



IBP1351_06 SISTEMAS DE CO-FIRING NO SETOR SUCROALCOOLEIRO PAULISTA

Alessandro Aparecido Zanetti¹, Luiz Felipe Pellegrini², Silvio de Oliveira Jr.³

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O setor sucroalcooleiro tem apresentado resultados bastantes favoráveis nos últimos anos, com safras cada vez maiores e recordes de produção. Vários investimentos têm sido realizados no setor, principalmente para aumentar o seu potencial de geração elétrica. Esse potencial pode ser viabilizado através da adoção de novas tecnologias. A principal delas é a gaseificação do bagaço aliada a um sistema de *co-firing* utilizando o gás natural.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar as perspectivas para a introdução dessa tecnologia no setor sucroalcooleiro. Este estudo será realizado a partir da análise do setor, do mercado de gás natural e de avaliações do desempenho de configurações típicas de sistemas *co-firing* para plantas de utilidades de usinas de açúcar e álcool.

A análise e caracterização do setor sucroalcooleiro permitirá avaliar o potencial de geração dos sistemas de *co-firing* bem como da inserção do gás natural nesse setor.

Abstract

Lately, the Brazilian sugar and alcohol industry have achieved favorable results, with larger harvest and production records. Many investments have been done, mainly to increase the electricity generation potential. Such potential might be feasible using new technology, especially gasification combined systems and cofiring systems.

The aim of this study is to evaluate the introduction of this technology in the sugar and alcohol industry. This work provides a general analysis of the industry, the natural gas market, and the operation of the proposed system in sugarcane mills.

The evaluation and characterization of the Brazilian sugar and alcohol industry will allow both the evaluation of the electricity generation potential of co-firing system and the use of natural gas in sugarcane mills.

1. Introdução

Diversificar a matriz energética a partir da utilização de combustíveis mais limpos e fontes renováveis tem recebido crescentes esforços por parte de vários governos no mundo todo. Têm-se como meta principal introduzir novos insumos energéticos, isolados ou combinados com os já existentes de forma a flexibilizar a matriz energética (European Commission – Energy, 2005). No caso brasileiro podemos citar o crescente uso do gás natural em substituição ao óleo combustível e o aumento da geração de eletricidade através da cogeração no setor industrial.

Nesse contexto, o setor sucroalcooleiro vem ganhando destaque. Após as crises ocorridas no final dos anos 80 e com a desregulamentação na década seguinte, os empresários desse setor têm buscado novas estratégias competitivas através da diversificação da produção, a fim de sobreviverem num ambiente de preços liberados. Dentre essas estratégias, pode-se destacar a geração de eletricidade para venda (Vian, 2003). Além disso, outros fatores contribuem para este cenário: crescente aumento do preço do petróleo, fortalecimento do agronegócio brasileiro, aumento do preço do açúcar no mercado internacional e a nova visão mundial sobre o uso de combustíveis limpos como bagaço e álcool. Nesse aspecto, destaca-se o grande potencial existente no setor para a venda de créditos de carbono (Coelho, 1999).

Já pelo lado do gás natural, sua oferta vem crescendo ao longo dos últimos anos, principalmente após a construção do gasoduto Brasil-Bolívia, contribuindo para o aumento da flexibilidade da matriz energética nacional. Hoje, podemos destacar os crescentes esforços por parte da PETROBRAS para aumentar a exploração em bacias nacionais, a fim de reduzir a dependência externa em relação a esse combustível. Como meta, deseja-se minimizar o

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da USP e bolsista ANP/PRH-19. EPUSP.

² Doutorando em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da USP e bolsista DD/FAPESP. EPUSP.

³ Professor Dr. da Escola Politécnica da USP. EPUSP.

impacto de crises de abastecimento, como a recentemente ocorrida com a Bolívia. Esses investimentos também compreendem o desenvolvimento de tecnologias como o gás natural liquefeito (GNL) e o transporte de gás natural comprimido (GNC).

Quanto à matriz energética, outro fator de destaque é a crise de abastecimento de energia elétrica que o país enfrentou em 2001, devido à falta de investimentos na infra-estrutura nacional e o crescente aumento da demanda energética nos anos anteriores. Esta crise, além de limitar o desenvolvimento econômico do país, também provocou consequências no campo social, principalmente aumentando a taxa de desemprego no país (CNI, 2001).

