



## ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO USADOS EM DUAS DIFERENTES PLANTAS SUCRO-ALCOOLEIRAS

### **Pio Caetano Lobo**

IEM/DME – EFEI – Cx. Postal 50 – 37500 903. Itajubá – MG – Brasil  
[pclobo@iem.efei.br](mailto:pclobo@iem.efei.br)

### **Emerson Freitas Jaguaribe**

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil  
[ejaguaribe@uol.com.br](mailto:ejaguaribe@uol.com.br)

### **José Rodrigues de Lima Neto**

Japungu Agroindustrial S. A., Fazenda Japungu s/n – 58300 000. Santa Rita – PB – Brasil  
[jneto@netwaybbs.com.br](mailto:jneto@netwaybbs.com.br)

### **Felipe Augusto Araruna da Rocha**

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil  
[felipear@zipmail.com.br](mailto:felipear@zipmail.com.br)

### **Wilson Luciano de Souza**

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil  
[wilsonphd@bol.com.br](mailto:wilsonphd@bol.com.br)

**Resumo.** *O uso da cogeração de energia elétrica em muitas indústrias passou, nesses últimos anos, a ser uma condição de sobrevivência e competitividade, sobretudo para aquelas que processam a cana de açúcar. Neste caso, essa cogeração é tão mais lucrativa, quanto maior for a sobra de bagaço. Nesse trabalho são analisados os processos de extração de duas empresas sucro-alcooleiras que usam turbinas de contrapressão para fornecer trabalho, sendo o vapor de contrapressão utilizado como energia térmica de processo. Uma emprega grandes turbo geradores de múltiplos estágios que operam com entrada de vapor a 3 MPa e 330 °C, para cogerar energia elétrica para motores elétricos que acionam as moendas, facas e desfibradores. Já na outra o acionamento das máquinas é realizado diretamente por pequenas turbinas de simples estágio operando com vapor a 2,0 MPa e 290 °C. Verificou-se que a empresa utilizando energia elétrica cogerada, com turbinas maiores para acionar as máquinas, precisa de 42,1 kg de bagaço para moer uma tonelada de cana, enquanto que a empresa com várias turbinas menores (menos eficientes) necessita de 120 kg de bagaço. Deduz-se daí, que com o uso mais racional do bagaço, gerando vapor d'água a temperatura e pressão maiores para uma cogeração mais eficiente em turbinas de múltiplo estágio, com perdas menores de transmissão, intrínseca à energia elétrica, se obtém uma economia de 65 % de bagaço, que tanto pode ser comercializado in natura, ou co-gerar excedentes de eletricidade.*

**Palavras chaves:** *Uso racional de energia, Cogeração, Bagaço de cana de açúcar, Processo de extração.*

## 1. INTRODUÇÃO

Vivemos em um País que enfrenta um racionamento de eletricidade residencial e industrial, com limite ao dispêndio, sobretaxas para consumo acima de um certo limite e ameaça de corte para consumidores que não cumprem as metas estabelecidas. Uma das alternativas para suprir o déficit de eletricidade está no uso racional de energia, que inclui a redução de perdas e a cogeração de energia. Esta prática tem sido utilizada nas usinas de açúcar e destilarias de álcool, a partir do bagaço, resíduo dessa indústria. O uso mais racional de energia, com cogeração mais eficiente pode não apenas prover a auto-suficiência fabril, em energia, mas, também, possibilitar a comercialização de excedentes de eletricidade, o que certamente poderá contribuir para o aumento da oferta. Análises termo-energética e econômica de sistemas existentes de cogeração de energia constituem o primeiro passo para a introdução dessas alternativas.

Nesse estudo as análises se concentraram no acionamento dos ternos das moendas (equipamento responsável pela extração do caldo da cana) que tanto pode ser realizado por turbinas a vapor de simples estágios, como por motores elétricos. No caso das turbinas, o controle da velocidade das moendas é mais difícil e mais oneroso, e complexo para se estabelecer regimes de trabalho uniforme. Assim, para novas unidades, ou em indústrias que possuem equipamentos com baixo rendimento, deve-se utilizar motores elétricos, com o acionamento individual de cada terno de moenda, permitindo maior controle da partida e parada destes ternos e maior rendimento da turbina de cogeração.

