

Seminário de Geração Distribuída

INEE

Rio, Setembro 2004

As fontes de Energia para GD

Gerando energia elétrica com biomassa da cana:
início de um ciclo virtuoso

Isaias C. Macedo

NIPE - UNICAMP

Produção / utilização da biomassa da cana

- Brasil: 340 M t cana; 308 usinas (~1 M t/usina)

1 t cana .14 t(MS) bagaço 90% para energia na usina
→ .14 t(MS) palha queimada no campo
 .15 t(MS) açúcar açúcar; etanol; outros
- Bagaço é equivalente a **12.0 M t óleo combustível**
25% da palha: 3.4 M t óleo (não usada hoje)
- Auto-consumo: 12 + 16 kWh/t cana → **2.4 GW inst.**
330 kWh/t cana (e. térmica)
- Energia produzida/Energia fóssil usada: 8.2 (média)
Emissões evitadas de GHG: 12.7 M t C equiv.
- Objetivos:
 - Aumento da eficiência no uso do bagaço
 - Desenvolver colheita/utilização da palha

Energia: biomassa da cana

1 t cana (colmos):	Energia (MJ)
0,14 t açúcar	2 300
0,28 t bagaço (50% umidade)	2 600
0,28 t palha (50% umidade)	2 600
Total	7 500

0.165 TEP, ou ~1 barril de petróleo

340 milhões t cana ~ 56 milhões TEP

O. I. energia, Brasil: $198 \cdot 10^6$ TEP/ano (2002)

Próximos dez anos: 550 milhões t cana (conservador)

O uso “otimizado” para energia

Objetivo da otimização

- Energia: cana “energética”; combustíveis
- Energia elétrica: volumes; integração; sazonalidade
- Eficiência energética: co-geração; complementações

→ Investimentos e Retorno

Uso interno de energia nas usinas: produção de açúcar e etanol

A energia é produzida em co-geração, usando a maior parte do bagaço

Eletro-mecânica	12 + 16 kWh / t cana	(→ 2,4 GW inst.)
Térmica	330 kWh / t cana	(~ 500 kg v / t cana)

→ Eletro-mecânica / Total = 0,08

O bagaço disponível e esta relação definem o ciclo mais utilizado hoje: contrapressão, 21 kgf / cm². **O objetivo principal foi atingir auto-suficiência.**

Disponibilidade de energia adicional

- Excedentes de bagaço (50% u) e palha recuperada (15% u)

Consumo de vapor: 500 → 340 kg v / t cana

Bagaço excedente: 20 → 125 kg / t cana

Energia disponível: **40** → **260 kWh (t) / t cana**

- Palha recuperada: 0 → 50 % (85 kg / t cana)

Energia disponível: **0** → **300 kWh (t) / t cana**

Custos de recuperação da palha

Recuperação da palha (Copersucar / GEF, 2000)
Produção: 11.5 t (MS)/ha, média
Disponibilidade: até 50 – 60% (~20 milhões t)

Custos de recuperação (a)

1. Enfardar e transportar: 0.8 – 1.0 US\$/GJ
2. Direto, “palha + cana”: 0.6 – 0.8 US\$/GJ

(a) Adicionando o “custo de oportunidade” pelo uso de herbicidas, US\$ 45. / ha

Co-geração e excedentes em usinas

Uso na safra (4400 h / ano); base: 320 M t cana / ano

C – P: contra-pressão; C – E: cond. - extração

	Processos kg v / t c	Excedentes kWh / t c	Brasil: 80%	
			10 ³ GWh	GW(ef)
C - P, 22 bar Bagaço	500	0 – 10	2,6	< 0,6
C - P, 80 bar Bagaço	500	40 – 60	10 – 15	2,3 – 3,5
C – E, 80 bar Bagaço	500 – 340	57 – 69	14,6 – 17,7	3,3 – 4,0
C – E, 80 bar Bagaço + 25% palha	500 – 340	88 – 100	22,5 – 25,6	5,1 – 5,8
C – E, 80 bar Bagaço + 50% palha	500 – 340	120 – 130	30,7 – 33,3	7,0 – 7,6
BIG–GT, anual Complementação	< 340	200 - 300		

Co-geração: investimentos

(M.Regis Leal: CTC, 2003)

Convencional – safra	Convencional - ano	BIG/GT - ano
		Gaseificador
		Limpeza gases
		TG a gás
Caldeira AP	Caldeira AP	Caldeira recuperação
TG extração/cp	TG extr/condensação	TG extr/condensação
	Condensador	Condensador
	Sistema resfriamento	Sistema resfriamento
Tratamento d'água	Tratamento d'água	Tratamento d'água
Subestação	Subestação	Subestação
	Red. consumo vapor	Red. consumo vapor
\$ 500 a 600 / kW inst.	\$ 600 a 800 / kW inst.	\$ 2 500 / kW inst.

Energia no agro-negócio da cana

- Geração elétrica (a US\$ 40. / MWh)
 - Ciclos a vapor convencionais
 - Somente bagaço + 16% **faturamento**
 - Bagaço + 25% palha + 23%
 - Bagaço + 50% palha + 30%
 - Ciclo com gasificação + 55%
- Palha para a produção de etanol (a US\$ 200. / m3)
 - SSF, celulose + hemicelulose
 - 25% palha + 17%
 - 50% palha + 34%

Considerações: Tecnologias; Investimentos; Modularização

Vinte anos de “evolução”

- 1978-85: usinas com ~60% auto-suficiência elétrica
O crescimento da produção (~100 M t c) poderia favorecer a “modernização” tecnológica (p>60 bar)
Desinteresse do setor elétrico (e das usinas)
- 1991: estudo Eletrobrás – Copersucar: potenciais; a necessidade de mudar a legislação; a oportunidade da substituição de equipamentos na geração de vapor
Problemas: legislação; a crise do etanol
Busca da auto-suficiência: garantia
- 1990→ Crescimento da produção (açúcar) (~100 M t c); indefinição na legislação e competição por recursos novamente levaram a pequenos excedentes de energia

Vinte anos de “evolução”

- Expectativas para os próximos anos:

Produção crescente (150-200 M t cana, 10 anos):
aumento e possibilidade de modernização do parque de
geração nas usinas

Maior interesse em geração distribuída, em sistemas
mais eficientes (co-geração); uso da sazonalidade da
geração nas usinas, podem levar a legislação e
regulamentação adequadas