

# **ANÁLISE DE PARÂMETROS IMPORTANTES QUE INFLUENCIAM O RENDIMENTO DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO DE UMA USINA SUCROALCOOLEIRA.** Rodnei Passolongo, Ricardo Alan Verdú Ramos, Marcelo Caldato Fiomari. – Ciências Térmicas - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

A fonte de energia das caldeiras que operam nas plantas de vapor de uma usina sucroalcooleira é o bagaço de cana. Assim, o sistema térmico como um todo tem forte dependência da quantidade disponível e das características do bagaço, ou seja, variações na massa disponível e nas propriedades do bagaço provocam variações na quantidade e qualidade do vapor gerado nas caldeiras.

O principal parâmetro para avaliar a qualidade do bagaço é sua umidade (Hugot, 1969), pois quanto mais úmido o bagaço, menor seu poder calorífico inferior (PCI) e, portanto, menor a energia disponível para uma mesma quantidade de combustível.

Um outro parâmetro importante está associado à eficiência das caldeiras. Tal parâmetro é o consumo específico de bagaço ou a relação bagaço-vapor ( $R_{bv}$ ), ou seja, a quantidade de bagaço que é necessário para se produzir um kg de vapor na pressão e temperatura desejada. Assim tem-se:

$$R_{bv} = \frac{\dot{m}_{bag}}{\dot{m}_{vapor}} \quad (1)$$

Considerando o processo em regime permanente e utilizando conceitos termodinâmicos (Van Wylen *et al.*, 1995), pode-se chegar a uma expressão para o rendimento pela primeira lei ( $\eta_I$ ), que mostra a relação direta entre a eficiência da caldeira com a relação bagaço-vapor:

$$\eta_I = \frac{h_{vapor} - h_{água}}{R_{bv} \text{ PCI}_{bag}} \quad (2)$$

Assim, informar a eficiência de uma caldeira é a mesma coisa que informar a relação entre a quantidade de bagaço consumido e o vapor produzido.

Da mesma forma, pode-se obter o rendimento pela segunda lei ( $\eta_{II}$ ), dado pela seguinte equação:

$$\eta_{II} = \frac{ex_{vapor} - ex_{água}}{R_{bv} ex_{bag}} \quad (3)$$

No que diz respeito à demanda térmica de processo de fabricação de açúcar e álcool, a relação vapor-cana moída ( $R_{vc}$ ) representa a energia térmica que está sendo usada no processo e é dada em kg de vapor por tonelada de cana moída, conforme segue:

$$R_{vc} = \frac{\dot{m}_{vap}}{\dot{m}_{cana}} 1000 \quad (4)$$

O objetivo das plantas é reduzir esse número, ou seja, conseguir processar o caldo da cana com a menor demanda de vapor possível (Barreda Del Campo, 1996).

Analogamente à relação  $R_{vc}$ , pode-se caracterizar a relação da energia elétrica gerada em kWh por tonelada de cana moída ( $R_{pe}$ ). Esse número difere de usinas que têm turbinas nos acionamentos mecânicos para aquelas que utilizam motores elétricos nos mesmos acionamentos. Neste último caso, essa relação é maior já que a potência elétrica instalada e a demanda são maiores. A equação a seguir ilustra essa relação para o fluxo de cana, dado em kg/s:

$$R_{pc} = \frac{\dot{W}_{ele}}{3,6 \dot{m}_{cana}} \quad (5)$$

A relação entre o vapor consumido e a potência gerada ( $R_{vp}$ ) relaciona o vapor consumido em kg/s com a potência elétrica ou mecânica em kW gerada por uma turbina e é conhecida como consumo específico de vapor, sendo dado por:

$$R_{vp} = \frac{3.600 \dot{m}_{vap}}{\dot{W}} \quad (6)$$

Esse número está associado ao rendimento da máquina ( $\eta_I$ ), pois quanto menor essa relação, maior é o rendimento termodinâmico dela. Assim, pode-se chegar à seguinte relação entre o  $\eta_I$  e  $R_{vp}$ :

$$\eta_I = \frac{3.600}{R_{vp} \Delta h_{iso}} \quad (7)$$

Para avaliar a eficiência do conjunto caldeira e turbinas, seja de acionamento elétrico ou mecânico, pode-se usar a relação ilustrada pela equação abaixo, na qual a relação bagaço-potência da planta ( $R_{bp}$ ) é expressa em kg/kWh e relaciona o bagaço consumido com a potência elétrica e mecânica:

$$R_{bp} = \frac{3.600 \dot{m}_{bag}}{(\dot{W}_{ele} + \dot{W}_{mec})} \quad (8)$$

Essa equação sinaliza como a energia do combustível (bagaço de cana) é aproveitada pela caldeira e como a energia útil do bagaço, na forma de vapor, é aproveitada nas turbinas.

