

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

# 13<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

36

## CONTROLE DE POLUIÇÃO EM CALDEIRA A BAGAÇO ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS

ARQUIVO TECNICO

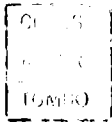
8204  
Om6c  
014255



04468

014255

CETESB



014255

## CETESB

**Diretor Presidente:** Werner Eugênio Zulauf. **Diretor Financeiro:** Paulo Bezerril Junior. **Diretor Administrativo:** Antonio Alves de Almeida. **Diretor de Engenharia:** Nelson Mansour Nabhan. **Diretor de Controle:** Nelson Vieira de Vasconcelos. **Diretor de Planejamento Ambiental:** Fredmar Corrêa. **Diretor de Pesquisa:** Samuel Murgel Branco.

### ESCRITÓRIO CENTRAL

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros  
São Paulo - CEP 05459 - Telefone: (DDD 011) 210-1100  
Telex (011) 222-46 - CTS - BR

### UNIDADES REGIONAIS E ESCRITÓRIOS

#### ● Estado de São Paulo

**Araçatuba:** Rua Silva Jardim, 906  
Fone: (0186) 23.6838 - CEP 16.100

**Araraquara:** Av. Espanha, 188  
Fone (0162) 32.2211 - CEP 14.800

**Bauru:** Rua Gerson França, 11-60  
Fone: (0142) 23.8466 - CEP 17.100

**Campinas:** Rua São Carlos, 287  
Fone: (0192) 32.3366 - CEP 13.100

**Cubatão:** Rua Assembléia de Deus, 39 Salas 405 e 407  
Fone: (0132) 61.1660 e 611301 - CEP 11.500

**Franca:** Av. Champagnat, 1808  
Fone: (016) 723.9700 - CEP 14.400

**Guarulhos:** Rua Brás Cubas, 95  
Fone: (011) 209.8413 - CEP 07.000

**Ipiranga:** Rua Caramuru, 573  
Fone: (011) 275.7102 - CEP 04138

**Marília:** Av. Sampaio Vidal, 106  
Fone: (0144) 33.8879, 33.8521, 33.8733 - CEP 17.500

**Mogi das Cruzes:** Rua Prof. Floriano de Melo, 330  
Fone: (011) 469.3490 - CEP 08.700

**Novo Horizonte:** Av. da Saudade, s/n  
Fone: (0175) 42.1950 - CEP 14.960

**Osasco:** Rua Nathanael Titto Salmon, 268  
Fone: (011) 801.9736 - CEP 06.000

**Piracicaba:** Rua Moraes Barros, 264  
Fone: (0194) 34.5132 - CEP 13.400

**Presidente Prudente:** Rua Siqueira Campos, 699  
Fone: (0182) 22.1044 - CEP: 19.100

**Ribeirão Preto:** Rua Amador Bueno, 1294/1302  
Fone: (016) 634.6044, 634.4536, 625.9500  
- CEP 14.100

**Santana:** Av. Gal. Ataliba Leonel, 379  
Fone: (011) 267.7562 - CEP 02.033

**Santos:** Rua Itapura de Miranda, 158  
Fone: (0132) 33.7127, 32.9550 - CEP 11.100

**Santo André:** Rua Juquiá, 555  
Fone: (011) 444.3519, 444.5767 - CEP.: 09.000

**São Bernardo do Campo:** Av. Brig. Faria Lima, 360  
Fone: (011) 443.4188 - CEP 09700

**Sorocaba:** Av. Dr. Eugênio Salermo, 157  
Fone: (0152) 31.4877, 312065 - CEP 12.100

**Tatuapé:** Rua Henrique Setorio, 221  
Fone: (011) 217.7505 - CEP 03.066

**Taubaté:** Rua Itambé, 38  
Fone: (0122) 32.4829, 324900, 32.4867 - CEP 12.100

#### ● Outros Estados

##### Florianópolis - SC

Rua João Pinto, 6 - 2º andar - s/203  
Fone: (0482) 22.7690 - CEP 88.000

##### Recife - PE

Rua das Fronteiras, 160  
Fone: (081) 222.1013 - CEP 50.000

---

## CONTROLE DE POLUIÇÃO EM CALDEIRA A BAGAÇO ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS

Antonio Shinji Omoto

Eng.<sup>o</sup> Mecânico

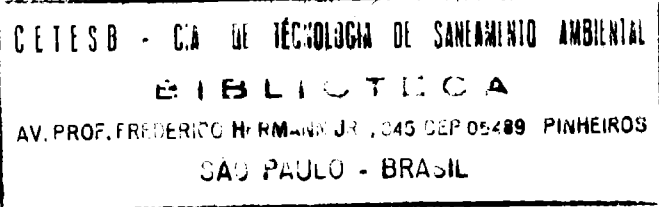
Luiz Carlos da Costa

Economista

Shigeru Yamagata

Eng.<sup>o</sup> Mecânico

DIVISÃO DE ANÁLISE DE PROJETOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E RUÍDO



### INTRODUÇÃO

O processo de substituição de insumos energéticos adotado pelo Brasil a partir dos anos 70, como forma de diminuir a dependência de importações e de equilíbrio da Balança de Pagamentos, trouxe consigo uma série de medidas econômicas, inovações e adaptações tecnológicas, envolvendo o Setor Produtivo, de Transportes e Serviços em geral, as quais atingiram a maioria dos objetivos propostos.

