l)	56
50 a 150 kWh (R\$ 100 / MWh)	5 a 15
25 a 75 kg CO <sub>2</sub> evitado (R\$ 15 / t CO <sub>2</sub> )	0,40 a 1,20

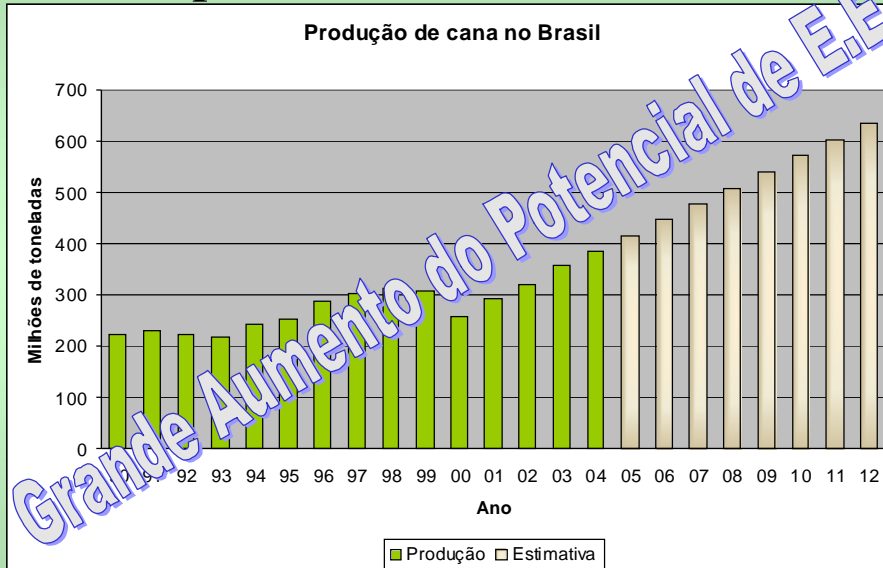


## Usina Moderna

- Eletrificação de acionamentos
- Redução do consumo de vapor de processo
- Colheita de cana sem queimar com recolhimento de palha
- Uso do biogás
- Uso do gás natural
- Outros produtos



## Expectativa de Crescimento



## Comentários

Hoje no Brasil existem  
~320 usinas



Menos de 10%  
Exportam Energia Elétrica  
600 MW (só safra)

Se 100% exportassem E.E. com a tecnologia comercial:  
4.000 MW (só safra, em cogeração, só bagaço)

Potencial para 600 milhões de t de cana com a tecnologia comercial:  
6.000 MW (só safra, em cogeração, só bagaço)

Como as novas usinas estão investindo na produção de E.E. ?

Por que ?



Obrigado !

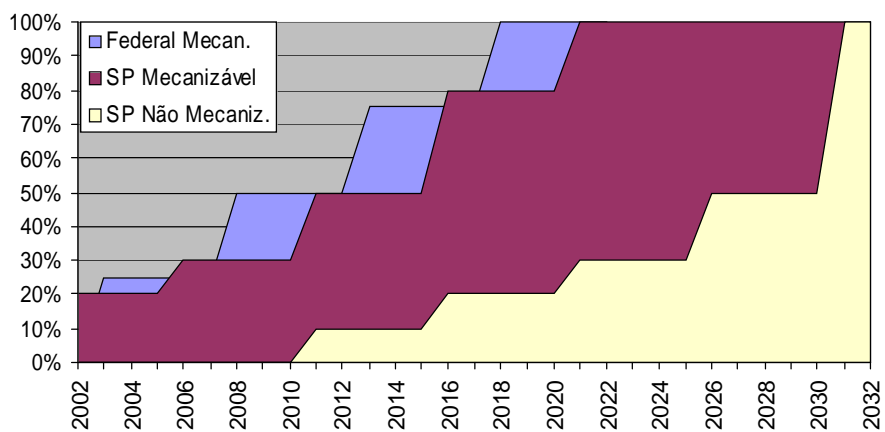
[lamonica@ctc.com.br](mailto:lamonica@ctc.com.br)

