

## **ANÁLISE DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DO PALHIÇO PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA NUMA USINA SUCROALCOOLEIRA**

**Ricardo Agudo Romão Junior, kadocontieiro@gmail.com**  
**Lucas Fernando Biazotti Bonan, lucasbonan@hotmail.com**  
**Francisco Parra Domingues Neto, netoparrabtm@hotmail.com**  
**Ricardo Alan Verdú Ramos, ramos@dem.feis.unesp.br**

Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica, Núcleo de Planejamento Energético, Geração e Cogeração de Energia, Av. Brasil, 56, Centro, CEP 15.385-000, Ilha Solteira, SP.

**Resumo:** *Com o aumento da mecanização da colheita de cana de açúcar e a diminuição da prática de queima prévia da palha dos canaviais em função de protocolos ambientais estabelecidos entre os usineiros e o governo, cresce significativamente a quantidade de palha disponível no campo. Neste trabalho é analisada a utilização de palha como combustível suplementar para caldeiras convencionais de alta pressão (para bagaço), possibilitando assim um aumento de geração de energia excedente com a possibilidade de ser exportada para comercialização. Para tanto, são realizados estudos de perdas, ganhos e investimentos com a introdução da palha na indústria através de análises termodinâmicas de geração de energia, produção de álcool e açúcar, eficiências de equipamentos como colhedoras de cana, sistema de lavagem de cana a seco, picador de palha, caldeira de alta pressão, moagem da cana, entre outros. Como o poder calorífico inferior da palha é quase o dobro do poder calorífico do bagaço a geração de energia excedente para exportação apresenta uma grande vantagem para o setor, sendo as perdas em produção de açúcar e álcool poucos significantes devido ao alto valor da venda de eletricidade.*

**Palavras-chave:** *Indústria sucroalcooleira; Colheita mecanizada; Palha; Cogeração; Lavagem de cana a seco.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A ocorrência da crise energética em 2001, decorrente da falta de água em reservatórios das hidrelétricas e do aumento do consumo de energia acima da capacidade do setor público em responder ao crescimento dessa demanda, levou o Brasil a um panorama de incertezas quanto à garantia de oferta de energia.

Uma das alternativas para suprir o déficit de eletricidade é o estímulo à geração independente e descentralizada e a participação de capital privado no sistema através da construção de pequenas centrais hidrelétricas e termelétricas, além do aumento da geração de energia elétrica através da cogeração em indústrias, com destaque para as sucroalcooleiras.

#### **1.1. Contribuição Energética do Setor Sucroalcooleiro**

Há alguns anos vem sendo discutido o melhor aproveitamento do potencial econômico da biomassa da cana de açúcar, tanto o bagaço de cana de açúcar como a biomassa que compõe a planta no campo (palhiço): suas folhas, pontas e palhas.

Com esse advento da cogeração e a possibilidade de exportação de energia elétrica, além da competitividade do mercado, as usinas passaram a se preocupar com a eficiência das suas máquinas térmicas, já que nessa situação, além de atender a demanda térmica e eletromecânica, o excedente de energia pode ser vendido.

A UNICA assegura que o setor terá potência para injetar no mercado elétrico nacional de 11.500 MW médios na safra 2015/2016, quando processará 829 milhões de tonelada de cana, a 14.400 MW médios em 2020/2021. Neste ciclo, a entidade prevê a produção de 1.038 bilhões de toneladas da matéria-prima, que responderia por 15 % da matriz energética nacional no período.

#### **1.2. Relevância do Tema e Objetivo**

A cultura da cana de açúcar reúne condições relevantes para se tornar a mais importante fonte de geração descentralizada no país, sendo que a energia renovável produzida pelas usinas sucroalcooleiras para uso externo (etanol e eletricidade) apresenta uma boa sustentabilidade, pois permite a redução das emissões de gases de efeito estufa em

cerca de 12,7 milhões de toneladas de carbono equivalente. Assim, é desejável que a evolução das usinas ocorra de forma a: Aumentar a eficiência no uso do bagaço; Desenvolver a colheita/utilização da palha para gerar mais energia; Buscar produtos de fermentações do açúcar; Buscar novas opções (energéticas) para o etanol.