Dentre os eventos deste período destaca-se o Pró-Álcool e as Caldeiras a Bagaço as quais, vem sendo modificadas tanto visando aumentos de eficiência na geração de vapor quanto em termos de redução dos seus efeitos ambientais, num período mais recente.

Com base em dados do setor, estima-se que existiam em funcionamento durante a safra de 1981/82 um número aproximado de 405 caldeiras no Estado de São Paulo, produzindo cerca de 37.750.000 t de vapor ano as quais, podiam gerar a emissão de 151.000 t de material particulado.

Aliado ao fato de que outras empresas e não apenas as usinas de açúcar e álcool tem adotado este tipo de insumo como combustível devido aos excedentes gerados, à proximidade destas empresas em relação às usinas e do próprio custo deste material, o cenário de utilização do bagaço vem sendo modificado sob dois aspectos: na quantidade de poluentes emitidos, não mais restritos às usinas; e também no próprio custo de insumo, em razão direta do aumento de sua demanda.

Tendo em vista a representatividade deste tipo de equipamento produtivo atualmente empregado, faz-se necessária uma análise da tecnologia de controle de emissões existente para minimizar os efeitos da poluição sobre o meio ambiente.

O presente estudo pretende abordar os aspectos relativos as formas desejáveis de controle correlacionando com os aspectos econômicos da questão, apresentando e comparando os custos relacionados às diversas soluções apresentadas, bem como dar uma idéia de alternativas paralelas como a de modificações processuais as quais, podem além de apresentar resultados em termos de emissões, tornar-se competitivas economicamente aos equipamentos usuais de controle.

## CALDEIRAS A BAGAÇO DE CANA

### Características

A caldeira a bagaço de cana utilizada no Estado de São Paulo é a do tipo aquatubular com fornalhas dos tipos ferradura, rotativa ou grelha basculante, sendo esta última a mais empregada atualmente por apresentar melhor desempenho operacional e menor emissão dos poluentes em geral (Figura 1).

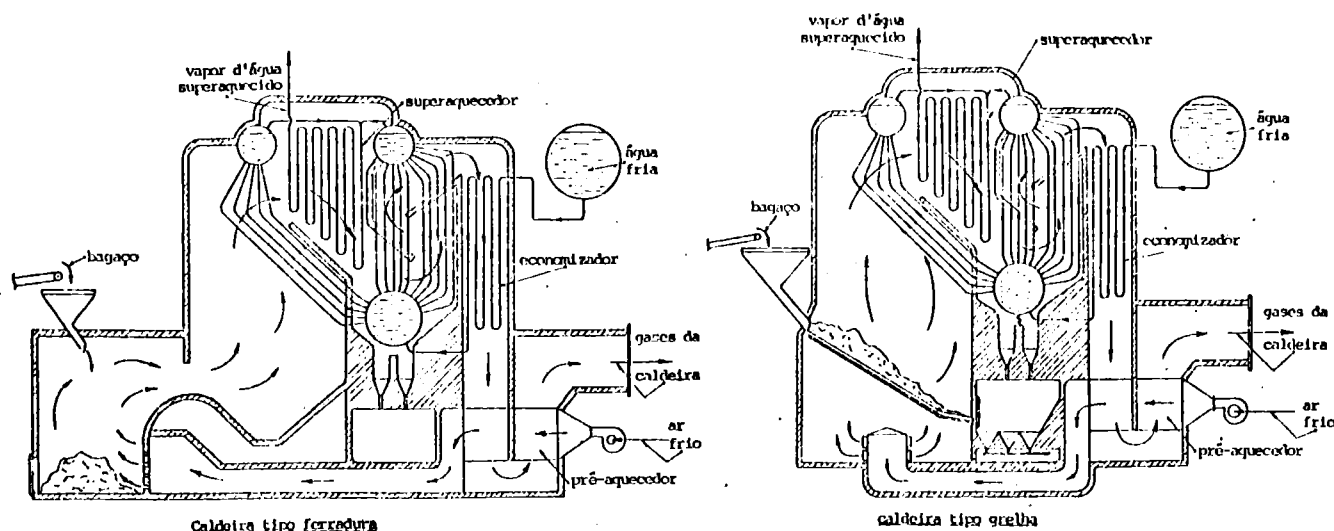


FIGURA 1 - Caldeiras a Bagaço

O bagaço utilizado como material combustível na maioria das caldeiras, apresenta como característica 50% de umidade.

Estas caldeiras normalmente são providas de super aquecedores, economizadores e pré-aquecedores de ar, componentes que proporcionam maiores rendimentos térmicos.

A capacidade nominal de geração de vapor dos equipamentos atualmente instalados no Estado de São Paulo abrange uma faixa de 5 a 150 toneladas por hora.