Partindo-se do acionamento desses ternos serão comparados sistemas de cogeração de duas empresas sucro-alcooleiras, usando turbinas de contrapressão, sendo o vapor de contrapressão empregado como energia térmica de processo. Uma, a Japungu Agroindustrial S. A., emprega grandes turbo-geradores de múltiplos estágios que operam com entrada de vapor a 3 MPa e 330 °C, que co-geram eletricidade para motores elétricos de corrente contínua que acionam as moendas, facas e desfibradores. Já na outra, a Agroval, ambas sito em Santa Rita, PB, o acionamento de cada máquina ou par de máquinas é realizado por pequenas turbinas de simples estágios operando com vapor a 2,0 MPa e 290 °C. Para a avaliação desses processos são aplicados diferentes critérios, tais como: eficácias térmicas e mecânicas, e o consumo específico de vapor e de bagaço. A partir desses parâmetros se demonstra e se relaciona a eficiência geral de ambos os processos, determinando-se, assim, as vantagens de um sistema de cogeração sobre o outro. A comparação será na base do consumo total de combustível (bagaço de cana de açúcar), para cada configuração.

## 2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO

Para a compreensão desse estudo é importante que se tenha o entendimento do processo básico de obtenção do caldo nas indústrias em questão, que se inicia com a preparação, operação esta realizada pelo picador e desfibrador. A extração do caldo em ambos os casos é realizada por um processo de compressão, por um tandem de moendas composto por 4 ternos. Como se sabe, a moenda é uma unidade esmagadora, constituída por três cilindros formando um triângulo isósceles e um *press-roller*, que é o quarto rolo responsável por uma compressão prévia do colchão de cana, que facilita a extração. A Fig. (1) mostra um esquema do processo de extração do caldo.

### 2.1 Análise da Extração

A realização do estudo na extração das indústrias observadas, objetiva comparar as capacidades dos processos de extração dessas indústrias, ou seja, avaliar os desempenhos dos dois processos, tanto com relação a quantidade de cana moída, quanto a quantidade de bagaço produzido, nessas indústrias que utilizam diferentes métodos de acionamentos das moendas.

A quantidade de cana, em ambas indústrias, foi obtida através dos Boletins Moagem e de Produção das empresas, (BMP, 2001 e BDMP, 2001), sendo a quantidade de bagaço<sup>1</sup> estimada em

---

<sup>1</sup> Nas indústrias consideradas o bagaço apresenta, em média, um teor de umidade de 51% e açúcar residual na faixa de 2 a 4 %.

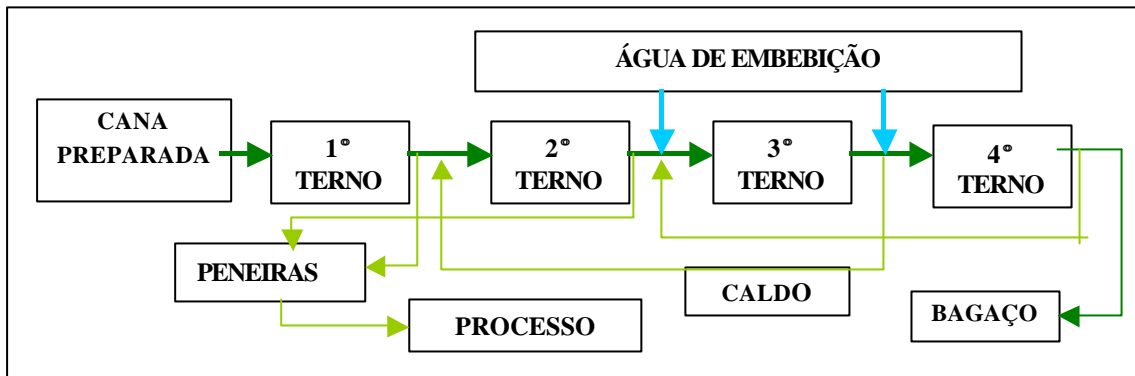


Figura 1. Esquema do processo de extração do caldo

termos da vazão de cana e dos teores de fibra. Através da Eq. (1), (cf. Camargo, C. A., Ribeiro, A. M. M., Ushima, A. H., Sousa, M. E. P. e Santos, N. F., 1990) se calcula a vazão de bagaço,

$$M_{tb} = \frac{M_c \cdot X_f}{X_{fb}}, \quad (1)$$

onde:  $M_{tb}$ , vazão de bagaço (t/h);  $M_c$ , vazão de cana processada (t/h);  $X_f$ , teor de fibra da cana na esteira ( $t_{\text{fibra}}/t_{\text{cana}}$ );  $X_{fb}$ , teor de fibra do bagaço ( $t_{\text{fibra}}/t_{\text{bagaço}}$ ).