Diante deste contexto, o objetivo do presente trabalho é a análise técnica/econômica da introdução da palha na indústria sucroalcooleira visando um aumento na geração de energia elétrica no sistema de cogeração da usina para comercialização de eletricidade excedente.

### 1.3. Revisão da Literatura

Zulauf *et al.* (1985), para cálculo da energia liberada pela queima, consideraram valores entre 4 % e 11,5 % de palha e entre 6 % e 16,2 % de ponteiros. Os autores citam ainda valores encontrados em Cuba que, em 144 t de massa total (in natura), 28 t corresponderiam a ponteiros e 16 t seriam folhas verdes e folhas secas, o que equivaleria a 19,4 e 11,1 %, respectivamente. Para determinação da energia gerada pela queima, foi determinado em laboratório o poder calorífico da palha, que corrigido pelo teor médio de umidade nas condições dos experimentos, chegou-se a um valor de 2.576 kcal/kg palha (poder calorífico inferior).

Ripoli *et al.* (1991) afirmaram que, com o aumento da colheita mecânica, as usinas que desejarem agregar valor por meio do aproveitamento da palha tenderão a apresentar custos operacionais menores do que os atuais, pois as futuras colhedoras de cana picada, por exigência de mercado, poderão apresentar valores de aquisição por volta de 20 a 30 % menores do que os atuais (por volta de US\$ 300.000,00), visto que não mais apresentarão exaustores, ventiladores, além de menor número de motores hidráulicos, mangueiras e outros componentes e, com certeza, motores de combustão interna de menores potências. Com isso, afirmam que máquinas com tais características permitirão manutenções periódicas mais rápidas e mais baratas, levando-se a simplificação das estruturas de apoio do sistema de colheita.

Hassuani (1998) obteve um custo de US\$ 19,8 para recolhimento e transporte a 10 km para 1 t de palha seca enfardada. Considerando a produção de 11,2 t de resíduo seco por hectare e uma eficiência de recolhimento de palha de 50 %, teremos um custo aproximado de US\$ 110/ha para recolhimento e transporte da palha até a usina. Uma vez que esta palha possui um equivalente energético a 1.943 kg de óleo combustível a um custo aproximado de US\$ 125/t, pode-se evitar o gasto equivalente a US\$ 132 para cada hectare de resíduo recolhido. Este raciocínio desconsidera custos de decomposição dos fardos.

Sánchez Prieto *et al.* (2001) estudaram que a cogeração tem uma grande aceitação no setor sucroalcooleiro fundamentalmente em razão da sua adequação, pois o combustível empregado é um rejeito do processo de fabricação e os produtos do sistema, potência mecânica ou elétrica e vapor, são utilizados no próprio processo.

Tolmasquim *et al.* (2002) afirmam que, considerando a colheita mecanizada e a utilização de palhas e pontas, em 2001, o potencial de cogeração de energia pelo setor sucroalcooleiro seria de 18.264 MWh, podendo chegar a 21.309 MW até o ano de 2010, com o crescimento da área plantada.

Ometto (2005) afirmou que, no Estado de São Paulo, a colheita da cana de açúcar é feita 25 % crua e 75 % com queimada prévia. Já com relação ao método da colheita, 63,8 % é manual e 36,2 % é mecanizada e, assim, independe da queima, apesar do corte ser um pouco dificultado. Vale destacar que em outros Estados o índice de queimada gira em torno de 90 %.

Bohórquez *et al.* (2006) avaliaram a utilização integral do bagaço de cana de açúcar resultante do processo produtivo de uma usina de açúcar que pretende incrementar sua capacidade de geração de energia elétrica de 7 para 35 MW, mediante o redesenho do ciclo e a incorporação de novos turbogeradores. Utilizando as ferramentas termoeconômicas foi estabelecida a matriz de incidência da planta de cogeração, a determinação dos custos exergoeconômicos e a realização das simulações da variação do preço de combustível e a eficiência da caldeira. Além disso, foi efetuado um breve estudo econômico da produção de energia elétrica e da venda dos excedentes de 27 MWh médios e concluído que o custo da eletricidade gerada era de US\$ 0,051/kWh.

Oliveira e Halmeman (2006) estudaram quais são as principais implicações do novo modelo do setor elétrico como alternativa para impulsionar a geração de energia, utilizando o bagaço da cana de açúcar no processo de cogeração. Os dados sobre as autorizações e registros das usinas termoeletricas foram obtidos junto a Agência Nacional de Energia Elétrica, bem como as informações sobre processo de compra e venda da geração distribuída a partir da utilização do bagaço da cana de açúcar junto às usinas que receberam autorização ou registro entre 2004 a 2005.

