

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CAVACO PARA GERAÇÃO DE VAPOR

Palloma lãnes Silva¹

Me Alex Anderson de Oliveira Moura²

RESUMO

A utilização de diversas biomassas como fonte de energia elétrica em sistemas de cogeração vem crescendo nos últimos anos, devido à preocupação com a atual situação da matriz energética brasileira levando-se em consideração a disponibilidade de recursos naturais existentes, principalmente quanto à geração por hidrelétricas. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de viabilidade de eficiência energética para geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar e cavaco de madeira, avaliando o potencial energético em caldeira de uma agroindústria sucroalcooleira. Os métodos utilizados foram testes realizados na planta industrial com uma mistura composta por cavaco de madeira e bagaço de cana-de-açúcar para a produção de vapor em caldeira aquatubular 67 kgf/cm² de pressão, e também a simulação da utilização de 100% de cavaco como combustível. Diante do que foi apresentado, foram realizados o estudo da viabilidade da utilização do cavaco tanto sob o aspecto técnico quanto financeiro, o qual apresentou viável para utilização em questão por apresentar um efeito de caixa positivo para empresa e também por contribuir com o aumento do estoque de bagaço de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Agroindústria sucroalcooleira. Análise Econômica-Energética. Biomassa. Caldeira. Energia Elétrica.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do mundo, cultivada em mais de 100 países. Apesar desta difusão mundial, cerca de 80% da produção do planeta estão concentradas em dez países, sendo o Brasil hoje o maior produtor de cana-de-açúcar, seguido por Índia e China (NOVA CANA, 2015).

¹Acadêmica do curso de Engenharia de Produção – Universidade de Rio Verde (UNIRV).

²Orientador e professor da Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade de Rio Verde (UNIRV).

Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira. O Brasil não é apenas o maior produtor de cana, é também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol e conquista, a cada dia mais, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética (BRASIL - Ministério da Agricultura, 2015).

O cultivo da cana-de-açúcar ligado ao uso da biomassa proveniente para fins energéticos permitem ao Brasil ocupar posição estratégica privilegiada no cenário nacional. A biomassa residual resultante do processo industrial das usinas sucroalcooleiras, em grande quantidade, integra-se favoravelmente ao processo de cogeração, que se constitui da produção simultânea e sequenciada de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível (COGEN, 2008).

Segundo a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2008), biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Branco (1990), completa que as biomassas possuem energia potencial que é liberada durante a combustão do combustível lenha, carvão ou petróleo, e é transferida para aquecer água e transformá-la em vapor.

No Brasil, desde a instituição do Programa Brasileiro do Álcool (Proálcool), parte significativa das usinas sucroalcooleiras tornou-se autossuficiente em termos energéticos. Elas passaram a gerar toda a energia necessária para suprir sua demanda utilizando, em maior quantidade, o bagaço da cana-de-açúcar, que responde por 30% do conteúdo energético da cana moída, chegando a render excedentes que podem ser vendidos (BRIGHENTI, 2003).

O Balanço Energético Nacional – BEN (2015) apresentou os resultados definitivos do ano base 2014, nos quais a oferta interna de energia (total de energia demandada no país) atingiu 305,6 milhões de tep³, registrando uma taxa de crescimento de 3,1% em relação a 2013 e equivalente a 2,2% mundial; sendo que 80% do incremento nacional foi obtido através de gás natural, petróleo e seus derivados, basicamente devido à redução na oferta interna de hidroeleticidade com

³ Tonelada equivalente de petróleo (tep): Unidade de energia. A tep é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.

consequente aumento da produção de energia térmica, seja gás natural, carvão mineral ou óleo.

Em relação à energia elétrica, pelo terceiro ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período, houve redução da oferta de energia hidráulica. Dados do BEN informam que em 2014 houve um decréscimo de 5,6%. A menor oferta hídrica explica o recuo da participação de renováveis na matriz elétrica, de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013 e 65,2% em 2014, apesar do incremento de 3.177 MW⁴ na potência instalada do parque hidrelétrico.

A utilização da biomassa como fonte de energia elétrica tem sido crescente no Brasil, principalmente em sistemas de cogeração (pela qual é possível obter energia térmica e elétrica) dos setores industriais e de serviços (ANELL, 2008).