Parte do total de bagaço produzido nas empresas, em questão, é utilizada como combustível para gerar vapor, sendo o restante destinado ao estoque. O principal uso desse vapor nessas empresas é a cogeração, que será descrita, abaixo.

### 3. SISTEMA DE COGERAÇÃO 1

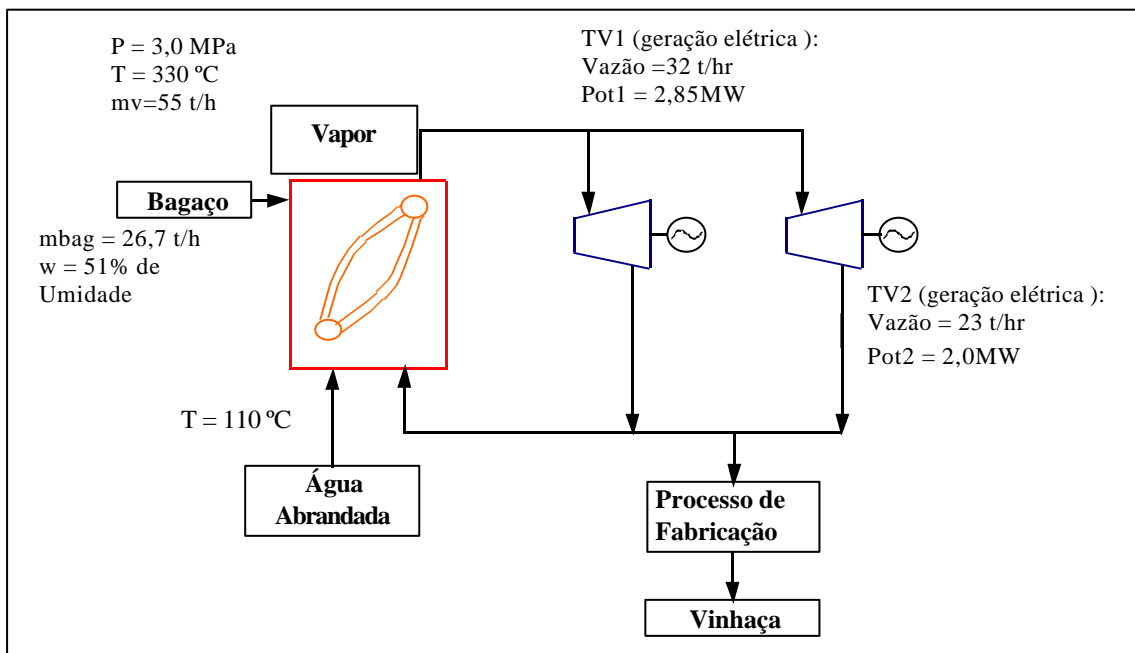


Figura 2. Esquema simplificado da Japungu

A Fig. (2) apresenta o esquema do sistema de cogeração adotado pela Japungu Agroindustrial, que por simplificação será denominado de Sistema 1. Neste sistema, o combustível utilizado na caldeira é o bagaço de cana de açúcar, a uma vazão de 26,7 t/h com 51 % de umidade. Na caldeira é gerado vapor superaquecido a um fluxo de 55 t/h a 330 °C e 3 Mpa. Esse vapor é encaminhado

para casa de força onde aciona duas turbinas, que acopladas a geradores de energia elétrica geram cerca de 4,85 MW. Este vapor é expandido na TV1 (Turbina de Vapor 1) à 0,152 MPa e 150 °C e na TV2 (Turbina de Vapor 2) à 0,137 MPa e 145 °C. Em seguida, já saturado, uma pequena parte retorna para o balão de água de alimentação da caldeira para que seja pré-aquecida à 110 °C, enquanto o restante se dirige para o processo de fabricação.

Neste Sistema 1, todo vapor produzido pela caldeira gera energia elétrica (por turbogeradores). Esta energia é utilizada tanto para o acionamento dos motores elétricos (de corrente contínua) das moendas do processo de extração, como para suprir toda demanda da fábrica.