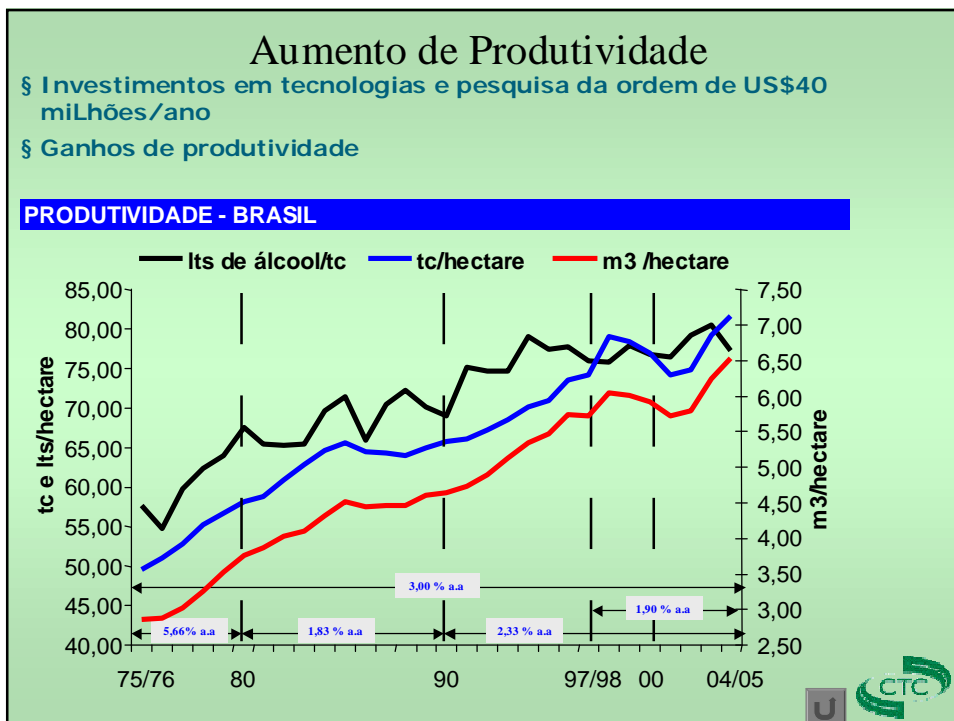
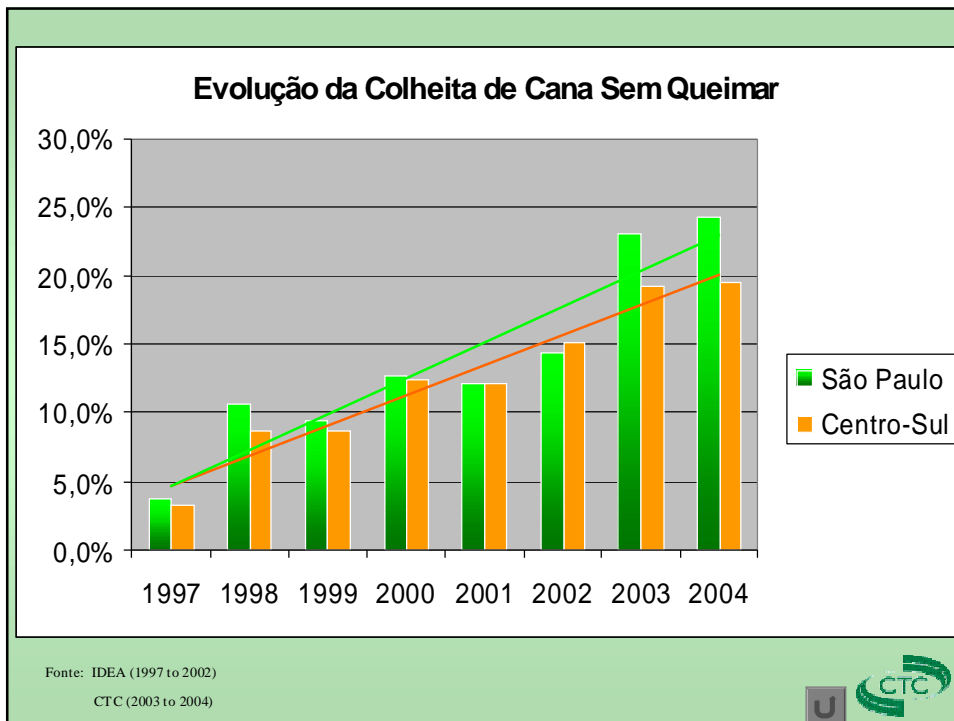
<http://www.ctc.com.br>