Desta maneira, a idéia de introduzir um sistema de cogeração baseado em sistemas combinados integrados a gaseificação de biomassa (*"Biomass Integrated Gaseification Combined Cycle"* - BIGCC), para aplicação no setor sucroalcooleiro, permitiria a geração de um excedente de eletricidade na usina. Esse excedente pode ser comercializado com as indústrias vizinhas ou com a concessionária local. Assim, gera-se uma receita adicional, a qual poderia trazer benefícios em toda a cadeia produtiva desse agronegócio. Para a concessionária local isso é vantajoso, pois propicia a geração de energia elétrica de forma distribuída e próxima aos centros consumidores (Walter, 1994). Ainda, os gastos com longas redes de distribuição são evitados. Os investimentos na geração de energia elétrica são efetuados pelos usineiros, ou seja, sem custo para concessionária. Por outro lado, as concessionárias devem sinalizar o interesse pela compra da energia disponibilizada.

O uso de sistemas BIGCC, todavia, traz dificuldades com relação ao atendimento da demanda de vapor das usinas, pois esses sistemas não são capazes de produzir a quantidade de vapor necessária ao processo, o que poderia prejudicar a produção de açúcar e álcool (Pellegrini et al. 2005).

A fim de eliminar este entrave, duas possibilidades podem ser consideradas: alteração da estrutura produtiva do processo e/ou utilização de um combustível complementar. A primeira alternativa requer políticas de uso racional de energia e alteração nos processos de conversão de energia na usina. A segunda alternativa, ao contrário, não requer essas alterações, apenas modificações na planta de utilidades.

Considerando a segunda possibilidade, na qual um novo combustível é inserido, o presente trabalho propõe uma planta de utilidades utilizando gaseificação de bagaço de cana aliada com a queima de um combustível fóssil, nesse caso o gás natural. Essa configuração compõe os chamados sistemas de co-firing. O termo *"co-firing"* corresponde aos sistemas que utilizam a biomassa aliada a um combustível fóssil, nesse caso o gás natural, como insumos energéticos.

Devido à disponibilidade do gás natural não ser sazonal como é o caso do bagaço (disponível apenas nos períodos de safra¹), essa configuração poderia operar durante o ano todo, tendo uma oferta permanente de eletricidade².

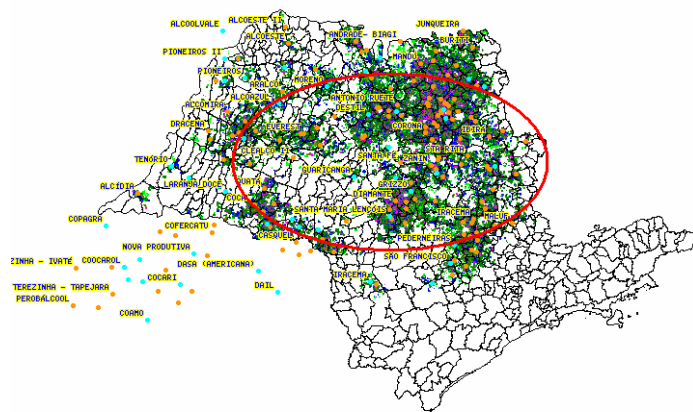


Figura. 1. Densidade da produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo (CANASAT, 2005)

O gás natural foi o combustível escolhido devido a suas características melhor se adequarem ao uso de turbinas a gás e, principalmente, estar disponível próximo às usinas sucroalcooleiras. As Figuras 1 e 2 ilustram essa proximidade entre as usinas paulistas e o gasoduto Brasil-Bolívia. Portanto, o sistema de *co-firing* proposto não só aumentaria a oferta de eletricidade gerada a partir do bagaço de cana-de-açúcar, como também o mercado consumidor de gás natural.

A situação atual do setor quanto ao potencial de geração elétrica é apresentada na Tabela 1 (BEN, 2005). Analisando os dois cenários da tabela, pode-se constatar que houve um aumento da capacidade instalada de geração

¹ O custo de estocagem do bagaço ainda torna esta técnica indisponível. Isso devido ao fato de a quantidade de energia requerida para a secagem do bagaço ainda ser elevada e possuir um custo-benefício muito baixo. Seus índices de contaminação também são elevados caso sejam mal estocados (Camargo, 1990).

² Um dos principais problemas enfrentados pelas usinas junto às concessionárias locais de energia é quanto ao fato de a disponibilidade da oferta de energia ainda ser sazonal, apenas nos períodos de safra, o que diminui a atratividade dessa oferta do ponto de vista das concessionárias (Pellegrini, 2003).

elétrica no setor sucroalcooleiro. Esse aumento de capacidade de geração é reflexo das estratégias adotadas por parte do setor para a diversificação da produção, nesse caso, produção de energia elétrica. Nesse aspecto, pode-se destacar os investimentos na substituição de velhos equipamentos por equipamentos mais novos e mais eficientes, a fim de diminuir a demanda de energia da usina e, conseqüentemente, aumentar o excedente de energia elétrica que eventualmente poderá ser comercializado.