O estudo do método de acionamento na extração, empregado pelo Sistema 1, foi feito determinando-se o consumo específico de vapor, na geração de energia elétrica, a potência consumida pelos motores elétricos, e conseqüentemente a vazão de vapor para este acionamento. Na seqüência buscou-se quantificar a vazão de bagaço necessária à geração da vazão de vapor requerida pelo processo. Isto foi feito a partir do consumo específico de bagaço, avaliando-se, assim, a quantidade de combustível utilizada (bagaço) para moer uma tonelada de cana. Abaixo, são apresentadas as equações necessárias ao cálculo dessa quantidade de combustível.

### 3.1 O consumo específico de vapor na geração de energia elétrica

Este consumo é dado pela relação da vazão mássica de vapor, que alimenta a turbina, e a potência elétrica disponível nos terminais do gerador, sendo expresso por:

$$C_{ev} = \frac{M_v}{Pot}, \quad (2)$$

onde:  $C_{ev}$ , consumo específico de vapor (kg/kWh);  $M_v$ , vazão mássica de vapor que passa pela turbina (kg/h);  $Pot$ , potência gerada (kW).

### 3.2 Potência consumida pelos motores

Após se medir a tensão e a corrente dos quatro motores que acionam cada moenda, calculou-se essa potência  $P_1$ , pela equação,

$$P_1 = V \cdot I, \quad (3)$$

onde:  $P_1$ , potência consumida no motor (kW);  $V$ , tensão de entrada nos terminais (V);  $I$ , corrente (A).

### 3.3 Consumo de vapor nas moendas

Este consumo é obtido pelo resultado do produto do consumo específico de vapor,  $C_{ev}$ , pela potência total consumida nas moendas,  $P_t$ . Logo,

$$mvM = C_{ev} \cdot P_t, \quad (4)$$

onde:  $mvM$ , consumo de vapor nas moendas (t/h);  $P_t$ , potência total consumida pelos motores dos quatro ternos de moendas (kW).  $P_t = P_1$ , no Sistema 1.  $P_t = P_2$ , no Sistema 2.

### 3.4 O consumo específico de bagaço

Este consumo é definido pela razão entre a massa de vapor gerada na caldeira e a vazão de bagaço consumido, ou seja,

$$q_v = \frac{mv}{mbag}, \quad (5)$$

onde:  $q_v$ , consumo específico de bagaço. (kg de vapor / kg de bagaço);  $mv$ , vazão de vapor produzida na caldeira (kg);  $mbag$ , vazão de bagaço consumida na caldeira (kg).

### 3.5 Consumo de bagaço nas moendas

Este parâmetro é obtido através da razão entre o consumo de vapor nas moendas pelo consumo específico de bagaço, isto é,

$$mbagM = \frac{mvM}{q_v}, \quad (6)$$

onde

$mbagM$ , vazão de bagaço nas moendas (t/h);

### 3.6 Quantidade requerida de bagaço por tonelada de cana moída

A razão entre a vazão de bagaço necessária nas moendas, e a vazão de cana moída, determina a quantidade de bagaço necessário para moer uma tonelada de cana. Assim,

$$mbagC = \frac{mbagM}{Mc}, \quad (7)$$

onde

$mbagC$ , consumo de bagaço por tonelada de cana (kg de bagaço/ t de cana).

Analisou-se, também, o rendimento isoentrópico, que é um dos parâmetros importantes para a avaliação de uma turbina, portanto seu uso se torna indispensável na comparação entre os sistemas de cogeração analisados.

A partir da pressão e da temperatura do vapor que passa pelas turbinas, pode-se determinar os estados de entrada e de saída das turbinas. E usando-se tabelas de vapor de água, calculou-se as respectivas propriedades termodinâmicas, que foram empregadas na avaliação do rendimento, definido como a relação entre o trabalho adiabático real e o trabalho ideal.

O trabalho adiabático real, realizado por unidade de massa de vapor que escoar na turbina, pode ser determinado, através da primeira lei da termodinâmica, desprezando-se as energias cinética e potencial (Van, Sonntag e Borgnakke, 1998) pela diferença entálpica de entrada e de saída ( $h_e - h_s$ ). Já o trabalho (ideal) é o trabalho adiabático e reversível, avaliado a partir da diferença entre a entalpia de entrada e a entalpia isoentrópica de saída. Desta forma, pode-se escrever,

$$\eta_{iso} = \frac{(h_e - h_s)}{(h_e - h_{iso})}, \quad (8)$$

onde:  $\eta_{iso}$ , rendimento isoentrópico (%);  $h_e$ , entalpia do vapor de entrada da turbina (kJ/kg);  $h_s$ , entalpia do vapor de saída da turbina (kJ/kg);  $h_{iso}$ , entalpia isoentrópica (kJ/kg).