A avaliação pela primeira lei da termodinâmica permite calcular as potências de eixo produzidas para os acionamentos mecânicos, seja picadores, desfibradores, moendas, exaustores e bombas hidráulicas, e para os acionamentos dos geradores elétricos, além das potências de bombeamento consumidas na planta. Também através da primeira lei, pode-se determinar a potência térmica útil no processo, seja no sistema de evaporação da água do caldo ou no processo de destilação, e a perda no condensador.

Para uma avaliação geral da planta, deve-se considerar toda a potência gerada, seja elétrica ou mecânica, toda energia térmica útil e perdida, no caso da turbina de extração-condensação, e a energia da fonte quente da planta que é proveniente do bagaço. Assim, pode-se definir a eficiência global do sistema ( $\eta_{global}$ ), conforme ilustrado pela equação que segue:

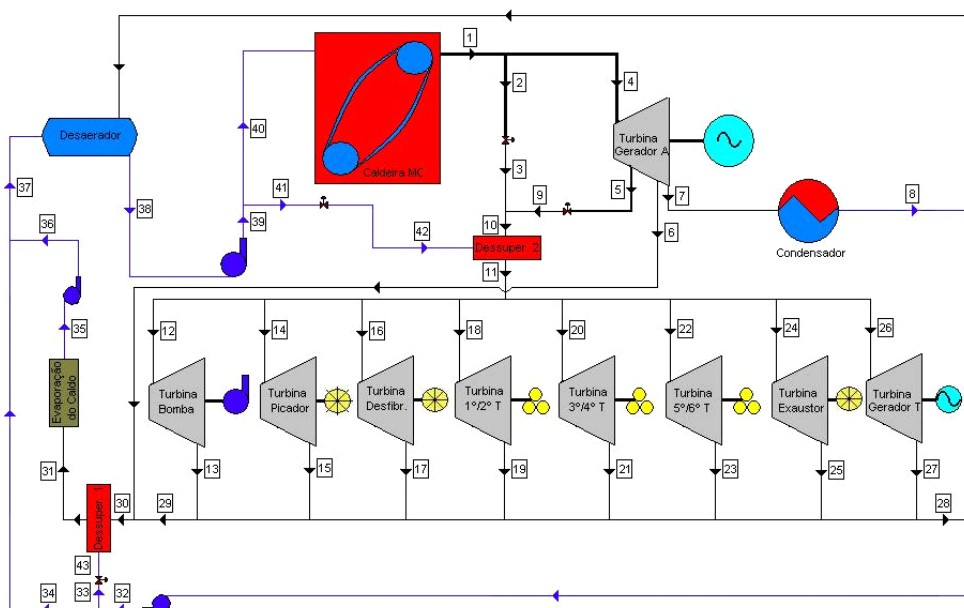
$$\eta_{global} = \frac{\dot{W}_{ele} + \dot{W}_{mec} + \dot{Q}_{evap} + \dot{Q}_{dest} - \dot{W}_{bomb} - \dot{Q}_{cond}}{PCI_{bag} \dot{m}_{bag}} \quad (9)$$

Um dos principais índices utilizados no dia a dia de uma usina é a relação entre o vapor utilizado no processo e a quantidade de cana moída ( $R_{vc}$ ), já que essa relação expressa a energia térmica necessária no processamento da cana dentro da usina.

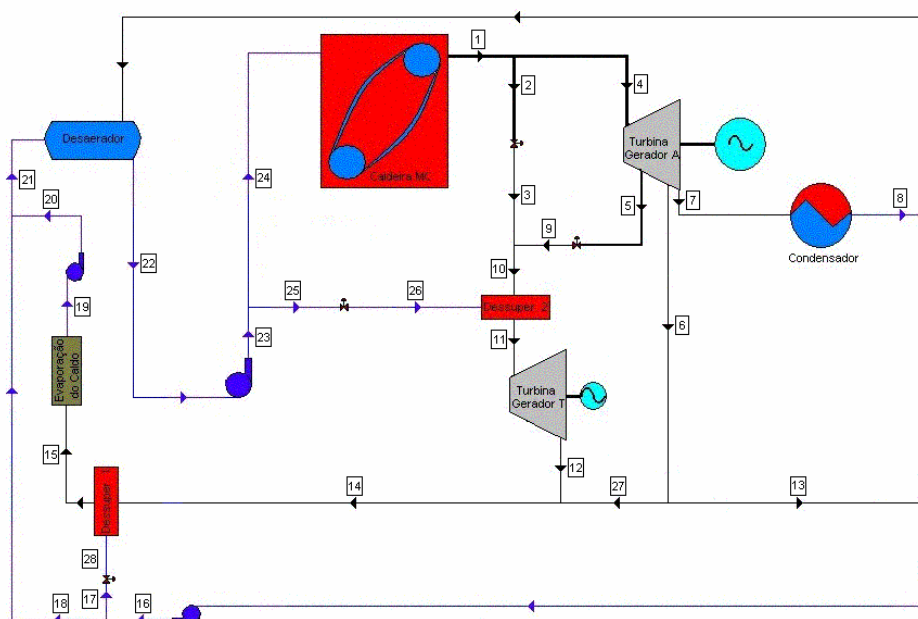
Foram simuladas duas situações para o sistema de cogeração na Destilaria Pioneiros, considerando-se a sua planta inicial e a planta atual que foi modificada para geração de excedente de energia elétrica para comercialização. Na primeira situação, aqui denominada de Caso 1, os acionamentos mecânicos (picadores, desfibradores, moagem, exaustores e bombas hidráulicas) utilizavam turbinas a vapor de contrapressão de simples estágio, assim como os turbogeradores. Na segunda situação, denominada de Caso 2, é considerada a eletrificação total no acionamento dos equipamentos da planta. Nessa planta, o turbo gerador A, mais eficiente, tem preferência no vapor