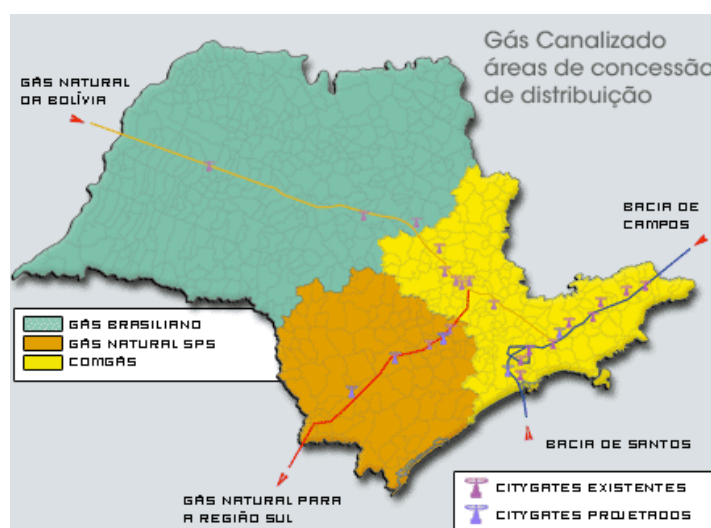


Figura 2. Malha de gasodutos do estado de São Paulo (CSPE)

Tabela 1. Capacidade instalada de geração elétrica de autoprodutores em MW

Região	AÇÚCAR E ÁLCOOL 2003			AÇÚCAR E ÁLCOOL 2004		
	HIDRO	TERMO	TOTAL	HIDRO	TERMO	TOTAL
NORTE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NORDESTE	2,2	101,5	103,7	2,2	101,5	103,7
SUDESTE	0,6	1266,6	1267,2	0,6	1326,6	1327,2
SUL	0,0	90,4	90,4	0,0	96,4	96,4
CENTRO OESTE	2,0	153,9	155,9	2,0	153,9	155,9
BRASIL	4,8	1612,4	1617,3	4,8	1678,4	1683,3

2. O setor sucroalcooleiro paulista

No estado de São Paulo este setor corresponde a 35% do PIB e dos empregos rurais existentes, segundo dados do CEPEA/ESALQ (2006).

Atualmente, o estado de São Paulo possui uma área plantada de cana-de-açúcar de aproximadamente 2,9 milhões de hectares e uma produção de 240 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (2005). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2006), a estimativa para a produtividade do país é de 73,9 toneladas de cana-de-açúcar por hectare de terra planado, sendo São Paulo o maior estado em produtividade (84 tc/ha)

Segundo a UNICA (2006), os dados consolidados da última safra (05/06) no estado de São Paulo são: 15,2 milhões de toneladas de açúcar, 6 milhões de m³ de álcool anidro e 2,9 milhões de m³ de álcool hidratado.

Para a safra (06/07) a previsão é 469,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para o Brasil, sendo 282,2 milhões de toneladas de cana para o estado de São Paulo.

2.1. Principais arranjos utilizados no setor

O setor sucroalcooleiro historicamente foi desenvolvido para a produção de açúcar e, a sua principal demanda de energia era para a moagem da cana e cozimento do caldo.

Os equipamentos para moagem foram evoluindo ao longo do tempo saindo da tração animal, hidráulica (roda d'água) e chegando a era do vapor quase um século depois da Revolução Industrial. Atualmente, algumas usinas já substituíram esses equipamentos a vapor por equipamentos elétricos ou mesmo por sistemas de difusão mais eficientes que os de moagem (Modesto e Nebra, 2005).

A partir da introdução do vapor no processo de produção, as primeiras caldeiras foram introduzidas nesses

sistemas. Inicialmente, essas utilizavam como combustível a lenha e depois, o próprio bagaço gerado pelas usinas, até então descartado.

A utilização do bagaço como insumo energético na caldeira, promoveu o aumento da energia disponibilizada para a usina e aumentou a sua capacidade de moagem. Essa agora passou a ser feitas por máquinas mais eficientes e numa escala maior.

As plantas de utilidades das usinas brasileiras atualmente são baseadas em sistemas de cogeração a vapor. Esses sistemas têm como principais equipamentos: geradores de vapor, turbinas a vapor, bombas hidráulicas e trocadores de calor. Na figura 3 é apresentada a planta de utilidades da Usina Iracema (Iracemápolis/SP).