## 4 SISTEMA DE COGERAÇÃO 2

A Fig. (3) mostra o esquema de cogeração da usina de açúcar Agroval, sito em Santa Rita, Pb, aqui denominado de Sistema 2. Como no caso da Japungu, o combustível usado é o bagaço. O

vapor é produzido pela caldeira a 2,0 MPa e 290 °C, onde parte se destina aos turbogeradores onde ele se expande a 0,15 MPa e 138 °C, gerando 1900 MW (energia elétrica consumida pela fábrica). Outra parte deste vapor gera energia mecânica em turboacionadores (foco desse estudo) onde o vapor é expandido na TVM1 (Turbina de Vapor da Moenda 1) à 0,167 MPa e 185 °C e na TVM2 (Turbina de Vapor da Moenda 2) à 0,157 MPa e 178 °C, para acionar o processo de extração de caldo. Após a realização de trabalho nas turbinas o vapor servido é utilizado no processo de fabricação, e por fim o condensado retorna a caldeira a uma temperatura de 112 °C. Nesse caso o acionamento das moendas é realizado por duas turbinas de simples estágios, onde cada turbina movimenta 2 ternos de moendas.

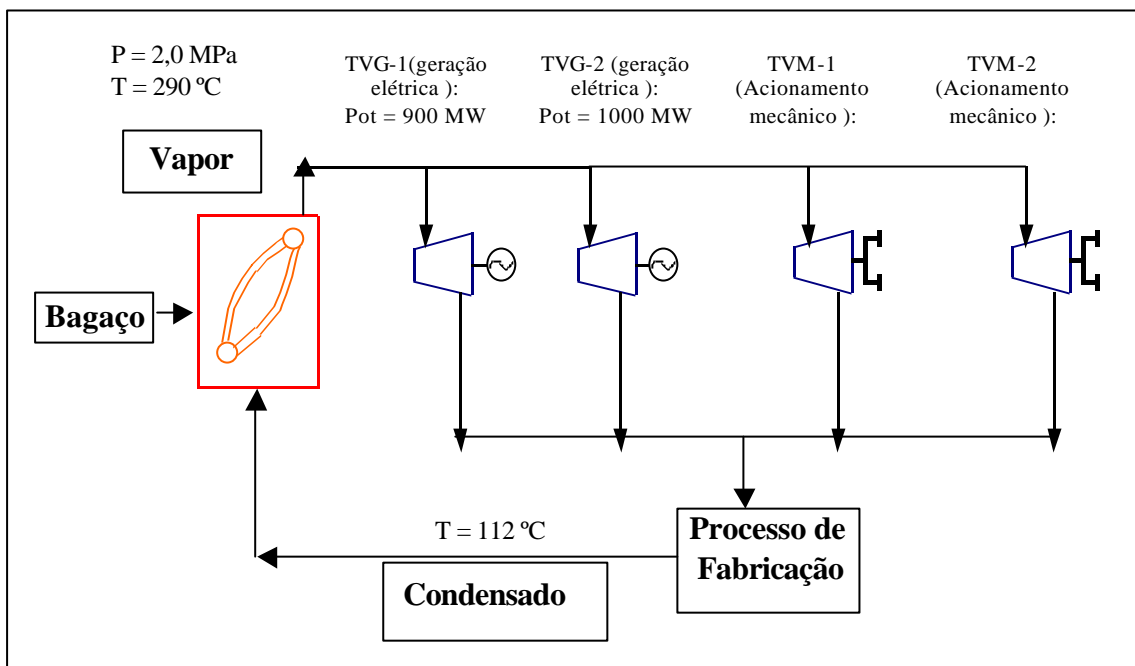


Figura 3. Esquema simplificado da Agroval

Diferentemente da Japungu, a determinação da potência consumida no acionamento das moendas da Agroval, não é tão simples. No Sistema 2, para essa avaliação é necessário se calcular, as forças exercidas pelos *press-rollers* que pressionam o colchão de cana que passa pelas moendas. A determinação dessa força, Hugot, 1969, é feita a partir da pressão assinalada no manômetro de cada moenda, e da área transversal do hidráulico, cujo diâmetro é 0,230 m. Os valores dessas pressões para as moendas 1, 2, 3 e 4, foram respectivamente, 190, 197, 204 e 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Assim,

$$F = Pr \cdot A, \quad (9)$$

onde: F, força que atua no hidráulico da moenda (N); Pr, pressão exercida pelos hidráulicos (kgf/cm<sup>2</sup>); A, área transversal do hidráulico (m<sup>2</sup>).