### Condições operacionais

Existem pequenas variações de condições de operação das caldeiras em função da fornalha utilizada. No Quadro 1 a seguir, são destacados alguns itens que servem de base para estimativas de equipamentos de controle de poluição.

QUADRO 1 - CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE CALDEIRAS A BAGAÇO

CONDIÇÕES OPERACIONAIS	FORNALHAS	
	FERRADURA	GRELHA BASCULANTE
PCI Kcal/kg bagaço (50% de umidade)	1.780	1.780
Consumo específico de bagaço a 50% de umidade kg vapor/kg bagaço	1,8	2,1
Eficiência térmica em relação ao PCI	50 a 70%	70 a 85%
Temperatura dos gases após a caldeira	150 a 250°C	150 a 250°C
Excesso de ar aproximado	50 a 90%	20 a 40%

PCI - Poder Calorífico Inferior Médio.

## Problemas de poluição ambiental

A poluição atmosférica causada pela queima do bagaço de cana nestas caldeiras consiste principalmente de material particulado (MP) sob a forma de bagaços queimados parcialmente (fuligem), Óxidos de Ferro ( $\text{FeO}$ ), Silício ( $\text{SiO}_2$ ) e Cálcio ( $\text{CaO}$ ) entre outros.

Com relação à emissão de poluentes gasosos convém ressaltar que, os Óxidos de Enxofre ( $\text{SO}_x$ ) apresentam-se em volume praticamente desprezível, sendo que a emissão de Monóxidos de Carbono ( $\text{CO}$ ) e Óxidos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) dependem da forma de operação da caldeira. Alguns materiais orgânicos tais como, Hidrocarbonetos Aromáticos e Policíclicos também foram detectados nas emissões.

A faixa de emissão de material particulado varia de 3 a 13 kg por tonelada de bagaço queimado, a 50% de umidade, sendo o valor médio adotado para efeito de estudos de 8 kg por tonelada.

Dependendo do tipo de equipamento de controle de poluentes a ser adotado poderão ser gerados efluentes líquidos ou resíduos sólidos poluentes.

Caso seja adotado sistema a seco tais como, ciclones ou filtros de tecidos por exemplo, surgirão resíduos sólidos secos os quais, deverão ser dispostos adequadamente tanto em lavou-ras quanto em aterros controlados. Na hipótese do uso de equipamentos por via úmida apresentar-se-ão efluentes líquidos contendo os resíduos coletados nos lavadores (segundo nossos dados, da ordem de  $4 \text{ m}^3/\text{t}$  de bagaço), que deverão receber tratamento para separação dos sólidos, usualmente através de decantadores, cujo líquido clarificado poderá ser reutilizado.

### CONTROLE E TRATAMENTO DE POLUENTES

Para controle de poluição do ar de caldeiras a bagaço duas alternativas poderão ser utilizadas, dependendo de estudos de viabilidade técnico econômica. Uma alternativa é a do controle direto com a simples adoção de equipamentos de controle (via seca ou úmida) e a outra é a modificação processual como forma de controle indireto.

#### Equipamentos de controle via seca

Os equipamentos existentes que operam através de via seca que poderão ser utilizados são ciclones, filtro de tecidos, precipitadores eletrostáticos e filtro tipo cascalho.

Os ciclones são normalmente utilizados como pré coletores devido à sua baixa eficiência (20 a 85%). O seu desempenho dependerá da variação dos parâmetros operacionais da caldeira em função da temperatura, vazão dos gases e perda de carga (30 a 300 mmca). Tais equipamentos não apresentam problemas de danificação com relação a variação de temperatura dos gases por serem construídos basicamente de materiais resistentes à abrasão e temperatura (Figura 2).

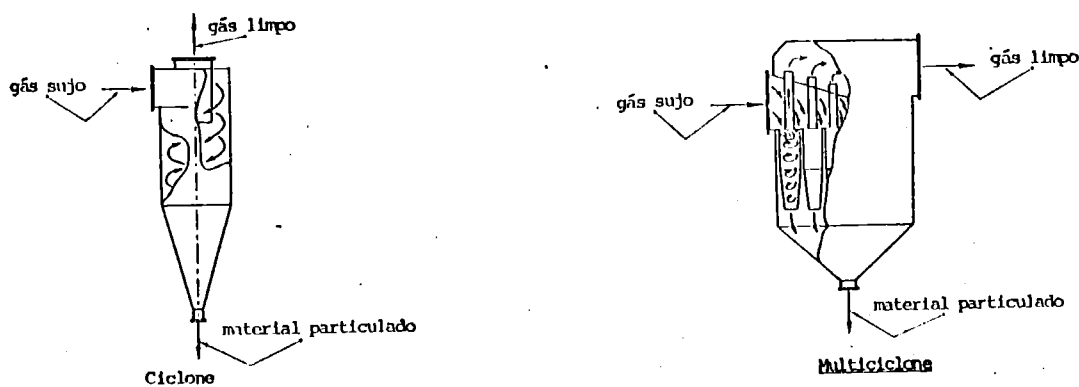


FIGURA 2 - Ciclones e Multiciclones

Filtros de tecidos ainda não são utilizados no Estado de São Paulo, devido aos problemas operacionais, embora possuam altas eficiências de controle para material particulado. Caso não sejam adotadas as devidas precauções poderão ocorrer na partida da caldeira "empastamento" dos tecidos dos filtros, devido ao "melaço" evaporado que dificulta o processo de filtragem dos gases e conseqüentemente aumenta a perda de carga, podendo inutilizar este equipamento. Outros fatores a serem considerados são a temperatura de operação do filtro, usualmente em torno de 135°C para que não haja a queima dos elementos filtrantes, além da tremonha do filtro que coleta o material particulado passível de auto combustão, que poderá também ocasionar a queima do filtro, limitando o seu uso para as emissões de caldeira a bagaço.