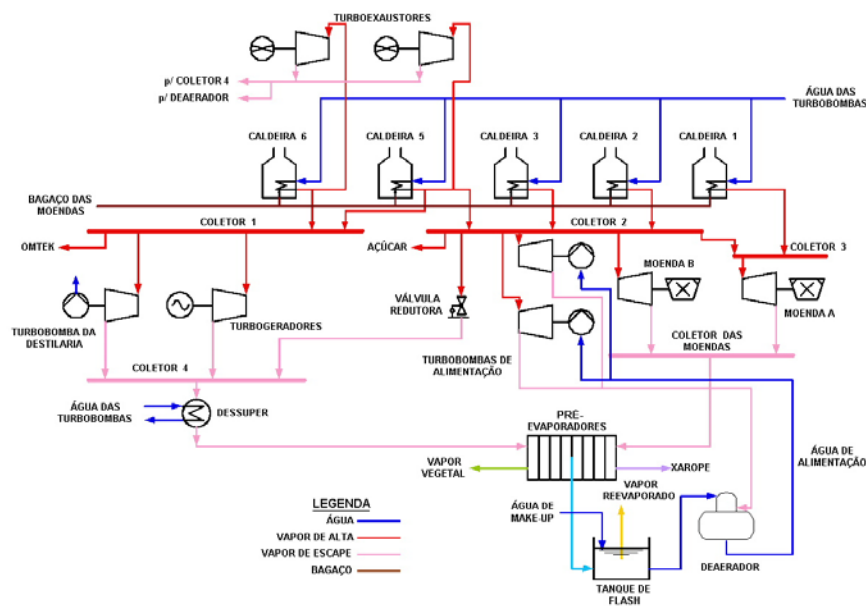


Figura 3. Fluxograma da planta de utilidades da Usina Iracema (Zanetti et al, 2004)

Estudos para substituição dos acionamentos mecânicos movidos a vapor da planta de utilidades por equipamentos elétricos que possuem um rendimento maior demonstram uma tendência de geração de eletricidade excedente. Com isso, o vapor que seria enviado para geração de potência mecânica é enviado para geração elétrica. Isso não só aumenta a quantidade de energia gerada, como também o excedente de energia que pode eventualmente ser comercializado. Dentre esses estudos podemos citar Pellegrini (2004).

3. O gás natural

O gasoduto Brasil-Bolívia possui sua localização próxima às usinas paulistas, esse atravessa todo o Estado de São Paulo e possui uma oferta permanente de gás natural devido ao contrato *Take-or-Pay* assinado entre a PETROBRAS e a empresa Boliviana. O grande diferencial desse combustível é que o mesmo poderia ser utilizado mesmo durante o período de entressafra. Na Tabela 2 é apresentada a composição do gás natural Brasil-Bolívia.

Tabela 2. Composição do Gás natural Brasil-Bolívia.

Componente	Fração Molar (%)
CH ₄	91,80
C ₂ H ₆	5,58
C ₃ H ₈	0,97
C ₄ H ₁₀	0,15
CO ₂	0,08
N ₂	1,42

Esse combustível tem recebido grande destaque por ser considerado um combustível limpo devido a baixa emissão de gases de efeito estufa na sua queima, principalmente o gás carbônico, quando comparado aos derivados de petróleo.

3.1 O gás natural na matriz energética brasileira

Na Figura 4 é apresentada a evolução da participação de cada insumo energético na matriz energética brasileira desde 1970 até 2004. Destaque para o aumento da participação dos combustíveis renováveis e do gás natural, principalmente a partir de 1999. É nesse ano que o gasoduto Brasil-Bolívia entra em operação, o que viabiliza a importação desse insumo energético.