## 2. SISTEMA DE COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

De acordo com Walter (1994), cogeração é um vocábulo de origem norte-americana empregado desde a década de 70 para designar os processos de produção combinada de calor útil (vapor, água quente, água gelada, ar quente e frio) e potência (elétrica ou mecânica), com uso seqüencial da energia liberada a partir da queima de uma mesma fonte primária de combustível, qualquer que seja o ciclo termodinâmico empregado (Rankine, Brayton ou Combinado). Em outras palavras, seria o aproveitamento de uma parcela de energia que teria de ser obrigatoriamente rejeitada prevista pela Segunda Lei da Termodinâmica, resultando em um aumento da eficiência global do ciclo (Balestieri, 2002).

Enquanto as usinas do setor utilizavam turbinas somente para acionamentos mecânicos e geração de energia elétrica para consumo próprio, os parâmetros de trabalho (pressão e temperatura) do vapor gerado pelas caldeiras, denominado vapor direto, eram de 22 kgf/cm<sup>2</sup> abs. e 290 °C. Isso porque não se tinha a preocupação com eficiências energéticas

altas e, além disso, as turbinas para essa classe de pressão, originalmente de um único estágio e de baixa eficiência, eram favoráveis ao balanço térmico das plantas. Ou seja, a demanda térmica de processo era atendida mesmo com a utilização das turbinas ineficientes no sistema.

Diversas são as possibilidades para incremento da produção de eletricidade com a manutenção dos sistemas tradicionais e todas elas passam pela melhoria da eficiência energética do processo, reduzindo o consumo de vapor por tonelada de cana processada e usando a quantidade economizada para produzir mais eletricidade.

A interferência mínima possível seria a substituição das atuais turbinas a vapor de simples estágio e de baixa eficiência por turbinas de múltiplos estágios e de maior eficiência. A substituição das atuais caldeiras por outras de maiores pressões e temperaturas, e dos turbogeradores de contrapressão por turbogeradores de extração-condensação, seria uma interferência mais profunda, mas que ainda permitiria a manutenção dos atuais ciclos de contrapressão, tal como mostra a Fig. 1 (Corrêa Neto e Ramon, 2002). Adicionalmente, existem outras tecnologias que também estão sendo implantadas, tais como a eletrificação dos acionamentos e o aproveitamento da palha como combustível, através da substituição da queimada e coleta manual pela coleta mecanizada.

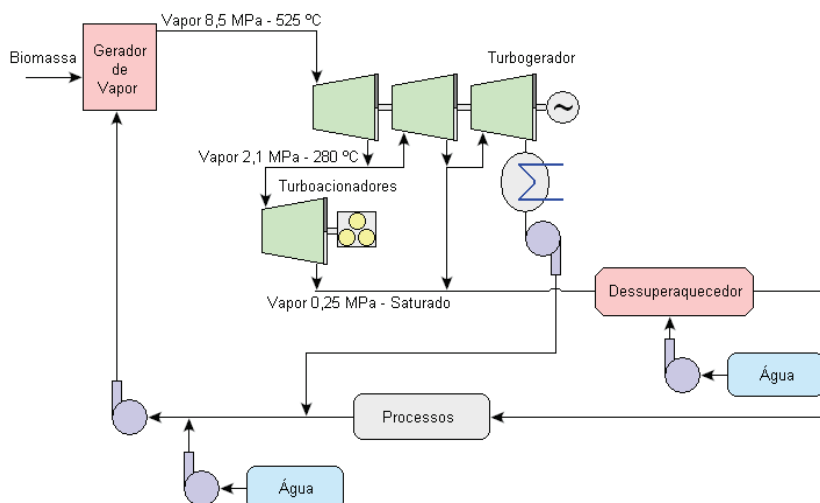


Figura 1. Sistema de cogeração com turbina de extração-condensação.

### 3. APROVEITAMENTO DA PALHA PARA COGERAÇÃO

Há um potencial adicional a ser explorado para a cogeração, o qual envolve o aproveitamento da palha, que tradicionalmente é usada como adubo nas lavouras. Um grande trabalho tem sido realizado no Brasil na busca de melhores técnicas para a colheita/transporte da palha, assim como para a avaliação da sua disponibilidade real (BNDES, 2003).