Dados do Ministério de Minas e Energia – MME (2015) destacam o bom desempenho através da geração por bagaço de cana, com crescimento de 8,1% em 2014. De fato, o setor sucroalcooleiro gerou 32,3 toneladas Wh⁵ em 2014, sendo 19,1 TWh destinados ao mercado e 13,2 TWh destinados ao consumo próprio. Assim, a geração por bagaço de cana representa 70% da geração total por biomassa, tendo sido gerados os 30% restantes, principalmente, pela indústria de papel e celulose, com a utilização de lixívia, lenha e resíduos de árvores.

O consumo final de eletricidade no país em 2014 registrou um aumento de 2,9%, suprido a partir da expansão da geração térmica, especialmente das usinas movidas a carvão mineral (+24,7%), gás natural (+17,5%), biomassa (+14,1%), cujas participações na matriz elétrica, na comparação de 2014 contra 2013, cresceram de 2,6 para 3,2%, de 11,3 para 13,0% e de 6,6 para 7,4%, respectivamente (Ministério de Minas e Energia – MME, 2015).

Comparativamente ao mundo, nota-se que o Brasil apresenta uma significativa diferença na participação da energia hidráulica, de 65,2% em 2014, contra apenas 13,4% dos países que compõem a OCDE (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico), e de 17,8% nos outros países. Na

⁴ Watt (W): Unidade de potência. O watt é a potência de um sistema energético no qual é transferida, contínua e uniformemente, a energia de 1 joule por segundo.

⁵ Watt-hora (Wh): Unidade de energia. Energia transferida uniformemente por um sistema de potência igual a 1 watt durante uma hora.

biomassa sólida, o Brasil também se destaca, com 7,4% de participação, principalmente como resultado da geração por bagaço de cana.

A atual situação da matriz energética brasileira é preocupante quando se leva em consideração a disponibilidade de recursos naturais existentes, principalmente quanto à geração por hidrelétricas. Anomalias negativas de chuvas indicam o pior histórico em 83 anos para as regiões Sudeste/Centro-Oeste e Nordeste. A crise pluvial e escassez de água, com a redução do volume de água represada, ameaças ao abastecimento, racionamento de energia e o receio de apagões futuros, elucidou algumas dúvidas referentes ao crescente aumento da demanda por energia elétrica, capacidade de oferta menor que o consumo e a forte dependência das hidrelétricas.

Diante do exposto e à busca incessante para manter a matriz e garantir a eficiência energética, este trabalho promoveu uma análise de viabilidade de eficiência energética para geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar e cavaco de madeira, avaliando o potencial energético no processo de substituição do bagaço de cana-de-açúcar pelo cavaco de madeira como combustível, bem como estabelecer o custo de produção de unidade energética gerada pelas biomassas.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma usina sucroalcooleira, situada no interior do estado de Minas Gerais, na qual, sua produção também está voltada para a geração de energia elétrica. O equipamento utilizado foi uma caldeira aquatubular, com capacidade máxima contínua de 225 ton/h de vapor superaquecido a 515°C e 67 kgf/cm² de pressão, a partir da queima de bagaço de cana e utilizando água de alimentação tratada e desaerada a 127°C (TABELA 1). A biomassa empregada como combustível para a caldeira produzir o vapor de água é o bagaço de cana.

O estudo teve como referência o consumo de bagaço, em metros cúbicos, para determinar, em toneladas, a quantidade de vapor que seria produzido. Essas informações foram utilizadas para determinar a quantidade de cavaco necessária para se produzir a mesma ou uma maior quantidade de vapor e simular uma possível adição ou até mesmo a substituição total do bagaço por cavaco de madeira.

TABELA 1 - Informações técnicas da caldeira

Produção Nominal de Vapor	225 ton/h
Produção Máxima de Vapor	235 ton/h
Pressão de Trabalho	67 kgf/cm ²
Tipo de Água de Alimentação	Desmineralizada
Temperatura da Água de Alimentação	127°C
Condições de vapor	Superaquecido
Temperatura do vapor	515°C
Ciclo de Concentração	> 50
Combustível	Bagaço de cana
Umidade do combustível	50%
Poder Calorífico Superior do combustível	1791 kcal/kg
Poder Calorífico Inferior do combustível	102300 kg/h
Rendimento Térmico ao PCi	86,63%

Fonte: Databook do fabricante de caldeiras (2009).