Dispondo-se da força exercida pelo hidráulico, da velocidade de rotação da moenda, 7,25 rpm, e com o diâmetro médio dos rolos das moendas 1,2,3 e 4, estimados respectivamente em 0,630, 0,634, 0,665 e 0,665 m, determina-se as várias potências, P<sub>2</sub>, consumidas em cada terno de moenda, através da expressão

$$P_2 = 0,376 \cdot F \cdot n \cdot D, \quad (10)$$

onde: P<sub>2</sub>, potência consumida em cada moenda (CV); n, velocidade de rotação dos rolos da moenda (rpm); D, diâmetro médio dos rolos (m).

Por outro lado, a potência total consumida nas moendas, P<sub>2</sub>, é obtida pela soma das quatro potências P<sub>2</sub> calculadas.

No caso da Agroval, não há como se medir a vazão de vapor. Para se contornar essa dificuldade, estimou-se o consumo específico de vapor, através da expressão, Faires,1966,

$$C_{evM} = \frac{2646}{(h_e - h_s)}, \quad (11)$$

onde: C<sub>evM</sub>, consumo específico de vapor na turbina da moenda (kg/CVh).

## 5 RESULTADOS

Considerando, os estados de vapor das entradas e saídas das turbinas do Sistema 1, construiu-se a Tab. (1).

### 5.1 Sistema 1

Tabela 1. Propriedades termodinâmicas das turbinas

Parâmetros	Turbogerador-1	Turbogerador-2
Entalpia de entrada (kJ/kg)	3068	3069
Entalpia de saída (kJ/kg)	2772	2764
Entalpia isoentrópica (kJ/kg)	2481	2469

As Tabs. (2) e (6), contêm dados coletados no processo de extração da Japungu e da Agroval, respectivamente. Estes dados foram obtidos a partir de boletins de análises fornecidos pelas empresas.

Empregando os resultados das medições no Sistema 1, nas Eq. (2), (4), (5), (6), (7) e (8) obteve-se a Tab. (4) para o caso da Japungu, e nas Eq. (2), (3), (6), (7), (8) e (11) obteve-se a Tab. (7) para o caso da Agroval.

Tabela 2. Parâmetros medidos da extração da Japungu

PROCESSO DE EXTRAÇÃO		
Parâmetros	Unidades	Valores
Vazão de cana processada	t/h	140,7
Teor de fibra da cana	%	15,52
Teor de fibra do bagaço	%	46,69

Aplicando os valores medidos no setor de extração que estão expressos na Tab. (2) na Eq. (1), determina-se para a Japungu uma vazão de 46,76 t/h de bagaço.

A Tab. (3) foi construída com valores tensões e correntes coletadas em painéis de monitoração utilizados pela Japungu, e do produto desses parâmetros ver Eq. (3) – que resulta nas respectivas potências dos motores elétricos empregados no acionamento das moendas.

Tabela 3. Potência consumida nos motores da extração

Motores de acionamento da extração			
	Tensão (V)	Corrente (A)	Potencia (kW)
Moenda -1	350	780	273
Moenda -2	350	820	287
Moenda -3	380	750	285
Moenda -4	340	700	238

O somatório da potência consumida pelos motores das moendas, potência total consumida nas moendas (P1), pode ser observado na 3ª linha da Tab. (4).

Tabela 4. Resultados da análise do Sistema 1

Variáveis do Sistema 1	Valores	Unidades
Consumo específico de vapor médio (Cev)	10,3	(kg/kWh)
Potência total consumida nas moendas (P1)	1083	(kW)
Consumo de vapor nas moendas (mvM)*	12,3	(ton/h)
Consumo específico de bagaço (qv)	2,05	(kg de vapor/kg de bagaço)
Consumo de bagaço nas moendas (mbagM)	5,9	(ton/h)
Consumo de bagaço por tonelada de cana moída (mbagC)	42,1	(kg de bagaço/t de cana)
Rendimento isoentrópico Turbogenerador 1 - TV1 (niso)	50,42	(%)
Rendimento isoentrópico Turbogenerador 2 - TV2 (niso)	50,83	(%)

(\*) Determinado pela Eq. (4).