Precipitadores eletrostáticos possuem como fator limitante principal o seu próprio custo, muito elevado em relação aos demais equipamentos, além das características elétricas do bagaço queimado parcialmente (MP) não serem adequadas para coleta no precipitador, por apresentar resistividade relativamente baixa (Figura 3)

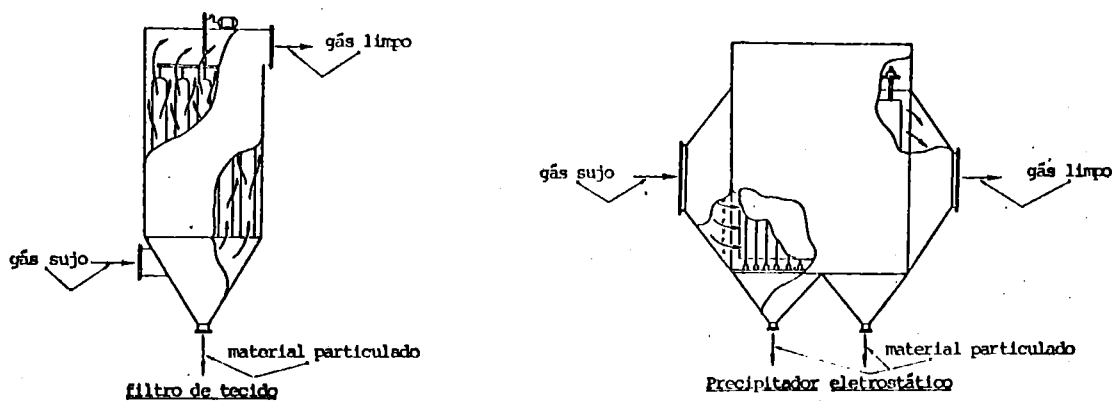


FIGURA 3 - Filtros de Tecido e Precipitador Eletrostático

Filtro tipo cascalho, que se encontra em fase de teste comercial em algumas caldeiras no Estado de São Paulo, não existindo resultados comprovados até a presente data.

#### Equipamentos de controle via úmida

O controle de poluição do ar por via úmida pode ser feito por meio de vários tipos de lavadores entre os quais destacam-se os tipo venturi, torres de spray, centrífugos com sprays e "wet cap".

Os lavadores tipo venturi possuem como característica a grande flexibilidade operacional da perda de carga do efluente gasoso a ser tratado, possibilitando um melhor controle de eficiência de coleta de MP.

A perda de carga neste equipamento pode variar geralmente de 100 a 1.500 mmca e a relação de líquido/gás que, determina a quantidade de líquido bombeado necessária para coleta de material particulado, varia de 0,8 a 1,5 l/m<sup>3</sup> saturado. O consumo de energia (potência) é relativamente alto comparado a outros equipamentos de mesma eficiência.

Este equipamento, até o presente, não está sendo utilizado no Estado de São Paulo, no controle de caldeiras a bagaço, devido à localização das usinas de açúcar, distantes dos centros urbanos em geral, não requererem um grau elevado de controle, bem como, ao elevado investimento e custo de operação envolvidos neste equipamento, que a título de exemplo é da ordem de Cr\$ 600.000.000 para uma vazão de 160.000 m<sup>3</sup>/h, para uma caldeira de 40 t vapor/hora.

Os lavadores tipo "Wet Cap", apresentam em geral uma baixa eficiência de controle, porém com relativa facilidade de operação por não possuírem sistemas de lavagem sofisticados. Consistem basicamente de cilindros e cones superpostos de tal forma que os gases passam sob a cortina ou spray de líquido de lavagem, os quais normalmente estão instalados na própria chaminé da caldeira, requerendo desta forma menos espaço que os outros equipamentos. O custo, dependendo do projeto, poderá ser equivalente ao de lavadores tipo spray ou centrífugos, o que faz com que os mesmos não tenham sido muito utilizados.

Dependendo da localização da usina este poderá ser viável como forma de controle de MP para as caldeiras a bagaço.

Os lavadores do tipo Spray são utilizados para controle de caldeiras que possuam baixas cargas de emissão ou que tenham instalados pré coletores, devido aos seus aspectos construtivos, tais como o número de sprays e localização dos mesmos ao longo do corpo do lavador. Para baixas cargas de emissão a eficiência de controle seria suficiente, sendo que a perda de carga varia de 10 a 60 mmca, podendo o seu projeto ser provido de anteparos, como mostra a figura 4 a seguir. A relação de líquido/vapor na caldeira está em torno de 2 m<sup>3</sup>/t vapor.