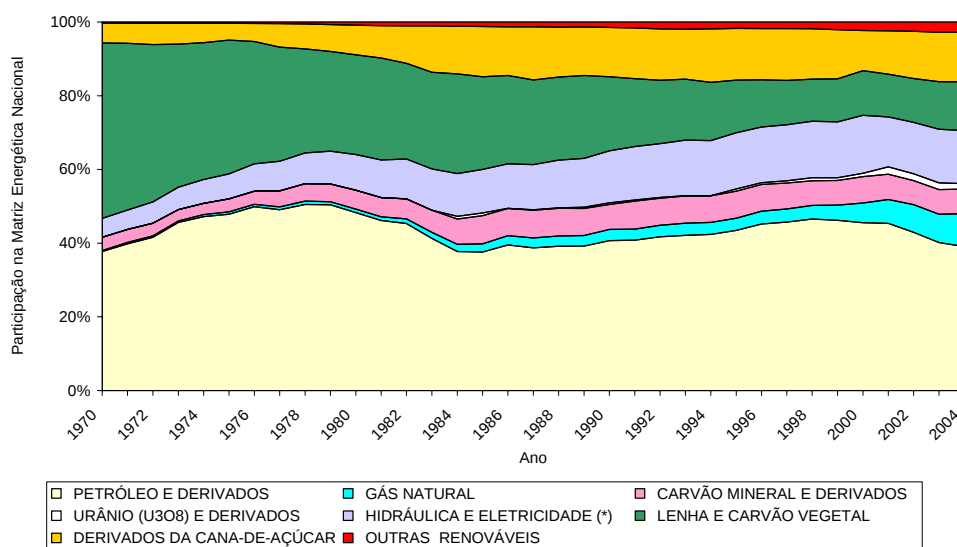


Figura 4: Matriz energética brasileira

O Gás Natural tem evoluído muito nos últimos anos, tanto em oferta quanto em produção e consumo. Em 1970, a oferta interna de gás natural representava 0,3% da oferta interna de energia, esse número passou para 7,4% em 2002 e 8,9% em 2004. É a fonte de energia não-renovável que mais cresceu em oferta interna.

As reservas medidas de Gás Natural evoluíram nos últimos anos, sobretudo de 2002 a 2004, quando as mesmas passaram de $244 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ a $326 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Analisando entre os anos de 2000 a 2004, a produção de Gás Natural cresceu cerca de 28%, mas a importação cresceu ainda mais – cerca de 265%, através do gasoduto Brasil-Bolívia. Observa-se que, nesse período, os setores que mais aumentaram o uso desse recurso foi o de Geração Elétrica, passando de $976 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ para $4593 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ – cerca de 370% de aumento; e o de Transportes, passando de $313 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ para $1580 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ – cerca de 400% de aumento.

A importância do uso do Gás Natural para a Geração Elétrica tem-se destacado bastante. A produção pública de energia elétrica a partir dessa fonte aumentou 61,8% entre 2003 e 2004 (de 9,1 para 14,7 TWh), sendo de longe o maior crescimento percentual na produção nacional de eletricidade. O Gás Natural, em 2004, representou 5% da geração total do país. Observa-se crescente uso desse recurso na cogeração, já significando um terço do uso na geração pública.

4. Os sistemas de Co-firing

Devido a localização do gasoduto Brasil-Bolívia ser próxima às áreas de maior concentração de usinas sucroalcooleiras de São Paulo, foi trabalhada a idéia de aproveitar o gás natural nessas usinas a fim de se aumentar o potencial de geração elétrica do setor. Os primeiros sistemas com gaseificação de biomassa foram propostos por Ogden (1990) e, aqui no Brasil por Coelho (1992), esta realizou um estudo sobre a viabilidade técnico-econômica de sistemas BIG-GT e BIG-GTCC. Em 1994, Walter realiza uma comparação entre diferentes tecnologias para plantas de utilidades de usinas, entre elas os sistemas BIGCC, no cenário brasileiro. Já em Rodrigues e Walter (2001), encontram-se as primeiras tentativas de introduzir o gás natural em conjunto com a gaseificação de biomassa para geração de eletricidade. Outros trabalhos de sistemas combinados aplicados ao setor sucroalcooleiro, foram propostos por Leite (2003) e Zamboni (2005), nesses trabalhos propõe-se a introdução de uma turbina a gás na planta de utilidades, a fim de potencializar a geração elétrica e, aliada a este, uma caldeira de recuperação com queima adicional de bagaço, proveniente do processo de moagem da cana, para suprir uma certa demanda de vapor de processo, nesses sistemas não há gaseificação de bagaço. Com o objetivo de potencializar ainda mais a geração de eletricidade da usina por meio de processos mais eficientes, uma comparação entre diferentes configurações de plantas de utilidades é realizada por Zanetti, Oliveira Jr. e Pellegrini (2004) e têm-se como resultado que a introdução da gaseificação ao setor aumenta a quantidade de energia eletro-mecânica produzida, dos atuais 33 kWh/tc, para cerca de 100 kWh/tc (considerando apenas eletricidade). No entanto, utilizando a tecnologia de gaseificação na usina é necessário integrar esse processo à planta de utilidades de tal forma que a demanda de vapor da usina seja atendida. A fim de verificar quais os parâmetros

de operação do sistema BIGCC que não comprometiam o processo da usina Pellegrini et al (2005) estudaram esse sistema e verificaram que a usina somente poderia operar com gaseificação para quantidades de bagaço enviadas ao gaseificador inferiores a 45~50% do total de bagaço produzido pela usina e que a introdução da gaseificação na usina produz um incremento de 70 kWh/tc na produção de eletricidade da mesma. Nesse estudo foi verificado que para essas condições a gaseificação mostra-se em desvantagem quando comparada aos sistemas CEST (turbinas de extração-conservação), capazes de produzir a mesma quantidade de energia elétrica com custos menores.