produzido, enquanto o turbo gerador T funciona somente se for necessário produzir mais vapor de baixa pressão para o processo.

As Figuras 1 e 2 mostram a configuração da planta para os Casos 1 e 2, respectivamente.



**Figura 1** – Fluxograma da Destilaria Pioneiros para o Caso 1.



**Figura 2** – Fluxograma da Destilaria Pioneiros para o Caso 2.

Para as simulações, foram consideradas  $R_{vc}$  condizentes com a realidade da empresa, de forma que esse número diminuiu a um nível aceitável em torno de 450 kg de vapor por tonelada de cana moída (Destilaria Pioneiros, 2004). Vale ressaltar que, em plantas que têm turbinas de extração-condensação, deve-se objetivar a diminuição do vapor consumido no processo, pois se pode condensar mais na turbina e, conseqüentemente, gerar mais potência.

A turbina de extração-condensação tem seu ponto de operação definido para cada simulação em função do consumo de vapor de processo considerado.

A Tabela 1 ilustra os índices de desempenho de cada planta associados com a usina.

**Tabela 1** – Índices de desempenho das plantas estudadas.

<b>Índices de Desempenho</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
$R_{vc}$ (kg/t)	498,6	450,1
$R_{pc}$ (kWh/t)	72,7	109,6
$R_{vp}$ (kg/kWh)	8,1	4,9
$R_{bp}$ (kg/kWh)	2,9	2,3
$\eta_{global}$ (%)	64,5	65,8
Geração de eletricidade (kW)	20.132	31.226

O consumo específico de vapor  $R_{vp}$  apresentado na Tab. 1 é referente a toda a planta, ou seja, ele considera todas as potências geradas e todo vapor direto consumido pelas turbinas.

Para ambos os casos, foi considerada uma relação  $R_{bv}$  de 0,47, e a eficiência isentrópica da caldeira ( $\eta_I$ ), obtida pela primeira lei foi de 83,5 %. As eficiências pela segunda lei ( $\eta_{II}$ ) são bastante baixas, isso indica que o processo de combustão na caldeira gera altas taxas de irreversibilidades.

Sob o ponto de vista dos índices apresentados na Tab. 1, o Caso 2 é aquele que tem melhor desempenho, pois apresenta o menor consumo específico de vapor e de bagaço também, além de ter a maior geração de potência por tonelada de cana.

A energia térmica útil de processo é diretamente proporcional à relação  $R_{vc}$  e à quantidade de cana moída. Essa relação é que define o ponto de operação da planta. Assim, os casos que têm turbinas de condensação têm a quantidade de condensado na turbina definida pelo consumo de vapor de processo.

O Caso 2 apresenta os melhores resultados com base nos indicadores  $R_{pc}$ ,  $R_{vp}$  e  $R_{bp}$ . Valores menores para essas relações indicam que a planta é mais eficiente, porém se ela cogera energia para exportação, é interessante que  $R_{pc}$  seja o mais alto possível.

Por fim, o estudo realizado mostra que a utilização de equipamentos mais modernos aumenta a eficiência do sistema térmico como um todo, mostrando a viabilidade das modificações implementadas.

### **Referências Bibliográficas**

- BARREDA DEL CAMPO, E.R., LLAGOSTERA, J. Estudo de possibilidades de incremento da cogeração em usinas açucareiras cubanas. In: Anais do VI Encontro de Ciências Térmicas. Florianópolis, SC, 1996. p. 447-452.
- HUGOT, E. Manual da Engenharia Açucareira. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1969. 2v. 1198 p.
- VAN WYLEN, G., SONNTAG, R., BORGNAKKE, C. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1995. 594 p.
- DESTILARIA PIONEIROS. Boletim de Dados de Processo da Safra 2004/2005. Sud Mennucci, SP. 2004.