Inicialmente, avaliou-se a umidade do cavaco do fornecedor, visto que a mesma deveria estar em torno de 30%, conforme Brito (1986) cita em um de seus trabalhos que, em base úmida, num limite situado, aproximadamente, em 65%, a madeira deixa de ser considerada como combustível, devido à quantidade de água, onde o aproveitamento é considerado eficiente para uma percentagem inferior a 45%.

O teor de umidade indica a quantidade de água presente no material, (QUIRINO et al., 2005). Sua determinação é de grande importância, pelo fato da água apresentar um poder calorífico negativo, uma vez que necessita de calor para o processo de evaporação (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Para a determinação do teor de umidade das biomassas foi utilizada, para o cavaco, como referência a norma ABNT NBR 14929:2003, pelo método por secagem em estufa. E método gravimétrico, realizado por meio de pesagens anteriores e posteriores a permanência das amostras em estufa de secagem a temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Determinou-se o teor de umidade através da equação (1), (GATTO et. al., 2003):

$$Tu = \left(\frac{Pu - Po}{Po} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

$Tu = \text{teor de umidade [\%]}$;

$Pu = \text{peso inicial [g]}$;

$Po = \text{peso seco [g]}$.

Para o bagaço, foi utilizada uma amostragem de 50 gramas, aquecidas em estufa Spencer por 30 minutos à 115°C. O valor da diferença de peso, multiplicado por dois, indicou a porcentagem de umidade da biomassa, conforme métodos analíticos da Fermentec. (AMORIM, 2003).

Os cálculos para determinação da quantidade de combustível foram baseados em dados reais de moagem, produção de bagaço e produção de vapor, procedimentos analíticos, bem como nos estudos de Hugot (1977):

$$Qb = \frac{Qv \cdot (hv - ha)}{\eta \cdot (PCi)} \quad (2)$$

onde:

$Qb = \text{quantidade de combustível [kg]}$;

$Qv = \text{quantidade de vapor [kg]}$;

$hv = \text{entalpia do vapor em função da pressão e temperatura [kcal/kg]}$;

$ha = \text{entalpia da água em função da temperatura [kcal/kg]}$;

$\eta = \text{rendimento da caldeira [\%]}$;

$PCi = \text{poder calorífico inferior [kcal/kg]}$.

Sendo o Poder Calorífico Inferior (PCi) calculado de acordo com a equação (3):

$$PCi = 4,1868 \cdot (4250 - 12Pb - 48,5Ub) \quad (3)$$

onde:

$Pb = \text{pol do bagaço (sacarose contida no bagaço) [\%]}$;

$Ub = \text{umidade do bagaço [\%]}$;

4,1868 = *fator de conversão de kcal em Joule.*

A maior eficiência dos geradores aquatubulares deve-se à disposição mais racional da superfície de aquecimento, que favorece a transmissão do calor desenvolvido na fornalha e, especialmente, à adoção de superaquecedores de vapor, aquecedores e economizadores, que permitem recuperar grande parte do calor residual dos gases quentes da combustão, que passam pela chaminé, diminuindo a temperatura final destes (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2005). Ainda segundo esta instituição, para o cálculo da eficiência térmica ou o rendimento total pode-se utilizar o método direto de acordo com equação (4):

$$\eta_{MD} = \frac{m_v \cdot (h_v - h_a)}{m_c \cdot PCi} \quad (4)$$

onde:

η_{MD} = *eficiência pelo método direto, [-];*

m_v = *vazão mássica de vapor, [kg/s];*

h_v = *entalpia do vapor produzido, [kJ/kg];*

h_a = *entalpia da água de entrada, [kJ/kg];*

m_c = *vazão mássica de combustível, [kg/s]; e*

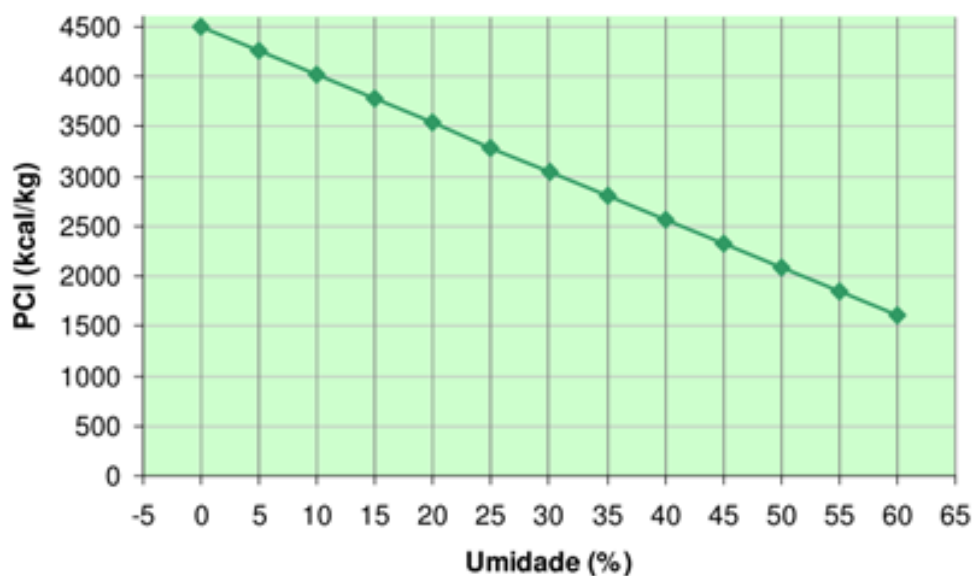
PCi = *poder calorífico do combustível, [kJ/kg].*

A quantidade necessária de cavaco na geração do mesmo volume de vapor, usando como referência a umidade e o respectivo Poder Calorífico Inferior (PCi) foi obtida adotando-se uma metodologia baseada em cálculos a partir dos dados reais disponibilizados, referentes ao consumo de bagaço que a caldeira utiliza na produção do vapor, a partir de uma caldeira com 67 bar de pressão (equação 3).

O estudo foi realizado baseado no PCi do eucalipto para a umidade de 30% conforme FIGURA 1, obtendo um valor de 3.000 kcal/kg (KLABIN, 2005 apud CORTEZ et al., 2009).

Constatada a quantidade de cavaco que seria consumida por hora, foram iniciadas as injeções de bagaço e cavaco na caldeira, para avaliar a produção de vapor, a oscilação de pressão e temperatura do vapor superaquecido, e a manutenção do estoque de bagaço. As injeções do cavaco na fornalha iniciaram-se com a proporção de 9% do consumo de bagaço pela caldeira, variando a dosagem em aproximadamente 10% para cada ensaio, até atingir em torno de 30 a 40% da biomassa, conforme ANEXO.

FIGURA 1 - Comportamento do Poder Calorífico Inferior (PCI) relacionado à umidade



Fonte: KLABIN, 2005 apud CORTEZ et al., 2009

Consumo específico indica a quantidade vapor, em toneladas, produzido a partir de 1 (uma) tonelada de combustível, e esta é baseado na seguinte relação:

$$C_{e_{\text{vapor-combustível}}} = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{combustível}}} \quad (5)$$

onde:

$C_{e_{\text{vapor-combustível}}}$ = consumo específico vapor – combustível (ton. vapor / ton. combustível);

m_{vapor} = vazão mássica vapor produzido na caldeira (t/h);

$m_{\text{combustível}}$ = vazão mássica da biomassa consumida na caldeira (t/h).

Analisando a avaliação econômica, além da simulação realizada na planta industrial, foram realizados cálculos utilizando 100% de bagaço e uma simulação utilizando 100% de cavaco como biomassa para a caldeira. Consideraram-se para tal, dados internos referentes ao valor de compra da tonelada de cavaco, gastos com impostos, bem como receita bruta gerada com a venda da energia elétrica produzida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA 2 são apresentados os resultados dos cálculos do PCi e do consumo de bagaço de cana pela caldeira, a partir da utilização de 100% desta biomassa, informações diárias de moagem, além de resultados obtidos a partir das equações 1 e 3, e histórico dos resultados físico-químicos anteriores. Os resultados para a utilização do cavaco foram calculados levando-se em consideração a utilização de 100% deste combustível para a geração de vapor necessário para a caldeira.