O uso racional dessas biomassas combustíveis (bagaço e palha) representa uma típica solução de geração distribuída. Com a proximidade das usinas dos centros de consumo elétrico, aliada à potencialidade da exportação dos excedentes, em razão da evolução tecnológica verificada, e à complementaridade com o parque gerador hidrelétrico brasileiro, se não coloca a cultura da cana de açúcar como a melhor alternativa de geração distribuída dentre todas aquelas passíveis de serem disponibilizadas rapidamente no país, certamente a situa dentre as mais promissoras. Além destes fatores, pode-se citar ainda: Os valores elevados de energia injetados à rede, dando ancoragem ao Sistema Interligado; O fato de ser fonte renovável; Ser fonte altamente benéfica ao meio ambiente, pois fornece uma alternativa comercialmente válida para o uso dos resíduos gerados.

Atualmente os investimentos para a recuperação da palha deixada no campo estão cada vez mais intensos visando, além de uma melhor produtividade, a utilização da palha juntamente com o bagaço na produção de energia elétrica, aumentando a quantidade de excedentes para comercialização. Desta forma, a seguir serão apresentadas algumas situações para o aproveitamento da palha como combustível suplementar em caldeiras de alta pressão a bagaço.

#### 3.1. Sistema para a Separação da Palha

Com o aumento da mecanização na colheita de cana e a diminuição da prática de queima prévia da palha nos canaviais, cresce significativamente a quantidade de palha que vai para a indústria, assim como a quantidade de resíduos minerais que acompanham a cana.

Para evitar grandes perdas de sacarose no processo industrial, é necessário separar essas impurezas e atualmente o melhor sistema para realizar esta função é através do Sistema de Limpeza de Cana a Seco (SLCS). Segundo os especialistas, esta deve ser uma consequência do avanço da colheita mecanizada no Brasil e deve aumentar ao longo dos

anos. A matéria-prima picada possui mais áreas de atração de impurezas, de modo que, se a usina for lavar a cana picada, a perda de açúcar será da ordem de 5 %, tornando proibitiva essa medida.

Uma tonelada de cana de açúcar possui, em média, 150 quilos de sacarose, sendo que 2 % deste volume podem ser perdidos no procedimento de lavagem da cana. Entre 4 e 6 % também são eliminados durante o processamento da cana na moenda ou no difusor.

Com a tecnologia de limpeza a seco, parte dessas perdas pode ser evitada, sendo dois fatores determinantes para a obtenção desse resultado. O primeiro quando a usina remove a impureza vegetal (palha) e este material fica impedido de “roubar” sacarose do caldo durante o processo de extração e o segundo permite que a usina diminua o tempo de moagem e, conseqüentemente, ajuste a safra para um período maior de maturação de cana, o que renderá maior concentração de sacarose.

O sistema de lavagem de cana a seco trata-se de uma solução já adotada por algumas usinas com bons resultados. Parte destas unidades separa e manda para a lavoura a palha e a terra recolhida, já outras separam a palha da terra e a passam pela moenda. No entanto, o ideal é a utilização da palha como combustível suplementar para as caldeiras de bagaço possibilitando um aumento de geração de energia excedente que pode ser exportada, porém as palhas retiradas apresentam um inconveniente que é o fato de serem de tamanho grande e com fibras longas, por isso não são próprias para a queima nas caldeiras convencionais a bagaço.

Faz-se necessário transformar a palha em pequenos pedaços para que possa fazer a mistura com o bagaço e, depois, a queima nas caldeiras convencionais. Uma das soluções encontrada foi o uso de um picador de palha, sendo o mesmo testado durante o ano de 2004, atingindo resultados satisfatórios. Ele é um equipamento simples, composto por um rotor com facas fazendo com que a palha passe por um cesto, assim transformando as palhas de fibras longas em palha picada, ideal para a queima em caldeiras.

### 3.2. Princípios de Funcionamento do Sistema de Limpeza de Cana a Seco

O sistema atual faz com que um fluxo de ar gerado por ventiladores atravesse a "cascata" de cana, que cai da mesa alimentadora para a esteira de cana, sendo que os ventiladores são instalados atrás ou sob a mesa de alimentação para eliminar as impurezas por sopragem, variando a quantidade e a localização de acordo com o layout da instalação.