Os lavadores tipo Centrífugo com Sprays, quando operados adequadamente, apresentam um nível de emissões considerados visualmente adequados para usinas relativamente distantes dos centros urbanos.

Sua forma construtiva consiste de cilindros com entrada tangencial de gases na parte inferior, ocasionando ciclonagem dentro do corpo do lavador, cujos gases são depurados por meio de sprays localizados convenientemente, podendo existir aletas no interior do corpo para aumentar o nível de centrifugação, aumentando desta forma a eficiência de coleta.

A perda de carga destes lavadores varia de 20 a 100 mmca, e a relação líquido/vapor da caldeira é aproximadamente 2 m<sup>3</sup>/t vapor.

Atualmente este tipo de equipamento vem sendo amplamente utilizado na usina de açúcar e álcool, e outras indústrias do Estado de São Paulo (Figura 4).

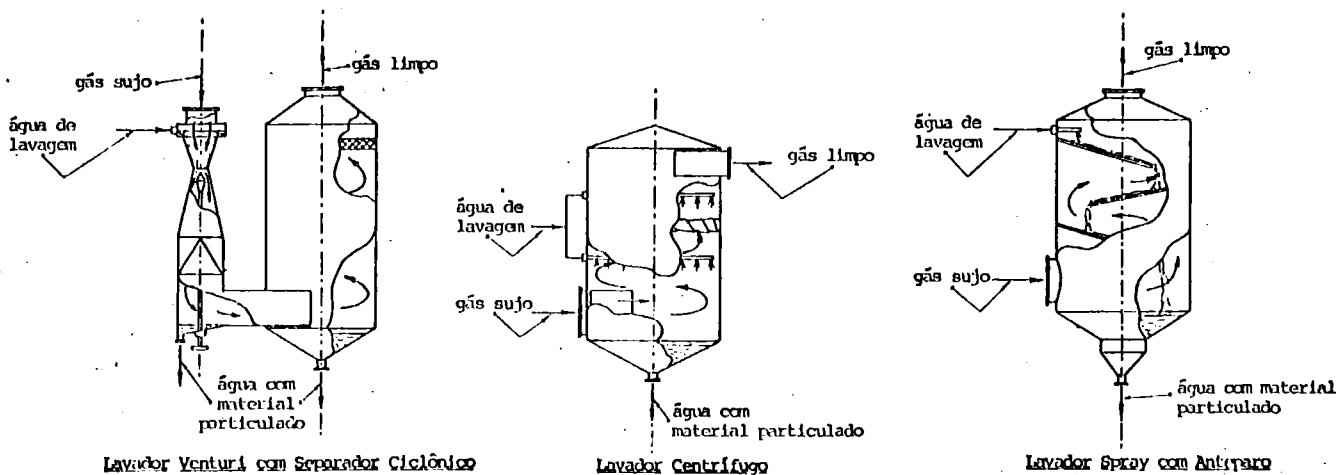


FIGURA 4 - Lavadores

#### Modificações processuais

Como via indireta de controle apresenta-se a opção de alteração processual destinada à secagem do bagaço a ser utilizado nas caldeiras, visando a economia deste combustível. Tal sistema, consistindo de colunas de secagem, injetores de bagaço, operando com gases aquecidos provenientes da caldeira, permite a redução do teor de umidade existente no bagaço injetado, devido a troca térmica causada.



Os equipamentos de controle possíveis de ser implantados são os descritos anteriormente, sendo que o comum tem sido a implantação de lavadores na saída dos gases.

### CUSTOS ESPECÍFICOS

Ao se analisar uma hipótese de sistema de controle a ser implantado deve-se considerar em princípio as questões de ordem técnica como a viabilidade do uso de tais equipamentos e mesmo a possibilidade de outras soluções, bem como a totalidade dos custos envolvidos, a vida útil prevista e eventualmente o retorno do capital investido.

Considerando a tecnologia disponível e que na prática os equipamentos mais utilizados no controle de caldeiras tem sido os lavadores, o presente estudo enfocará os aspectos econômicos relacionados à implantação dos mesmos, abordando também a alternativa de modificação processual que se apresenta viável como forma de investimento em controle de poluição, tendo como data base o período de janeiro de 1985 para todos os valores citados.

Para a formação dos custos de cada uma das formas de controle pode ser utilizada uma classificação geral que os subdivide em dois grupos; os resultantes do investimento e dependentes da capacidade instalada ou prevista inicialmente e que normalmente apresentam economias de escala e as variáveis, cujo montante é função direta do uso do sistema, ou seja, do volume de material a ser tratado e do tempo de uso, são os chamados operacionais e de manutenção.

### Lavadores

Deste tipo de equipamento foi selecionado para análise de custos o lavador tipo ciclônico com sprays, capaz de atingir bons níveis de eficiência e que vem sendo adotados com razoáveis resultados em usinas de São Paulo.