## 5.2 Sistema 2

Fazendo uso das propriedades dos estados de entradas e de saídas das turbinas do Sistema 2, pode-se construir a Tab. 5.

Tabela 5. Propriedades termodinâmicas das turbinas

Parâmetros	TVM-1	TVM-2
Entalpia de entrada (kJ/kg)	2962	2999
Entalpia de saída (kJ/kg)	2842	2829
Entalpia isoentrópica (kJ/kg)	2488	2512

Tabela 6. Parâmetros medidos da extração da Agroval

PROCESSO DE EXTRAÇÃO		
Parâmetros	Unidades	Valores
Vazão de cana processada	t/h	140,77
Teor de fibra da cana	%	14,92
Teor de fibra do bagaço	%	45,29

Para o caso da Agroval substituindo os valores expressos na Tab. (6) na Eq. (1) obtém-se uma vazão de 46,37 t/h de bagaço.

Tabela 7. Resultados da análise do Sistema 2\*

Variáveis do Sistema 2	Valores	Unidades
Consumo específico de vapor TVM1 (CevM)	22,0	(kg/CVh)
Consumo específico de vapor TVM2 (CevM)	15,7	(kg/CVh)
Potência total consumida nas moendas (P2)	1646	(CV)
Consumo de vapor nas moendas (mvM)*	33,7	(t/h)
Consumo específico de bagaço – Adotado- (qv)	2	(kg de vapor/kg de bagaço)
Consumo de bagaço nas moendas (mbagM)	16,9	(t/h)
Consumo de bagaço por tonelada de cana moída (mbagC)	120	(kg de bagaço/t de cana)
Rendimento isoentrópico Turboacionador 1 - TVM1 (niso)	25,3	(%)
Rendimento isoentrópico Turboacionador 2 - TVM2 (niso)	34,9	(%)

(\*) Determinado pela Eq. (4).

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS



Comparando-se as Tabs. (2) e (6), pode-se verificar uma grande proximidade entre os valores nos processos de extração de caldo de ambas as empresas, com implicação na semelhança da vazão de bagaço, dessas indústrias, e logo, mesma capacidade de moagem.

Uma das grandes dificuldades encontradas para se avaliar o Sistema 2, está relacionada à ausência de instrumentação (diferentemente do que ocorre com o Sistema 1) para medição da vazão de bagaço na caldeira, e dados inadequados para o cálculo desta vazão. Assim, foi necessário supor um consumo específico de bagaço (qv) igual à 2 kg de vapor /kg de bagaço (como pode se observar na 6 linha da Tab. (7)) o valor médio encontrado em grande parte das caldeiras das indústrias do setor sucroalcooleiro do País, para que se pudesse calcular a vazão de bagaço.

Comparando-se as Tabs. (4) e (7), pode-se observar a grande diferença entre os rendimentos isoentrópicos, bem como de consumo de vapor, das turbinas de simples estágios utilizadas para movimentar as moendas, e das turbinas de múltiplos estágios utilizadas para gerar eletricidade para acionar os motores das moendas. Como pode ser visto, o rendimento isoentrópico das turbinas no Sistema 1, chega a ser cerca de 100% maior do que as das pequenas turbinas do Sistema 2. Proporção inversa é observada com relação ao consumo de vapor das respectivas turbinas. Observa-se, daí uma diferença de bagaço consumido, por tonelada de cana moída, que chega a 78 kg de bagaço, do Sistema 1 para o Sistema 2.

A razão da maioria das indústrias sucroalcooleiras empregarem turbinas para o acionamento mecânico das moendas, como ocorre na Agroval, é devido ao alto preço das turbinas de múltiplos estágios aliado a uma visão de pouco alcance.