TABELA 2 – Comparativo de informações simulando a utilização de 100% bagaço de cana-de-açúcar ou 100% cavaco de madeira como combustível para a caldeira

Informações	Unidades	Combustível	
		Bagaço	Cavaco
Produção de vapor	t/h	126,80	126,80
Umidade	%	51,30	30,00
POL bagaço	%	1,47	-
Poder calorífico inferior	kcal/kg	1.744,31	3.000,00
Eficiência poder calorífico	-	0,80	0,80
Entalpia vapor a 550°C e 67 bar	kcal/kg	844,21	844,21
Entalpia água de alimentação	kcal/kg	115,24	115,24
Preço matéria-prima	R\$/t	70,00	150,00
Preço venda energia elétrica	R\$/MW	388,48	388,48
Consumo de matéria-prima	t/h	66,24	38,51
Consumo específico	tvap/tkg	1,91	3,29

O consumo do combustível pela caldeira foi calculado através da equação (2) e a partir de uma produção média de vapor de 126,80 t/h referente ao histórico do ano anterior.

O rendimento médio da caldeira foi considerado 80%, conforme equação (4), e os valores referentes às entalpias, de acordo com Sonntag et al. (2003), de 844,21 kcal/kg para o vapor superaquecido a 550°C e 67 bar e 115,24 kcal/kg para a água de alimentação na temperatura de 115°C.

Comparando-se a quantidade de cavaco necessário para geração da mesma quantidade de vapor em condições normais de queima com bagaço, verifica-se que para cada 1 (uma) tonelada de cavaco consumido, tínhamos uma produção de 3,29 toneladas de vapor. Em contrapartida utilizando o bagaço produz-se 42% menos, ou seja, 1,91 toneladas de vapor, acarretando ainda, um consumo menor de cavaco, 38,51 tonelada/hora, em relação ao consumo de bagaço, 66,24 tonelada/hora.

A análise econômica, contou com informações referentes ao valor de compra da tonelada de matéria-prima, gastos com impostos, bem como a receita bruta gerada com a venda da energia elétrica produzida, os quais foram apurados internamente (TABELA 3).

TABELA 3 – Comparativo econômico da utilização de 100% bagaço de cana-de-açúcar ou 100% cavaco de madeira como combustível para a caldeira

Informações	Unidades	Combustível	
		Bagaço	Cavaco
Gasto com matéria-prima	R\$/h	4.636,73	5.777,07
Energia exportada	MW/h	20,00	20,00
Receita bruta gerada com venda energia elétrica	R\$/h	7.769,60	7.769,60
Custo de oportunidade com venda matéria-prima	R\$/h	4.636,73	-
Impostos (9,25% PIS/COFINS)	R\$	718,69	718,69
Resultado Líquido	R\$	2.414,18	1.273,84
Resultado Bruto	R\$	3.132,87	1.992,53
Resultado Líquido	R\$/t	36,45	33,07
Efeito caixa	R\$/t	47,30	51,74

Quanto ao valor da tonelada das matérias-primas, é possível observar, através da TABELA 2, que o cavaco possui um valor comercial de compra que chega ao dobro do valor do bagaço. Mas, em contrapartida, a quantidade de cavaco necessário para gerar a mesma quantidade de vapor, 126,80 t/h, é menor, obtendo um rendimento de R\$51,74 por tonelada de cavaco, enquanto o bagaço renderia somente R\$ 47,30 por tonelada; apresentando um aumento de capital em torno de 8,58% em relação ao bagaço, levando-se em consideração o fluxo de caixa obtido com a venda de 20 MW de energia elétrica a R\$ 388,48/MW. Assim, a utilização de 100% de cavaco de madeira como combustível é mais viável que a utilização de 100% de bagaço, devido ter um efeito caixa melhor, mesmo com um valor comercial de compra maior.

A simulação realizada na planta industrial contou com uma dosagem de combustível na caldeira, composto por cavaco e bagaço, variando aproximadamente de 30 a 40% de cavaco e 60 a 70% de bagaço (ANEXO A). Os resultados contidos na TABELA 4 levaram em consideração a porcentagem da mistura de biomassa injetada na caldeira para os cálculos de PCi, consumo de biomassa, preço da matéria-prima e conseqüentemente o consumo específico e de matéria-prima.