Utilizando a ideia de aproveitar ao máximo o potencial de gaseificação da usina e, assim maximizar a quantidade de energia produzida pela turbina a gás, Zanetti, Pellegrini e Oliveira Jr. (2005) propõem a queima adicional de gás natural na turbina a gás para não só maximizar a produção de eletricidade, como também atender a demanda de vapor da usina para quantidades maiores de bagaço enviado ao gaseificador. Nesse sistema proposto, também chamado de sistema de “co-firing” os autores apresentam que com a queima do gás natural o potencial de geração de eletricidade é aumentado para 296 kWh/tc, chegando a ser quase 10 vezes maior que os atuais 33 kWh/tc (eletro-mecânica) da usina.

5. Estudo de caso: Usina Iracema

A fim de estudar os sistemas de co-firing para o setor sucroalcooleiro paulista, a configuração proposta na Figura 6 será aplicada à Usina de Iracema a fim de avaliar quais os principais resultados que esse tipo de sistema pode promover frente a dados de operação da configuração antiga, ou seja, considerando que a quantidade de cana a ser moída é próxima da mesma, ou seja, 20.000 toneladas de cana ao dia. Portanto, para operar um sistema de co-firing desse porte, a configuração deve ser baseada no modelo de turbina GT 24 da Alstom, onde a quantidade nominal de cana a ser moída para a condição de operação somente com gás produzido seria de 19804 toneladas de cana ao dia (ver Tabela 3).

Os principais dados de operação para esse sistema são apresentados na Tabela 3. Na Figura 7 é possível verificar o desempenho do sistema operando na condição com queima suplementar na caldeira de recuperação e sem queima suplementar na caldeira para diferentes quantidades de gás natural. Para a condição sem queima suplementar o sistema de co-firing só consegue atender a demanda de vapor da usina para vazões de gás natural acima de 4,6 kg/s (23000 Nm³/h), ou seja, valores abaixo desse o sistema não integra a usina.

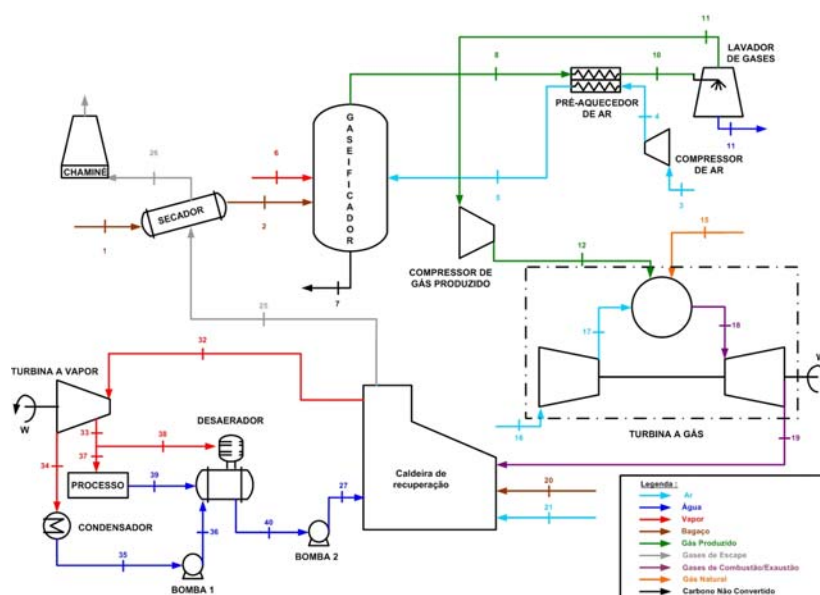


Figura 6. Sistema de Co-firing Proposto

Contudo, na situação em que a diferença entre a quantidade de bagaço de cana-de-açúcar da condição nominal e a de operação é queimada como combustível suplementar na caldeira de recuperação, o sistema de co-firing passa a atender a demanda de vapor da usina para valores a partir de 2,66 kg/s (13320 Nm³/h) de gás natural. Com isso, a vazão de vapor extraída na turbina a vapor no primeiro estágio é mantida a uma taxa de 550kg de vapor/tc e o excedente é utilizado num segundo estágio de condensação na turbina a fim de potencializar a geração de eletricidade no sistema a vapor. Um importante destaque a ser feito é que para vazões de gás natural acima de 4,6 kg/s, já não é possível queimar todo o bagaço de cana-de-açúcar, pois o oxigênio disponível na caldeira de recuperação já não é suficiente para essa queima.