## 7 CONCLUSÃO

Pode-se verificar que no caso do Sistema 1, utilizando apenas eletricidade co-gerada, com turbinas maiores, faz-se uso de 42,1 kg de bagaço para moer uma tonelada de cana. Já no Sistema 2, que utiliza turbinas menores (menos eficientes, como pode ser observado nos resultados deste trabalho) com pressões e temperaturas de entrada mais baixas, necessita de 120 kg de bagaço. Deduz-se daí, que o uso mais racional da energia do bagaço, gerando vapor d'água a temperatura maior, cogeração mais eficiente em turbinas de múltiplos estágios, com perdas menores de transmissão, intrínseca à eletricidade, se obtém uma economia de 65 % de bagaço, em relação ao Sistema 2, que utiliza o acionamento mecânico das moendas. Essa economia, de fato, representa, em média por safra, uma quantidade de bagaço corresponde a 54515 t, ou seja, R\$ 1.635.450,00, considerando os preços atuais de venda. O bagaço, tanto pode ser comercializado (fábrica de celulose, ração animal, adubo, etc), como também usado na cogeração de excedentes de eletricidade para uso próprio, ou para venda às concessionárias. Deve-se observar, outrossim, que a energia térmica consumida pelo Sistema 1, é maior do que a do Sistema 2. E isto é lógico, uma vez que o maior rendimento foi o permitiu a geração de mais calor de processo.

## 8 REFERÊNCIAS

- BDMP, 2001, "Boletim Diário de Moagem e Produção", Agroval. Safra 2001-2002, Nº 90.
- BMP, 2001, "Boletim de Moagem e Produção", Japungu. Safra 2001-2002, Nº103.
- Faires, V. M. , 1966. "Termodinâmica".4º ed. – Rio de Janeiro, RJ, 879 p.
- Camargo, C. A., Ribeiro, A. M. M., Ushima, A. H. , Sousa, M. E. P. e Santos, N. F., 1990.IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas,. "Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool", manual de recomendações. S. Paulo, SP 798 p.
- Hugot, E.,1969, "Manual da Engenharia Açucareira". Ed. Mestrejou, S. Paulo, SP, 1198 p.
- Van, W. J., Sonntag, R. E., Borgnakke, C., 1998. "Fundamentos da Termodinâmica". 5º ed.- S. Paulo, SP, Ed. Edgard Blücher, 537 p.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF COGENERATION SYSTEMS IN TWO DIFFERENT SUCRO-ALCOHOL PLANTS

## **Pio Caetano Lobo**

IEM/DME – EFEI – Cx. Postal 50 – 37500 903. Itajubá – MG – Brasil

[pclobo@iem.efei.br](mailto:pclobo@iem.efei.br)

## **Emerson Freitas Jaguaribe**

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil

[ejaguaribe@uol.com.br](mailto:ejaguaribe@uol.com.br)

## **José Rodrigues de Lima Neto**

Japungu Agroindustrial S. A., Fazenda Japungu s/n – 58300 000. Santa Rita – PB – Brasil

[jrneto@netwaybbs.com.br](mailto:jrneto@netwaybbs.com.br)

## **Felipe Augusto Araruna da Rocha**

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil

[felipear@zipmail.com.br](mailto:felipear@zipmail.com.br)

## **Wilson Luciano de Souza**

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil

[wilsonphd@bol.com.br](mailto:wilsonphd@bol.com.br)

**Abstract.** *More rational energy use is now a condition for survival and competitiveness, especially for the sugar cane industries. In their case, the higher the bagasse surplus, the more lucrative the cogeneration. This publication analyses comparatively the extraction process in two factories in the sector that use back-pressure turbines to supply work, while the back-pressure steam supplies process heat. One uses large multi-stage turbogenerators with steam inlet at 3,0 MPa and 330 °C, to co-generate electric power for electric motors that drive the mills, knives and shredders. In the other these machines are driven directly by small single-stage turbines with steam inlet at 2,0 MPa and 290 °C. It was verified that to mill a ton of cane, the larger turbogenerators co-generating electricity for the electrically driven machines, consumed 42,1 kg of bagasse, while the use of several smaller (less efficient) turbines to drive the machines directly consumed 120 kg of bagasse. Hence, with more rational use of bagasse, generating steam at higher temperature (and pressure) in more efficient multi-stage cogeneration turbines, with lower transmission losses intrinsic to electricity, an economy of 65% is obtained in bagasse consumption and the surplus can be sold directly or co-generate surplus electricity.*

**Keywords:** *Rational energy use, Cogeneration, Sugarcane bagasse, Extraction process.*