O investimento fixo para tais lavadores foi determinado a partir de levantamentos de mercado em empresas que já os possuem instalados e em operação, considerando todos os componentes necessários a sua implantação exceto os custos relativos à área a ser ocupada pelo sistema, incluindo projeto, obras civis, equipamentos auxiliares, dutos e chaminés, decantadores, materiais elétricos e montagem geral.

O valor de operação e manutenção foi estimado para cada capacidade apresentada a partir das especificações técnicas dos componentes, considerando, mão-de-obra, energia elétrica, água consumida, peças de reposição e pintura.

A figura 6 a seguir, apresenta um esquema geral dos elementos constituintes do sistema de controle com lavador.

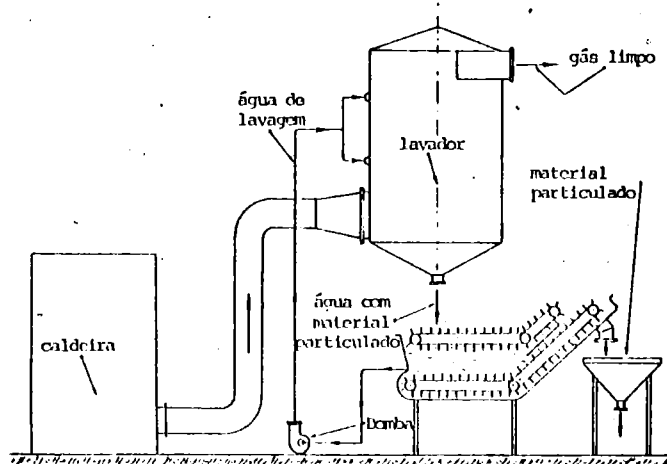


FIGURA 6 - Esquema Geral de Sistema de Controle com Lavador

Os lavadores (corpo e componentes) representam em média 30% da totalidade dos investimentos necessários à implantação do sistema, o restante é devido aos demais equipamentos, incluindo os decantadores.

Pelos dados obtidos pode-se estabelecer uma relação entre os investimentos e a capacidade instalada para as caldeiras individualmente :

$$\text{Custo (Cr\$ x } 10^3) = -530.587 + 207.165 \ln C_p \quad (R^2 = 0,95)$$

onde :  $C_p$  = capacidade da caldeira, expressa em t vapor/hora.

Seu comportamento pode ser notado no gráfico 1 sendo o seu campo de aplicabilidade restrito às capacidades apresentadas, devido às condições citadas, com maior incidência de observações obtidas de 25 a 60 t/hora.

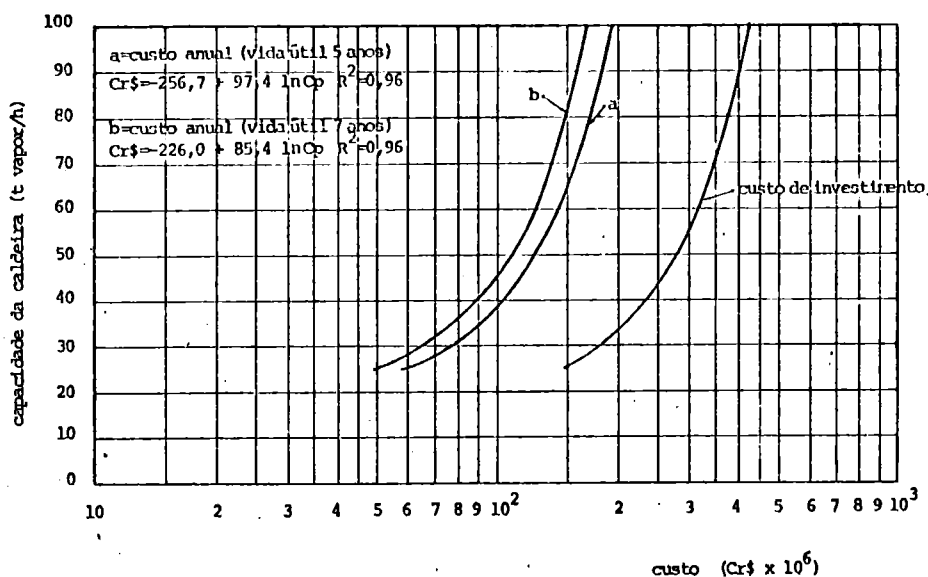


GRÁFICO 1 - Custos de Implantação de Lavadores tipo Centrífugos

O critério para se definir uma alternativa é o de considerar aquela que apresentar comparativamente às demais o menor custo total em termos anuais, envolvendo os custos de operação e manutenção, e os investimentos iniciais aplicados a uma taxa mínima de atratividade igual a 16% a/a com valor residual igual a zero. A seguir são mostrados os elementos adotados para a elaboração do custo anual dos sistemas de controle a úmido.