TABELA 4 – Comparação de dosagens utilizando 100% de bagaço, 100% de cavaco e mistura de aproximadamente 30% de cavaco e 70% de bagaço

Informações	Unidades	100% bagaço	100% cavaco	Mistura cavaco e bagaço
Produção de vapor	t/h	126,8	126,8	126,8
Poder calorífico inferior	kcal/kg	1744,31	3000,00	2121,02
Eficiência poder calorífico	-	0,8	0,8	0,8
Entalpia vapor a 550°C e 67 bar	kcal/kg	844,21	844,21	844,21
Entalpia água de alimentação	kcal/kg	115,24	115,24	115,24
Preço matéria-prima	R\$/t	70,00	150,00	94,00
Preço venda energia elétrica	R\$/MW	388,48	388,48	388,48
Consumo de matéria-prima	t/h	66,24	38,51	54,47
Consumo específico	tvap/tkg	1,91	3,29	2,33

Referente à queima do cavaco de eucalipto durante esta simulação, a mesma ocorreu normalmente, sem gerar acúmulo no grelhado. Com a dosagem do cavaco em aproximadamente 32%, em função da vazão mássica de biomassa consumida, houve uma redução de consumo de bagaço na ordem de 4%, com isso aumentando o descarte de bagaço para estoque de 2.294,28 toneladas. Fato esse que pode ser explicado pelo cavaco de madeira, com umidade de 30%, ter um PCi de 3.000 kcal/kg, consumindo assim menos biomassa na queima.

Ainda quanto à queima da biomassa composta, com base nos gases emitidos durante o período de teste, pode-se observar que ocorreu uma queima adequada, sem a liberação de material particulado para a atmosfera não apresentando alterações na temperatura e pressão do vapor vivo durante a simulação.

Houve um aumento no consumo do combustível pela caldeira, em relação à simulação realizada somente com o cavaco, mas uma economia quando comparada ao bagaço. O fluxo de caixa obtido, após a análise econômica e à venda da energia elétrica produzida a partir da mistura de combustíveis foi na ordem de R\$48,63 por tonelada de combustível (TABELA 5).

TABELA 5 – Comparativo econômico da mistura de cavaco e bagaço

Informações	Unidades	Mistura Cavaco e Bagaço
Gasto com matéria-prima	R\$/h	5.120,60
Energia exportada	MW/h	20,00
Receita bruta gerada com venda energia elétrica	R\$/h	7.769,60
Custo de oportunidade com venda matéria-prima	R\$/h	5.120,60
Impostos (9,25% PIS/COFINS)	R\$	718,69
Resultado Líquido	R\$	1.930,31
Resultado Bruto	R\$	2.649,00
Resultado Líquido	R\$/t	35,44
Efeito caixa	R\$/t	48,63

O trabalho foi proposto a fim de avaliar a utilização do cavaco de madeira como combustível para geração de energia elétrica em uma empresa sucroalcooleira.

Quanto à geração de vapor pela caldeira, a utilização do cavaco demonstrou que foi possível atingir valores mais altos que do bagaço, sem apresentar alterações na temperatura e pressão do vapor vivo durante a simulação e emissão de material particulado para atmosfera. Sendo viável a utilização de uma mistura de cavaco e bagaço, pois seria possível obter um efeito caixa cerca 2,7% maior com venda de energia elétrica, em comparação com a utilização de 100% de bagaço, e gastaríamos cerca de 11,4% a menos com matéria-prima em comparação à utilização de 100% de cavaco.

A título de estímulo a outros pesquisadores que se mostrem dispostos a novas avaliações sobre o tema, seria interessante uma análise mais minuciosa quanto à mistura de cavaco e bagaço, utilizando outras variações de dosagens e umidade para ambos.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que a utilização do cavaco de madeira como combustível para geração de vapor em caldeira é viável tanto sob o aspecto técnico quanto financeiro.

5. REFERÊNCIAS

AMORIM, H. V. de, et al. *Métodos analíticos para o controle da produção de álcool e de açúcar*. 3ª. Ed. Piracicaba: FERMENTEC, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa*. 2003. 17p.

BRANCO, S. M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Moderna, 1990. 96p.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3 ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Cana-de-açúcar*. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 29 ago. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). *Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese*. Rio de Janeiro: EPE, 2015 62 p.