Tabela 3. Principais dados de operação do sistema de co-firing baseado numa turbina Alston GT 24

% gás natural (base energética)	Temperat. de exaustão dos gases da turbina (°C)	Vazão de exaustão dos gases da turbina a gás (kg/s)	Consumo de gás produzido (kg/s)	Consumo de gás natural (kg/s)	Consumo de cana no gaseificador (tc/dia)	Consumo de cana para queima na caldeira de recuperação (tc/dia)
0.0	776	511.12	76.63	0.00	19804.01	0.00
0.1	784	505.52	70.18	0.86	18100.00	1704.01
0.2	793	499.72	63.49	1.74	16417.16	3386.85
0.3	801	493.71	56.57	2.66	14633.25	5170.76
0.4	811	487.48	49.38	3.61	12800.00	7004.01
0.5	821	481.02	41.93	4.60	10800.00	9004.01

Observando a Figura 8, pode-se notar que com o aumento da porcentagem energética de gás natural no sistema o rendimento exergético do sistema de co-firing aumenta. No entanto, quando se utiliza da queima suplementar na caldeira de recuperação, o rendimento exergético do sistema diminui isso devido às maiores irreversibilidades provocadas pela combustão do bagaço de cana-de-açúcar na caldeira quando comparadas a do gás natural e gás produzido na câmara de combustão da turbina a gás.

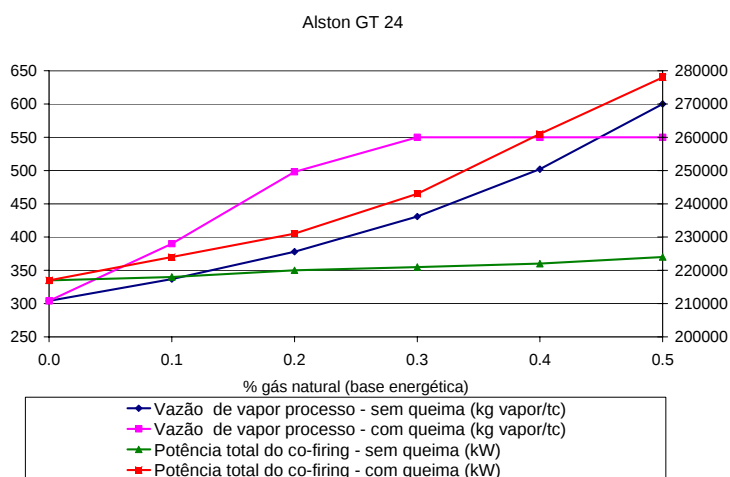


Figura 7. Desempenho do sistema baseado numa turbina GT 24

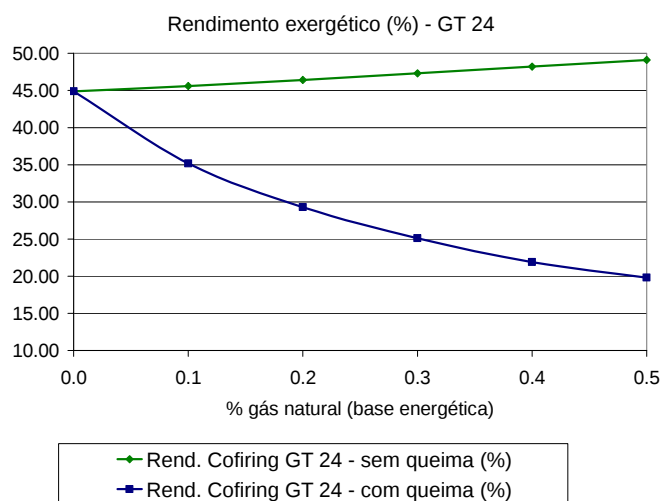


Figura 8. Rendimento exergético do sistema para turbina GT 24

6. Conclusões

Com os resultados obtidos é possível inferir que para se maximizar a potência elétrica do sistema é preciso comprometer o rendimento exergético do sistema. Isso ocorre porque as grandes irreversibilidades que ocorrem na queima do bagaço na caldeira (altas diferenças de temperaturas). No entanto, essa queima adicional potencializa a geração de vapor na caldeira de recuperação e, conseqüentemente a potência elétrica gerada por esse sistema a vapor.