#### Elementos Para Determinação do Custo Anualizado

- Investimento previsto em função da capacidade instalada  $\text{Cr\$} = f(t \text{ vapor})$
- Tempo de vida útil estimada = 5 a 7 anos
- Taxa de juros adotada, incluindo seguros e impostos = 16% a/a
- Tempo de operação em horas = 5.040 h/ano (safra)
- Ventiladores = vazão em função do bagaço queimado e do excesso de ar utilizado
- Consumo de energia elétrica, motores do ventilador e bombas -  $\text{BHP} \times 0,7457 \times 1,1 = \text{Kw/h}$
- Consumo de  $\text{H}_2\text{O} \approx 0,4 \text{ m}^3/\text{t vapor}$
- Mão-de-obra operacional  $\approx 1$  técnico por dia
- Manutenção (reposição de peças e mão-de-obra)  $\approx 3$  a 5% do investimento total

## Modificação Processual

Como foi apresentado nos itens anteriores os secadores de bagaço como alternativa de controle de emissões de material particulado podem ser considerados alternativas tecnicamente viáveis, e podem ser comparáveis economicamente aos equipamentos de controle, seu investimento inicial mais elevado do que o do controle direto é compensado em termos de custos anuais, pelas economias possíveis de serem geradas na recuperação do bagaço.

Os itens de investimento e de operação e manutenção que compõe os secadores considerados neste estudo são os mesmos adotados para o sistema de controle por via úmida.

Como a eficiência de coleta do bagaço seco no ciclone não é total, sendo aproximadamente de 99% (bagaço seco e MP proveniente da caldeira) estima-se uma emissão residual de cerca de 10 kg/t de bagaço. Desta forma, para que se minimize os efeitos deste residual é necessário a implantação de um lavador e demais componentes no tratamento final dos gases, cujos custos foram considerados também neste trabalho.

A parcela mais elevada de investimento nesta alteração processual é devida aos equipamentos relativos à secagem propriamente dita ( $\approx 70\%$ ), compostos basicamente de chapas de aço e caldeiraria. Foi, neste estudo, suposto que a montagem destes é feita no próprio local, não necessitando de grandes interferências no processo produtivo, nem demolições. Pode-se estimar o investimento desta modificação pela expressão:

$$\text{Custo (Cr\$ x } 10^3) = 253.623 + 13.247 C_p \quad (R^2 = 0,99)$$

onde :  $C_p$  = capacidade da caldeira expressa em t vapor/h.

Em termos de custo anual que serve de base para comparação ao projeto de controle direto, apresentam-se pequenas alterações conforme segue.

### Elementos Para Determinação do Custo Anualizado

- Investimento previsto, em função da disponibilidade térmica dos gases da caldeira
- Tempo de vida útil estimada = 10 a 15 anos
- Taxa de juros adotada, incluindo seguros e impostos = 16% a/a
- Tempo de operação em horas = 5.040 h/ano (safra)
- Ventilador de exaustão = vazão em função do bagaço queimado e do excesso de ar utilizado
- Ventilador do injetor = função da quantidade de bagaço a ser seco
- Consumo de energia elétrica, motores de ventilador e bombas - BHP x 0,7457 x 1,1 = Kw/h
- Consumo de  $H_2O$   $\approx$  desprezível
- Mão-de-obra operacional  $\approx$  1 técnico por dia
- Manutenção (reposição de peças e mão-de-obra)  $\approx$  1 a 2%

Como fator de análise de viabilidade de implantação de sistema de secagem, deve-se considerar a possibilidade de economias baseadas na recuperação de bagaço, para minimizar o custo anual ou mesmo obter retorno de investimento.

Em sequência serão listados diversos parâmetros nos quais se baseia a economia relacionada à recuperação do bagaço.

a) Temperatura dos Gases após a caldeira e Excesso de Ar, que são fatores fundamentais para que haja recuperação de bagaço, pois em temperaturas acima de  $230^{\circ}\text{C}$  e excesso de ar acima de 40%, dependendo de como é operada internamente, haverá uma variação de 6 a 10% de total de bagaço recuperado.

b) A Capacidade Instalada também é determinante em termos custo do equipamento, sur-

gindo casos em que os componentes a serem utilizados (normalmente padronizados) poderão ter seus preços elevados bruscamente em função de mudanças de faixas operacionais.

c) Suprimento de Bagaço para a usina, que em caso de falta de material ou de estoque irregular ocasiona dispêndio com a sua aquisição, transporte, mão-de-obra, administração ou mesmo paralização do processo industrial. No estudo assumiu-se que a empresa estivesse necessitando complementação deste combustível.

d) Mercado Regional, que tanto poderá fornecer como adquirir o bagaço da usina, e em função da distância poderá alterar a composição do valor deste produto.

A seguir são apresentados os parâmetros utilizados no cálculo da economia relativa à recuperação do bagaço.