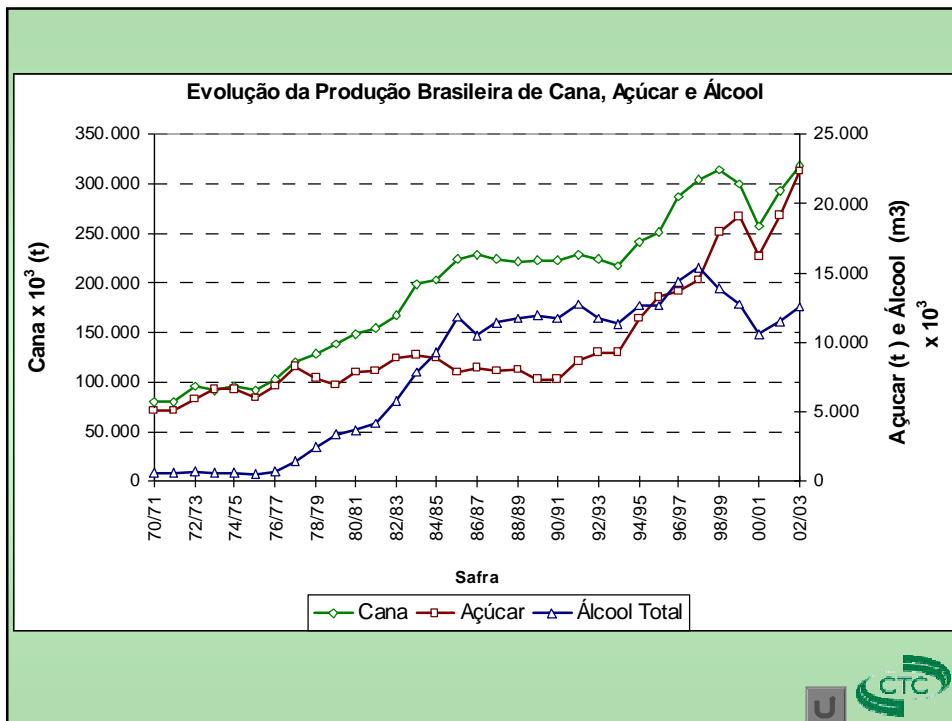
FIM



Cronograma de Redução da Queima  
Decreto Federal 2.661 e Lei Estadual 11.241








## Balanço Energético das Alternativas

Energia Útil (kWh/tc)				
Alternativa	Eletromecânica	Térmica	Total	EM/ETotal
22bar-300C TG Contrapressão	28	330	358	0,08
80bar-480C TG Contrapressão	90	330	420	0,21
80bar-480C TG Condensação	180	230	410	0,44
BIG/GT	333	184	517	0,64



## Composição do Gás do BIG

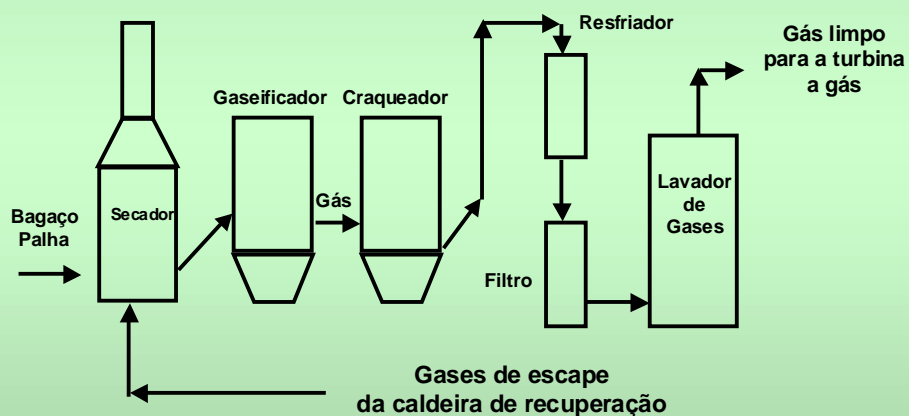
$C_2H_4$	1 %
$CH_4$	4 %
CO	15 %
$CO_2$	14 %
$H_2$	12 %
$H_2O$	6 %
$N_2$	48 %

PCI – 5,1 MJ/Nm<sup>3</sup>

% em volume base seca



## Fluxograma Básico Sistema de Gaseificação



# BIG/GT - Integrado Usina