No aspecto de geração elétrica, ao utilizar um sistema de co-firing, a usina deixaria de produzir os atuais 12MW e passaria produzir quase 280MW, com a queima adicional de bagaço.

Considerando que a estimativa da safra para o estado de São Paulo é de 282 milhões de toneladas de cana (CONAB, 2006), pode-se inferir que para o estado de São Paulo o potencial de geração de eletricidade baseada em sistemas de co-firing para uma safra de 7 meses é de 16.4 GW aproximadamente. Portanto, considerando que no período de entre safra a usina opere somente com gás natural e no período de safra opere com uma vazão de 23040 Nm³/h de gás natural, tem-se um consumo anual de gás de 305 milhões de Nm³ e uma geração de aproximadamente 130 TWh de eletricidade. Contudo, ao se analisar o cenário atual, onde a quantidade de gás natural disponibilizada pelo gasoduto Brasil-Bolívia é de 30 milhões de Nm³ por dia (1,25 milhões de Nm³ por hora), o gasoduto Brasil-Bolívia poderia atender a uma demanda de 55 sistemas de co-firing desse porte, considerando que todo o potencial do gasoduto fosse aproveitado para esse fim no período de safra. No entanto, no período de entressafra, no qual esses sistemas operam somente com gás natural, mantendo a mesma disponibilidade de gás natural, esse potencial seria de 24 sistemas de co-firing. Portanto, esses sistemas de co-firing podem não só aumentar o mercado consumidor de gás natural, como também o mercado de investimentos nesse setor, de tal forma a aumentar a sua oferta.

7. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro recebido e à Usina Iracema pelas informações técnicas fornecidas.

8. Referências

- BEN 2005 – Balanço Energético Nacional (ano base 2004), Ministério de Minas e Energia, 2005.
- CANASAT. Mapeamento de da cana via imagens de satélite de observação da terra. Acessado em Abril de 2005.
- CNI. Confederação Nacional da Industria. <http://www.cni.org.br>, acessado em Abril de 2005.
- COELHO, S. T.. Avaliação da cogeração de eletricidade a partir de bagaço de cana em sistemas de gaseificador/turbina a gás. Dissertação de mestrado. São Paulo. 1992
- COELHO, S. T.. Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Dissertação de doutorado. São Paulo. 1999.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>, acessado em Abril de 2005.
- CSPE. Comissão de Serviços Públicos de Energia. Disponível em: <http://www.cspe.sp.gov.br/>. Acessado em Abril de 2005.
- CEPEA/ESALQ. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/>. Acessado em Abril de 2005.
- Klein, S. A. 2005. Engineering Equation Solver.
- Ministério de Minas e Energia. <http://www.mme.gov.br>, acessado em Abril de 2005.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>, acessado em Abril de 2005.
- OGDEN, J.M., Hochgreb, S., and Hylton, M., 1990. "Steam economy and cogeneration in cane sugar factories", *International Sugar Journal*, 92(1099), pp. 131-143.
- Pellegrini, L. F., Zanetti, A. A., Zamboni, L. M., Oliveira Jr., S., Tribess, A.. "Integration of BIGCC based-systems to sugarcane mills" XVIII COBEM. 06 a 11 de Novembro de 2005 – Ouro Preto/MG.
- PETROLEO BRASILEIRO S. A. <http://www.petrobras.com.br>, acessado em Abril de 2005.
- ÚNICA. União da agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível em: www.unica.com.br. 2006
- Vian, C. E. F. Agroindústria Canavieira: estratégias competitivas e modernização. Campinas, SP. Editora Átomo, 2003.
- WALTER, A. C. S., Viabilidade e Perspectivas da Cogeração e da Geração Termoelétrica Junto ao Setor Sucroalcooleiro, UNICAMP (Tese de Doutorado). 1994.
- Zanetti, A. A., Oliveira Jr., S. "Avaliação comparativa de desempenho exergético de plantas de utilidades de usinas de açúcar e álcool". SIICUSP 2004. São Paulo/SP.
- Zanetti, A. A., Oliveira Jr., S., Pellegrini, L. F.. "O uso do gás natural na integração térmica de ciclos BIGCC à usinas sucroalcooleiras". XII CREEM. 22 a 26 de Agosto de 2005 – Ilha Solteira/SP.