BRASIL - Ministério de Minas e Energia (MME). *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Agosto/2015*. Rio de Janeiro: EPE, 2011. Disponível em: <<https://mme.gov.br>> Acesso em: 10 out. 2015.

BRIGHENTI, C. R. F. *Integração do cogedor de energia do setor sucroalcooleiro com o sistema elétrico*. São Paulo, 2003. 169p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

BRITO, J. O. *Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais*. Silvicultura, v. 11, n. 41, p. 188-193, 1986.

BRITO, J. O; BARRICHELO, L. E. G. *Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia*. IPEF, São Paulo, Circular Técnica, n.52, PBP/3.1.8, 7p. jun. 1979.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. *Eficiência Energética no uso de vapor*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

COGEN. Associação Paulista de Cogeração de Energia. *Cogeração no Brasil*. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/cog_brasil_bio.asp>. Acesso em: 29 ago. 2015.

CORTEZ, C. L.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G., COELHO, S. T.; MOREIRA, J. R.; AMENDOLA, F. C. B.; GAVIOLI, F. *Análise do processo produtivo do eucalipto no sistema “short rotation” para o uso como combustível em uma usina termoelétrica*. In, Congresso Internacional de Bioenergia, 4, 2009, Curitiba, **Anais...**São Paulo: Centro Nacional de Referência em Biomassa, 7 p.

EQUIPALCOOL SISTEMAS LTDA. *Prontuário e Databook*. São Paulo. Jun. 2009.

GATTO, D. A. et al. Características da lenha produzida na região da quarta colôniade imigração italiana do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*. Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 7-16, 2003. ISSN 0103-9954.

HUGOT, E. *Manual de engenharia açucareira*. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1977.

KLABIN. Produtora, exportadora e recicladora de papéis. Acessado em Set. 2008. Disponível em <<http://www.klabin.com.br/pt-br/klabin/default.aspx>>.

NOVA CANA. *A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)*. Disponível em: <<http://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>>. Acesso em: 29 ago. 2015.

QUIRINO, W. F. et al. *Poder calorífico da madeira e de materiais lígno-celulósicos*. Revista da Madeira, n. 89, abril 2005, p. 100-106.

SONNTAG, R. E.; BORGNACKE, C.; VAN WYLEN, G. J. *Fundamentos da Termodinâmica*. Tradução da 6ª edição americana, Ed. Edgard Blücher. 2003.

ANEXO

ANEXO A - Valores obtidos durante das infeções da mistura de cavaco e bagaço na caldeira

Ensaio	Dosagem cavaco (t/h)	Porcentagem de cavaco dosada (%)	Vazão vapor (t/h)	Desvio bagaço (%)
1	6,30	9	135,00	0,00
2	16,36	23	137,00	0,00
3	27,00	36	144,00	35,00
4	27,00	36	145,00	30,00
5	28,00	35	153,00	40,00
6	30,00	37	154,00	30,00
7	24,00	29	158,00	35,00
8	25,00	30	159,00	35,00
9	24,00	30	153,00	35,00
10	24,00	30	152,00	40,00
11	25,00	31	153,00	40,00
12	33,00	41	155,00	37,00
13	32,00	39	156,00	35,00
14	29,00	35	160,00	30,00
15	27,00	32	162,00	37,00
16	26,00	32	157,00	30,00
17	28,00	35	153,00	37,00
18	26,00	32	156,00	35,00
19	32,00	39	158,00	35,00
20	22,00	27	157,00	30,00
21	23,00	27	162,00	30,00
22	23,00	28	160,00	35,00
23	23,00	28	156,00	30,00
24	23,00	28	160,00	40,00
25	23,00	28	157,00	30,00

Ensaio	Dosagem cavaco (t/h)	Porcentagem de cavaco dosada (%)	Vazão vapor (t/h)	Desvio bagaço (%)
26	23,00	33	134,00	40,00
27	23,00	30	149,00	40,00
28	23,00	29	152,00	37,00
29	23,00	29	150,00	37,00
30	23,00	29	151,00	35,00
31	23,00	29	150,00	35,00
32	23,00	28	157,00	35,00
33	23,00	29	152,00	35,00
34	23,00	29	154,00	35,00
35	23,00	29	151,00	35,00
36	23,00	28	155,00	35,00
37	30,00	38	153,00	35,00