Utilizando apenas a cana picada, o fluxo de ar realiza um trabalho melhor, chegando a níveis de limpeza próxima dos 70 % da cana que é descarregada na Mesa Alimentadora. Na cana inteira este índice chega de 60 a 65 %. É mais do que suficiente para que a usina processe o caldo e o bagaço sem transtornos (Fonte: CTC).

Com a instalação deste sistema, as caldeiras podem queimar sem problemas o bagaço advindo de moendas com limpeza por ventilação, e as seções de decantação e filtragem, devidamente dimensionadas, podem operar sem transtornos. Este processo tem duas formas de retirada da terra e da palha que inevitavelmente é arrastada pelo fluxo de ar: sistema via seco e sistema via úmido. No sistema via seco, a câmara recolhe a terra através de esteiras que enviam para um reservatório para se dar o destino final. No sistema via úmida, uma cortina de água recolhe a terra e a palha, separada esta da terra por um *cush-cush*, e segue para o sistema de decantação, onde a água volta ao processo.

## 4. METODOLOGIA

Foi analisado um caso com dados reais para a possibilidade de utilização da palha como combustível suplementar na caldeira de alta pressão de uma usina sucroalcooleira do oeste paulista, sendo que os dados necessários para os cálculos foram fornecidos da safra 2008/2009. Nesta safra, a moagem da referida usina foi de 1.817.674 toneladas de cana, tendo com isso ficado em 83º lugar no ranking de produção da região centro-sul, sendo que sua produção de álcool anidro e hidratado foram, respectivamente, 37.120 m<sup>3</sup> e 61.196 m<sup>3</sup>, e a produção de açúcar chegou a 114.472 toneladas (Fonte: UNICA). O mix de produção foi de 58,6 % para álcool (63 % hidratado e 37 % anidro) e os outros 41,4 % para açúcar (87 % VHP), já que a usina possui um sistema de descarregamento e transporte do VHP via fluvial economizando em transporte terrestre, e 13 % açúcar branco).

A porcentagem de mecanização da colheita é de 45 % e o restante manual através de queimadas (55 %), do total de cana disponível 1.725.185 toneladas são referentes a colmo e 89.815 toneladas referentes ao palhiço, considerando que 55 % do palhiço já foi queimado. Assim, a Tab. 1 mostra a quantidade de cana (colmo + palhiço) que chega a indústria e a Tab. 2 mostra a quantidade de palha que é separada com o Sistema de Limpeza de Cana a Seco (SLCS) Ligado.

**Tabela 1. Quantidade de cana entrando na indústria.**

Colhedora de Cana (Ventilação)	Quantidade de Colmo e Palhiço
Ventilada	1.725.185 t colmo
	17.980 t palhiço
Parcialmente Ventilada	1.725.185 t colmo
	44.960 t palhiço
Sem Ventilação	1.725.185 t colmo
	84.520 t palhiço

**Tabela 2. Quantidade de palha separada pelo SLCS Ligado.**

Tipo de Ventilação	Palha (t)
Ventilada	7.364
Parcialmente Ventilada	18.410
Sem Ventilação	34.611

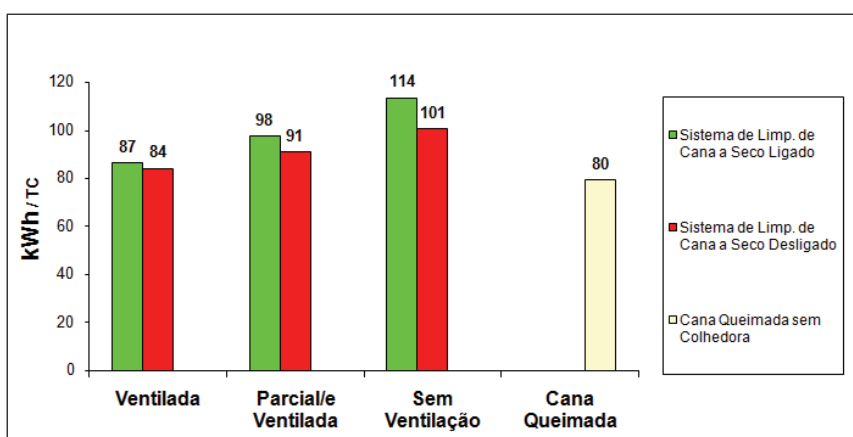
A partir do consumo total de energia necessário para o funcionamento da usina e a geração total energia encontra-se a quantidade de energia que pode ser exportada em cada situação estudada.

## 5. RESULTADOS

A Tab. 3 mostra a exportação total de energia na usina, podendo ser verificado que a geração de energia aumenta com a maior introdução de palha na indústria e, conseqüentemente, a exportação de energia também aumenta. Assim, a Fig. 2 apresenta a eficiência energética global dos indicadores estudados. Pode-se observar que, quando a colhedora trabalha com sua eficiência de ventilação baixa (Sem Ventilação), a geração de energia aumenta relacionado a quantidade de cana que entra na indústria, isso ocorre por ter uma maior quantidade de palha preparada sendo queimada na caldeira, obtendo-se, assim, uma melhor eficiência de exportação de energia por quantidade de cana (114 kW/tcana). A menor eficiência da indústria ocorre quando a colheita é totalmente manual através de queimada da cana (80 kW/tcana) devido a não utilização da palha como combustível suplementar para queima na caldeira, sendo que através das análises é o principal motivo de uma melhor eficiência energética da indústria.

**Tabela 3. Geração total e exportação de energia (MWh/Safra).**

Tipo de Colheita	Tipo de Ventilação	Geração Total de Energia	Exportação de Energia
SLCS Ligado	Ventilada	236.964	150.352
	Parcialmente Ventilada	260.345	171.134
	Sem Ventilação	294.638	201.614
SLCS Desligado	Ventilada	232.614	146.883
	Parcialmente Ventilada	249.471	161.168
	Sem Ventilação	274.195	182.120
Colheita Manual (Queimada)		221.376	137.360

**Figura 2. Eficiência energética global.**

A receita final da utilização da palha como combustível suplementar na caldeira é apresentado na Fig. 3. Observa-se que, para a primeira safra, a usina terá o maior déficit, próximo a R\$ 4.060.000,00 quando o SLCS está desligado e a colhedora trabalhando com sua eficiência máxima de limpeza de palha no campo, porém com o SLCS ligado e com uma maior quantidade de palha entrando na indústria e sendo utilizada para queima na caldeira, a usina pode pagar o investimento com o sistema e ainda ter um superávit de aproximadamente R\$ 1.960.000,00.

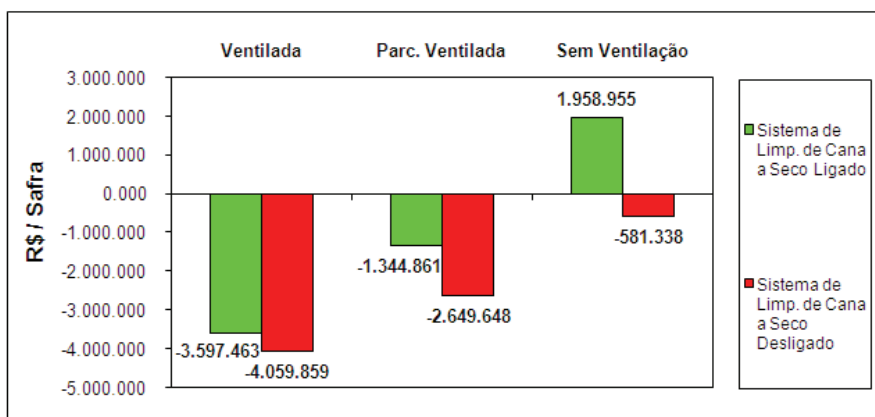


Figura 3. Receita final com venda de energia excedente na primeira safra.

A Fig. 4 apresenta a rentabilidade da energia excedente exportada com a introdução da palha para queima na caldeira em safras e a Tab. 4 apresenta alguns índices variando a porcentagem de mecanização da colheita da cana de açúcar considerando a melhor situação comparada ao modo de extração de palha das colhedoras (Ventilada, Parcialmente Ventilada e Sem Ventilação).

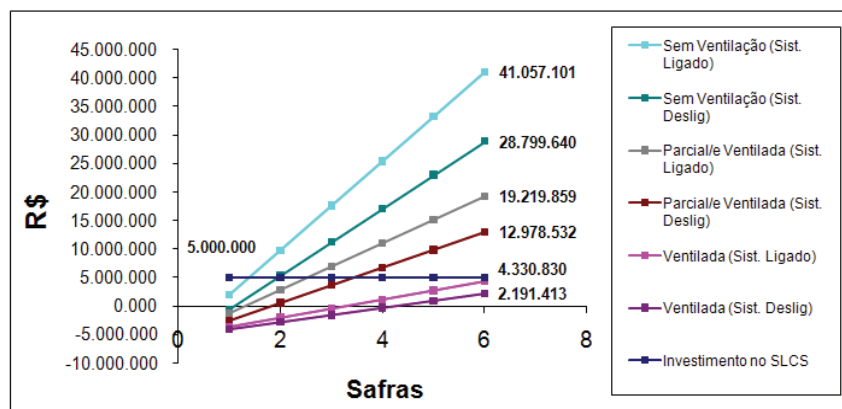


Figura 4. Rentabilidade da energia excedente exportada.

Tabela 4. Geração total e exportação de energia (MWh/Safra).

Melhor Situação	Porcentagem de Mecanização da Colheita					
	15 %	30 %	45 %	60 %	75 %	90 %
Geração de Energia (MWh/safra)	245.797	270.217	294.638	319.060	343.480	367.900
Exportação de Energia (MWh/safra)	158.100	179.855	201.614	223.374	245.134	266.894
Eficiência Energética Global (kWh/tc)	91	102	114	125	136	146
Receita Final (R\$)	-2.760.000	-400.000	1.960.000	4.317.871	6.676.787	9.035.702

Portanto, como pode ser observado nos dados analisados, a utilização da palha como combustível complementar em caldeiras de alta pressão a bagaço pode ser bem vantajoso no sentido financeiro para a empresa, aumentando consideravelmente a receita final da usina, além gerar uma energia limpa e renovável, colaborando para suprir eventuais déficits de energia no Brasil.

## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisada a possibilidade de utilização da palha como combustível complementar em caldeiras de alta pressão a bagaço com turbinas de extração-condensação, sendo a planta industrial totalmente eletrificada proporcionando um aumento da geração de energia e possibilidade de exportação da mesma. Os estudos foram feitos com base em dados reais de uma usina do oeste paulista. Foram consideradas variações na quantidade de cana de açúcar moída, produção de álcool e açúcar, porcentagem de mecanização da colheita, utilização ou não do Sistema de Limpeza de Cana a Seco, entre outros parâmetros. Através de análises termodinâmicas da geração de energia, produção de álcool

e açúcar e investimentos com equipamentos, foram obtidos resultados do ganho financeiro (R\$) com a adição da palha para queima em na caldeira.

Como pode ser visto nos resultados obtidos, a implementação da palha como combustível em caldeiras de alta pressão é uma boa opção para aumentar a geração de energia na usina, sendo que a palha e o bagaço, antes resíduos de destinação inconveniente, estão se tornando opções de lucratividade para as usinas e, além disso, uma opção para solução de problemas de falta de energia, como ocorrido em 2001 (“apagão”) e, mais recentemente, com a crise do gás natural.

Embora tenha sido mostrado neste trabalho que o aproveitamento da palha é viável e aumenta consideravelmente a produção de eletricidade, para que ocorra um incremento ainda maior na geração no setor sucroalcooleiro devem ser utilizadas tecnologias ainda mais avançadas, ainda em desenvolvimento, que permitam um melhor aproveitamento energético do combustível. Como exemplos disso, podem ser citados a gaseificação da biomassa da cana de açúcar e até mesmo o uso do gás natural como combustível complementar (*co-firing*) para elevar o poder calorífico do gás combustível resultante da gaseificação, aumentando, assim, o potencial para geração de energia. Além dessas opções, o aproveitamento da ponta da cana e do bagaço, pode servir como alimentação de ruminantes desde que os mesmos sejam tratados, porém esta opção está na dependência de viabilidades técnicas/econômicas.

## 7. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo fornecimento de bolsas de iniciação científica, à FAPESP, pelo fornecimento de toda a infraestrutura (Processo 05/1197-6) e à Pioneiros Bioenergia S.A., pelo fornecimento dos dados que possibilitaram a realização deste trabalho.

## 8. REFERÊNCIAS

- Balestieri, J.A.P., 2002, “Cogeração: Geração combinada de eletricidade e calor”, EDUFSC, Florianópolis, 279 p.
- Bohórquez, W.O.I., Horta Nogueira, L.A., Lora, E.E.S., 2006, “Análise exergoeconômica da repotenciação de uma planta de cogeração na indústria açucareira equatoriana”, Anais do IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Recife, 10 p. (em CD-ROM).
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2003, “Ampliação da Produção de Etanol e Cogeração de Energia Elétrica”, Brasília.
- Corrêa Neto, V., Ramon, D., 2002, “Análise de opções tecnológicas para projetos de co-geração no setor sucroalcooleiro”, SETAP – Sustainable Energy Technology Assistance Program, Brasília, 116 p.
- Hassuani, S.J., 1998, “Atividade 2.3.1 - Summary of Bailing Tests”, In: Geração de Energia por Biomassa Bagaço de Cana de açúcar e Resíduos, Centro de Tecnologia Coopersucar. Piracicaba. (Projeto BRA/96/G31).
- Ripoli, T.C. *et al.*, 1991, “Potencial energético de resíduos de cosecha de la caña verde”, STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, Vol. 10. pp. 22-26.
- Oliveira, C.E.L., Halmeman, M.C.R., 2006, “Implicações do novo modelo do setor elétrico brasileiro no processo de geração distribuída com a utilização do bagaço da cana de açúcar”, Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 14 p. (em CD-ROM).
- Ometto, A.R., 2005, “Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, exergia e emergia”, Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 210 p.
- Sánchez Prieto, M.G.S., Carril, T.P., Nebra, S.A., 2001, “Análise do custo exergético do sistema de geração de vapor da Usina Cruz Alta”, Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Uberlândia, Vol. 4, pp. 196-205.
- Tolmasquim, M.T., Szklo, A.S., Soares, J.B., 2002, “Potential use for alternative energy sources in Brazil”, Annual Petrobras Conference, Oxford, Inglaterra.
- Walter, A.C., 1994, “Viabilidade e perspectivas da cogeração e da geração termelétrica junto ao setor sucro-alcooleiro”, Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 283 p.
- Website da União da Indústria de Cana de Açúcar (<http://www.unica.com.br>).
- Zulauf, W.E., Caporali, S.A., Videira, R.M., 1985, “Cálculo preliminar da energia liberada anualmente na queima dos canaviais brasileiros”, Anais do II Simpósio Sobre Queima de Palha de Canaviais, Araraquara.

## 9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## STUDY OF FEASIBILITY OF THE STRAW USE FOR ENERGY COGENERATION IN A SUGAR-ALCOHOL FACTORY

Ricardo Agudo Romão Junior, kadocontieiro@gmail.com  
Lucas Fernando Biazotti Bonan, lucasbonan@hotmail.com  
Francisco Parra Domingues Neto, netoparrabtm@hotmail.com  
Ricardo Alan Verdú Ramos, ramos@dem.feis.unesp.br

Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica, Núcleo de Planejamento Energético, Geração e Cogeração de Energia, Av. Brasil, 56, Centro, CEP 15.385-000, Ilha Solteira, SP.

**Abstract:** *With the increasing mechanization of the sugar cane harvest and the decline in the prior practice of burning of sugar cane straw, due to ambient protocols established by government and sugar-alcohol factories, there is a significant increase of the amount of straw available in the field. This paper considers the use of straw as additional fuel in conventional high-pressure boilers (for bagasse), thus enabling an increase in generation of energy surplus with the possibility to be exported for commercialization. For this, studies of losses, gains and investments are carried out with the introduction of straw in the industry through thermodynamics analysis to generate energy, production of alcohol and sugar, efficiencies of equipment like as mechanical cane harvest, washing system of cane to be dried, mincer of straw, high-pressure boiler, milling of sugar cane, among others. As the lower power heating of the straw is nearly twice of lower power heating the bagasse the generation of energy for commercialization presents a great advantage for the factories, and the losses in production of sugar and alcohol are not much significant due to the high value of electric energy sale.*

**Keywords:** *Sugar-alcohol factories, Mechanical harvest, Straw, Cogeneration, Dry washing system.*