Elementos Para Determinação das Economias Relativas à Recuperação de Bagaço

- Capacidade instalada = de 25 a 100 t/h de vapor
- Temperatura dos gases após a caldeira = 230 a 250° C
- Excesso de ar na caldeira = 40 a 60%
- Custo do bagaço = Cr\$ 10.000/t (50% de umidade)
- Distância usina - fornecedor = 50 km

O quadro 2 demonstra a aplicação dos dados observados para o cálculo do custo anual, o qual pode ser formulada como segue :

$$Cr\$ = f (Cp, Vz e T)$$

onde : Cp = vapor produzido na caldeira em t/h

Vz = excesso de ar, variando de 40 a 60%

T = temperatura dos gases, variando de 230 a 250° C

QUADRO 2 - CUSTOS E ECONOMIAS RELATIVAS AO SISTEMA DE SECAGEM (Cr\$ X 10<sup>3</sup>)

CUSTO CAPITAL + OPER. E MANUT.			ECONOMIAS RELATIVAS AO BAGAÇO			
CAPACIDADE t/h VAPOR	VIDA ÚTIL (ANOS)		EXCESSO DE AR = 40%		EXCESSO DE AR = 60%	
	10	15	230° C	250° C	230° C	250° C
25	193257	177633	118537	171634	166724	190175
40	277851	256736	187698	274619	265575	303493
60	424144	393670	282520	413865	401323	453272
100	603428	560612	468250	686517	664931	758732

Foi constatado nas observações que em alguns casos o custo anual foi menor para a alteração processual em relação aos lavadores, e que na grande maioria registrou-se a possibilidade de retorno de investimentos apresentada ao final das equações como custo anual negativo, para as condições acima citadas, conforme exemplo da aplicação dos dados apresentados no quadro 3 a seguir em caldeira operando com 40 t/h de vapor.

QUADRO 3 - RESUMO DE CUSTOS ANUAIS - CONTROLE DIRETO X ALTERAÇÃO PROCESSUAL EM Cr\$ X 10<sup>3</sup>

	SISTEMA COM LAVADOR		SISTEMA DE SECAGEM			
	5	7	10	15	230	250
Investimento	223.000		776.706			
Vida útil (anos)	5	7	10	15	230	250
Custo do capital	68.106	55.217	158.631	137.516	187698	274619
Custo operação/manutenção	28.365	28.365	119.220	119.220	187698	274619
Excesso de ar (%)	-	-	40	40	40	40
Temperatura (°C)	-	-	230	250	230	250
Economias relativas ao bagaço	-	-	187698	274619	187698	274619
Custo total anual	96.471	83.582	90153	3232	69038	-17883

### CONCLUSÃO

Pelo exposto no trabalho, observa-se que as duas soluções analisadas, lavadores ou secagem de bagaço, tornam-se viáveis sob o ponto de vista técnico, apresentando vantagens econômicas o processo de secagem, com a ressalva de que sejam mantidas as seguintes premissas básicas, já citadas para as caldeiras otimizadas em termos de eficiência térmica:

- o excesso de ar na operação situe-se na faixa de 40 a 60%;
- a temperatura dos gases após a caldeira encontre-se entre 230 a 250°C.

Outras condições diversas das citadas deverão ser analisadas a partir dos dados específicos do processo.

Ressaltamos que os equipamentos, descritos no trabalho, apresentam no momento resultados parciais em termos de emissão de poluentes, possuindo apenas avaliações visuais e teóricas, e que os sistemas de secagem encontram-se em fase de otimização processual.

### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ARRASCAETA, A. & FRIEDMAN, P. Bagasse drying: past, present and future. *International Sugar Journal*. Louisiana, (86): 3 - 6, Jan. 1984.
- CENTRO DE TECNOLOGIA COPERSUCAR, Piracicaba. *I Seminário de Tecnologia Industrial*. Piracicaba, 1983. 483 p.
- CETESB, São Paulo. *Custos de Controle de Poluição do Ar*. São Paulo, 1976.
- MELNICK, J. *Manual de Projetos de Desenvolvimento Econômico*. Rio de Janeiro, Forum Editora Ltda., 1972.
- BABCOCK and WILCOX, USA. *Steam Its Generation and Use*. USA, Babcock and Wilcox, 1978.
- PERA, H. *Geradores de Vapor de Água (Caldeiras)*. São Paulo, EPUSP, 1966. 287 p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USA. *Compilation of Air Pollutant Emissions Factors*. Springfield, National Technical Information Service, 1977. 1 v. (PB 275525).

---

THEODORE, L. & BUONICORE, A.J. *Industrial Air Pollution Control Equipment for Particulates*. Ohio, CRC Press, 1976. 308 p.

OLIVEIRA, E.R. Bagaço de cana: Um Combustível que ainda não recebeu a devida atenção. *Alcool & Açúcar*. São Paulo, (Ano 2): 10 - 18, mai/jun 1982.

MARANHÃO, L.E.C. & COSTA, G.M.M. Secadores de bagaço ou pré-aquecedores de ar? (Comparação entre as eficiências das caldeiras). *Alcool & Açúcar*. São Paulo, (Ano 3) : 18-21, Jan/Fev 1983.

GUILHON, C.V. Secagem do bagaço de cana. *Alcool & Açúcar*. São Paulo, (Ano 4): 32 - 41, Mar/Abr 1984.

BAKER, R. & LAHRE, T.F. *Background Document: Bagasse Combustion in Sugar Mills*. Springfield, National Technical Information Service, 1977. 1 m. (PB 264302).

Data Aquis.:
Indi.:
Livraria:
Preço: Cr\$
Data Tomba: