

ECOEFIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO¹

Marcela Avelina Bataghin Costa²

Fernando Antonio Bataghin³

Adriano Augusto Barros Franci⁴

Tatiane Fernandes Zambrano Brassolatti⁵

RESUMO

A atividade sucroalcooleira no Brasil possui grande capacidade de cogeração energética, térmica e elétrica, potencialmente presente na biomassa residual. No entanto observa-se que não existe a preocupação devida com o investimento em tecnologias voltadas a busca da eficiência operacional nas unidades produtivas. Este trabalho apresenta uma proposta de estudo e implementação de uma ação que busca a redução do consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento e adução da água bruta destinada a atender as diversas etapas do processo produtivo da usina sucroalcooleira, proporcionando maior excedente dessa energia e a sua disponibilidade para ser comercializada junto ao mercado consumidor, tendo como consequência secundária, a minimização no desgaste dos equipamentos devido à otimização de seu tempo de operação. Aplicando-se noções básicas de engenharia hidráulica e elétrica, concomitantemente ao uso de novas tecnologias disponíveis atualmente no mercado, torna-se possível, com investimentos reduzidos e curtos períodos de retorno do capital comprometido, obter ótimos resultados financeiros e operacionais. Outro fator importante é a criação de um paradigma para a disseminação da cultura de utilização mais eficiente dos recursos disponíveis e subutilizados na planta industrial.

Palavras-chave: Energia; Setor sucroalcooleiro; Biomassa; Eficiência hidro-energética.

ABSTRACT

The sugarcane industry in Brazil has a large capacity for energy, thermal and electrical, cogeneration potentially present in the residual biomass. However, it is observed that there is no due concern with the investment in technologies aimed at the search of operational efficiency in the productive units. This work presents a proposal for the study and implementation of an action that seeks to reduce the consumption of electric energy in the system of pumping and adduction of raw water

¹ Recebido em 01/01/2017

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus de São Carlos. marcelavelina@hotmail.com

³ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. fernandobataghin@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de São Carlos. aabfranci@gmail.com

⁵ Instituto Federal de São Paulo. tatianefzb@uol.com.br

to meet the various stages of the production process of the sugar and alcohol plant, providing a greater surplus of this energy and its availability to be commercialized next to the consumer market, having as a secondary consequence, the minimization in equipment wear due to the optimization of its operating time. Applying the basic concepts of hydraulic and electrical engineering, concomitantly to the use of new technologies available in the market, it becomes possible, with reduced investments and short periods of return of the committed capital, to obtain excellent financial and operational results. Another important factor is the creation of a paradigm for the dissemination of the culture of more efficient use of available and underutilized resources in the industrial plant.

Key-words: Energy; Sugar and ethanol industry; Biomass; Hydro-energy efficiency.

INTRODUÇÃO

Até recentemente, a geração de energia nas usinas, destinava-se a atender apenas a demanda interna, não havendo o interesse na sua comercialização externa. Entretanto, com a evolução do *marco regulatório do setor elétrico*, as usinas passaram a observar com maior interesse a co-geração de energia e a eficiência de seu processo produtivo objetivando diminuir o seu consumo interno, permitindo que a energia excedente gerada pudesse atender uma crescente demanda por esse valioso insumo (COELHO, 1999).

Por isso, a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA), publicou a *Cartilha da Bioeletricidade*⁶, trazendo todas as características desse novo segmento energético. Uma grande evidência de sua enorme capacidade produtiva pode ser observada no potencial encontrado em uma tonelada de bagaço ou de palha que pode gerar 300 kWh e 500 kWh, respectivamente, para o sistema elétrico. Uma residência brasileira possui um consumo médio mensal de 150 kWh. Logo, com os resíduos produzidos em um hectare (10.000 m²), é possível abastecer oito residências pelo período de um ano. Segundo a UNICA, 2% de toda energia consumida no Brasil e 5% da energia consumida no Estado de São Paulo já é produzida através da queima da biomassa (UNICA, 2011).

As unidades produtivas sucroalcooleiras são praticamente auto-suficientes em energia, sendo 98% de sua demanda energética atendida pelo bagaço e os 2% restantes atendidos com óleo diesel, álcool, lenha, gasolina e a energia elétrica

⁶ A Cartilha da bioeletricidade é uma publicação da UNICA – União da Indústria de cana-de-açúcar e está disponível no site www.unica.com.br

comprada das distribuidoras. Assim, considerando a auto-suficiência, as diversas medidas capazes de aumentar a produção de energia elétrica promoveriam a importante função de geração de excedentes de energia para o setor elétrico. Devido a importância desse segmento, são necessárias novas tecnologias visando a eficiência hidro-energética em seus processos a fim de proporcionar um aumento do excedente de energia favorecendo a comercialização junto às concessionárias de fornecimento de energia elétrica (CORRÊA NETO, 2001, **apud** SOUZA, 2003).

A gestão tecnológica é fundamental para apoiar o processo de eficiência hidro-energética no setor industrial, principalmente, no segmento Sucroalcooleiro. Após a desregulamentação da agroindústria, a adaptação das usinas à demanda por novos mercados e energia tem exigido uma rápida reestruturação tecnológica. A iniciativa para esta adaptação depende da visão empreendedora e de grandes investimentos, sendo implementada por usinas que focam no gerenciamento das operações, direcionado as mudanças operacionais e organizacionais (PEDRO, 2004).

OBJETIVO

Este trabalho objetiva demonstrar o impacto positivo da implementação de ações de eficiência hidro-energética em usinas sucroalcooleiras, mesmo sob a ótica da falsa noção de abundância energética proporcionada pela cogeração decorrente da queima do bagaço residual disponível nas usinas.

METODOLOGIA

Para a condução deste trabalho foi feita uma revisão de literatura (livros, revistas, artigos) e uma revisão documental, através de documentos cedidos por uma empresa do setor, localizada na região de São Paulo.

Através dos dados levantados foram elaboradas as curvas do conjunto moto-bomba e da adutora, bem como a sobreposição dessas curvas, caracterizando a curva do sistema e o seu ponto de operação.

A análise dos dados coletados foi organizada em três etapas iterativas e contínuas: (i) Redução dos dados – processo de seleção, abstração e transformação dos dados em observações de campo; (ii) Apresentação dos dados – organização

dos dados, facilitando a interpretação pelo pesquisador; (iii) Delineamento e verificação da conclusão – identificação de padrões, possíveis explicações, configurações e fluxos de causa e efeito.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Produção de energia

Além da produção normal de energia, excedente desta pode ser comercializado com as concessionárias de fornecimento de energia elétrica, para atender a demanda local, minimizando os problemas de transporte, podendo ser redirecionado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação da geração e transmissão de energia elétrica, no Sistema Interligado Nacional (SIN) para atender deficiências localizadas. Existe outra possibilidade, que é a comercialização da energia através de parcerias diretamente com grandes indústrias que, além de serem grandes consumidores, exploram o segmento energético junto ao mercado consumidor (ONS, 2011).

Bagaço

Segundo Goldberg (2003), apesar das vantagens ambientais, sociais e estratégicas das energias renováveis, elas apresentam o problema da sazonalidade na disposição da matéria prima, porém, o bagaço pode ser armazenado para o período de entressafra. Além disso, o custo de geração de energia a partir de biomassa é inferior ao das outras fontes de energia renovável. O bagaço é o resíduo fibroso resultante da moagem de cana apresentando, em média, 50% de umidade, 2% de sólidos solúveis e 46% de sólidos insolúveis (fibra). Para cada tonelada de cana processada resultam cerca de 280 kg de bagaço. Esse valor é obtido pelo princípio do balanço de massa, e define que toda fibra que entra com a cana na moenda ou difusor é igual à quantidade de fibra que sai com o bagaço, podendo ser considerado um valor médio de referência (UNICA, 2006).

A produção de energia elétrica nas usinas sucroalcooleiras não visualizava um horizonte comercial, procurava apenas atender as demandas internas. Após o lançamento, pelo Governo Federal, do Programa de Incentivos às Fontes

Alternativas de Energia - PROINFA, que foi instituído pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, que tinha como principal objetivo a abertura e diversificação da matriz energética brasileira e a busca pela utilização de fontes renováveis de energia, provenientes da utilização dos insumos remanescentes do processo produtivo e de novas tecnologias, promoveram o interesse pela participação no Sistema Elétrico Interligado Nacional – SIN. E, também, pela assinatura do Protocolo de Kyoto, que é um instrumento internacional objetivando a redução das emissões de gases poluentes que entrou oficialmente em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, após ter sido discutido e negociado em 1997, na cidade de Kyoto – Japão. Ocorreu então grande busca por fontes alternativas de geração de energia, com grande ênfase a energia disponibilizada pelo setor sucroalcooleiro houve uma aceleração na busca por novas fontes de energia alternativas, principalmente as produzidas através da queima de palha e bagaço provenientes da produção sucroalcooleira (VELÁZQUEZ, 2006).

Existem metodologias especiais para promover o armazenamento do bagaço e da palha, para consumo no período da entressafra, desde que sejam dispensados cuidados adequados preservando suas características combustíveis. Tendo em vista que imensos galpões destinados ao depósito da cana estarão disponíveis na entressafra, o problema de estocagem estaria resolvido. A possibilidade de compactação do bagaço proporciona maiores alternativas de utilização desse combustível, a fim de atender os consumidores dessa energia (LEITE, 2011).

Segundo estudos de Fontes, Quirino e Okino (1989), a pirólise⁷ pode ser uma boa alternativa para a estocagem do bagaço de cana-de-açúcar. Com a implementação da nova tecnologia de policondensação energética, se obtém um carvão com baixos teores de cinzas e densidade inferior ao carvão da madeira. Pode ser transformado em pequenos tijolos, demandando menores espaços para o seu armazenamento. O processo de produção de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar é totalmente automatizado e inserido dentro da linha de produção

⁷ Pirólise é o processo onde a matéria orgânica é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas e ambiente desprovido de oxigênio. Apesar de sua definição esclarecer a necessidade da inexistência de oxigênio, vários processos ocorrem com uma pequena quantidade dele.

das usinas.

Segundo Dantas Filho (2009), após o processo de colheita e transporte da cana até a usina, ela passa por três moendas. O produto extraído na primeira moagem vai para a produção de açúcar, na chamada "moagem de 1ª linha". Já na segunda e na terceira moagens o produto extraído é destinado a produção do álcool combustível. O que resta da cana é o bagaço, que é levado por uma esteira até a caldeira que realiza a queima. Depois de passar pelas turbinas e geradores, o vapor produzido na queima gera a energia elétrica.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, com 514 milhões de toneladas na safra 2008/2009, que resultam em aproximadamente 129 milhões de toneladas de bagaço (ÚNICA, 2011). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, existe grande perda e subutilização da palha e do bagaço de cana-de-açúcar.

Apesar desta elevada produção de biomassa e de seu imenso potencial energético, a maioria das usinas e destilarias produz energia elétrica apenas para o consumo próprio, e a parte comercializada com as distribuidoras ainda é muito pequena. Perde-se dessa forma a maior parte do potencial energético da biomassa. A palha da cana-de-açúcar é queimada na própria lavoura, antes do corte, e o bagaço produzido nas usinas é desperdiçado em caldeiras de baixo rendimento. (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2011).

Nogueira *et al.* (1997) definem a cogeração como produção combinada de calor útil e energia elétrica a partir de uma única fonte de calor. O calor e a energia elétrica são amplamente consumidos no processo sucroalcooleiro sendo sua demanda proporcional ao desenvolvimento tecnológico implementado na usina. Segundo Olivério *et al.* (1987), para se obter maiores excedentes de bagaço, é necessário empregar equipamentos mais eficientes, a fim de reduzir as perdas..

O crescimento da produção de cana-de-açúcar no Brasil é embalado por alguns fatores importantes da economia nacional como o aumento da fabricação dos carros flex (bicomcombustível), a implantação de novas usinas e a ampliação das áreas de cultivo são fatores preponderantes nessa escala crescente

Observa-se que o potencial de produção de energia elétrica através da utilização de bagaço e da associação de bagaço e palha (palha + ponta),

potencializando essa produção. Abaixo, está representado um comparativo, tendo como referência, a safra 2008/2009, onde houve uma produção de 129 milhões de toneladas desse resíduo e 105 milhões de toneladas de palha:

- 129 milhões de toneladas de bagaço – 4406 mW de energia elétrica.
- 234 milhões de toneladas da associação (bagaço + palha) – 5448 mW

de energia elétrica.

Se uma residência de classe média possui uma demanda mensal de energia elétrica em torno de 100 kWh, apenas com a produção através da queima do bagaço, seriam atendidas mais de 44.000 residências; no caso da produção oriunda da associação do bagaço com a palha, essa quantidade chegaria a quase 54.500 residências.

O consumo de água no processo sucroalcooleiro

Segundo Tussi (2001), o consumo de água para fins industriais somente é menor que o consumo para irrigação, com 13 % do total ou 280 m³/s. As reservas de água do planeta se distribuem irregularmente, o Brasil detém 12% de água doce e 25% das águas doces frias disponíveis, tendo 112 trilhões de metros cúbicos (m³) de água doce no subsolo e 6% da população terrestre. Embora estes dados sugiram tranqüilidade quanto a disponibilidade dos recursos hídricos, é necessária a utilização responsável destes, haja vista, o atendimento, em primeira ordem, das necessidades da população e a sustentabilidade do setor agrícola-industrial do país.

Elia Neto (2008) evidencia o consumo industrial da água no processo sucroalcooleiro, direcionando grande parte do consumo para o processo produtivo industrial, ressaltando que o segmento agrícola do processo agroindustrial participa minimamente na amplitude do consumo em questão.

Os impactos provocados pelo setor sucroalcooleiro no meio físico aquático, ou mais especificamente no suprimento de água, são de natureza quantitativa e qualitativa, ou seja, pode vir a degradar os recursos hídricos pelo uso intensivo provocando escassez ou ainda pelo alto potencial de poluição pelas atividades agroindustriais e de uso do solo. Há uma idéia generalizada, entre as entidades ligadas aos recursos hídricos e ambientais, de que a agroindústria sucroalcooleira é uma grande consumidora de água, o que realmente procede, em face dos valores

históricos de captação que o setor utilizava no processo industrial, porém, não se aplicando à produção de cana, que diferentemente da maioria dos países produtores, no Brasil e principalmente na região canavieira do Centro-Sul, não se utiliza água para a irrigação plena dos canaviais.

Levantamento de dados do sistema e dos equipamentos

A adutora

Segundo Azevedo-Netto (1991), adutora é uma linha de tubulação de diâmetro superior, destinada a conduzir a água de um manancial qualquer, até o ponto de utilização ou tratamento. Neste caso, a adutora é de água bruta, pois, a água aduzida é *in natura*, ou seja, sem tratamento. Devido ao fato da adução ser realizada sem uma prévia purificação, muitos problemas podem ocorrer nesse sistema, como é o caso da sedimentação e da incrustação que são causados pelo acúmulo de material arrastados do manancial e presentes em suspensão no fluido, causando a redução do diâmetro interno dessa linha e conseqüente perda de carga com acentuada redução de vazão.

Com a finalidade de diagnosticar o grau de comprometimento dessa tubulação, foi necessário efetuar um levantamento através das técnicas da pitometria, com instalação de equipamentos de medição de pressão e vazão nos registros de derivação (TAP`s), localizados nos dois pontos extremos do trecho da canalização a ser estudada. Os medidores e registradores devem ser selecionados de acordo com o range de pressão a ser medido. Para pressões menores que 5,0 metros de coluna d'água (mca), utilizava-se manômetros tipo "U" com mercúrio, porém, devido a proibição da utilização desse líquido, foram adotados equipamentos eletrônicos de precisão que já estão disponíveis no mercado para esse fim (LAMON, 2005).

Segundo Lamon (2005), devem ser medidas a vazão e a pressão nos dois pontos pitométricos simultaneamente, com diferentes graduações nas válvulas até a situação de shut-off, ou seja, o fechamento total desse equipamento e registrados os dados. Essas pressões deverão estar relacionadas à geratriz superior da canalização, para tanto se recomenda que os manômetros sejam colocados na face superior da tubulação. A adutora de água bruta em questão, capta água do ribeirão

do Lageado, município de Avaré/SP, possui diâmetro de 300 mm e um comprimento de 410 m, confeccionada em ferro fundido e a pressão estática no recalque do conjunto moto-bomba é de 40 mca. O número que melhor indica o grau de comprometimento de uma adutora é o coeficiente de Hazen-Williams (coeficiente "C"), um número empírico, que identifica a situação interna dessa tubulação, indicando a necessidade ou não de uma intervenção como limpeza ou até mesmo, substituição.

O valor do coeficiente "C" é função do tipo de material, do tempo de uso e do diâmetro da canalização. Os valores padrão estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Valores padrão para o coeficiente de Hazen-Williams.

| Material dos Tubos | Novos | 10 anos de uso | 20 anos de uso |
|---------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| Aço soldado | 125 | 110 | 90 |
| Cimento Amianto | 140 | 130 | 120 |
| Ferro Fundido Revestido | 130 | 120 | 105 |
| Plástico | 140 | 135 | 130 |

Fonte: Manual de Hidráulica Azevedo-Netto (1991)

No entanto, é importante salientar que os valores citados no quadro acima podem variar para menos não apenas em função do tempo de uso, mas também por fatores como a qualidade e composição físico/química da água e, mais acentuadamente, para canalizações de menor diâmetro e que estão sujeitas a ação de acidez e dureza do fluido (AZEVEDO-NETTO, 1991).

O conjunto moto-bomba

O objetivo do sistema de bombeamento é coletar a água do reservatório inferior, ou reservatório de sucção, e transportá-la até o reservatório superior, ou reservatório de recalque, para tanto, é utilizada uma bomba centrífuga e um motor elétrico. A bomba centrífuga é uma das máquinas de fluxo radial mais comum. Este tipo de bomba apresenta dois componentes principais: um rotor montado num eixo e uma carcaça (voluta) que envolve o rotor. O rotor contém uma série de pás (geralmente curvas) arrançadas de um modo regular em torno do eixo, existe uma grande variedade de rotores, devido as mais diversas aplicações, podendo ocorrer a associação de rotores a fim de alcançar uma altura manométrica maior. Conforme o rotor gira, o fluido é succionado através da seção de alimentação da bomba e escoo radialmente para fora da bomba. Pás imprimem velocidade ao fluido, essas pás

estão localizadas no rotor, no tipo mais simples de bomba centrífuga, o fluido é descarregado diretamente na carcaça. O formato da carcaça (voluta) é projetado para reduzir a velocidade do escoamento que é descarregado do rotor (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

A função da bomba é fornecer a energia ao líquido (*potência hidráulica*), vencendo as resistências do encanamento, seus acessórios e o desnível entre os reservatórios. O motor é o responsável por fornecer energia à bomba (*potência mecânica*) que por sua vez, recebe energia de um sistema externo (*potência elétrica*). Na figura 1, estão demonstradas as potências aplicadas ao processo (Catálogo Técnico KSB).



Figura 1– Motor elétrico e bomba centrífuga
Fonte: Catálogo Técnico KSB

Para dimensionar adequadamente um conjunto moto-bomba, devemos conhecer os dados locais como desnível geométrico, comprimento da tubulação, vazão necessária para atender a demanda, peças e conexões. Os fabricantes fornecem as curvas dos equipamentos com a relação entre altura, vazão e rendimento para facilitar a especificação da bomba adequada (TSUTIYA, 1994)

Desenvolvimento da ação

Construção das curvas do sistema

Curvas do sistema são funções representativas da variação da altura manométrica com a vazão numa mesma canalização, sendo plotadas no mesmo gráfico e com mesma escala, a curva de desempenho do conjunto moto-bomba e a curva de perda de carga da adutora, ou seja, a representação gráfica da energia perdida durante o deslocamento do fluido ao longo da tubulação (essa perda de energia é provocada por atritos entre a água e as paredes da tubulação, devido à rugosidade da mesma), obtida a partir do levantamento do coeficiente “C” de Hazen-

Williams.

Através da elaboração da curva do sistema, pode ser verificado o ponto de trabalho da estação elevatória de acordo com dados coletados em cinco diferentes graduações da válvula (registro), até chegar ao “shut off” que é o ponto de maior pressão de operação do conjunto moto-bomba. As curvas de desempenho e a curva de perda de carga da adutora podem ser criadas em gráficos separados ou unificadas em gráfico único, possibilitando uma melhor visualização com a sua associação. Essas variáveis caracterizam as condições de funcionamento de uma bomba (AZEVEDO-NETTO, 1991).

A curva preliminar do sistema

Para levantar os dados em questão, utilizou-se um medidor eletrônico de parâmetros hidráulicos com registrador, denominado “maleta de série MDH 600” que é um equipamento projetado e montado especificamente para medição e registro simultâneo da pressão e vazão dos sistemas dinâmicos de um abastecimento. Por se tratar de um equipamento micro-processado, na sua função principal que é a medição de vazão, torna-se possível a sua reconfiguração para qualquer variável de engenharia, correlacionada com a vazão (LAMON, 2005).

De acordo com Lamon (2005), a plotagem da curva da tubulação descreve graficamente a energia necessária para ocorrer o transporte do fluido, elevando-o de um ponto ao outro. Na figura 2 tem-se a curva da tubulação em questão, nota-se que a pressão inicial é de 40 mca (pressão estática ou desnível geométrico) em que o conjunto moto-bomba está desligado. Uma situação hipoteticamente ideal (sem perdas) apresentaria uma linha horizontal.

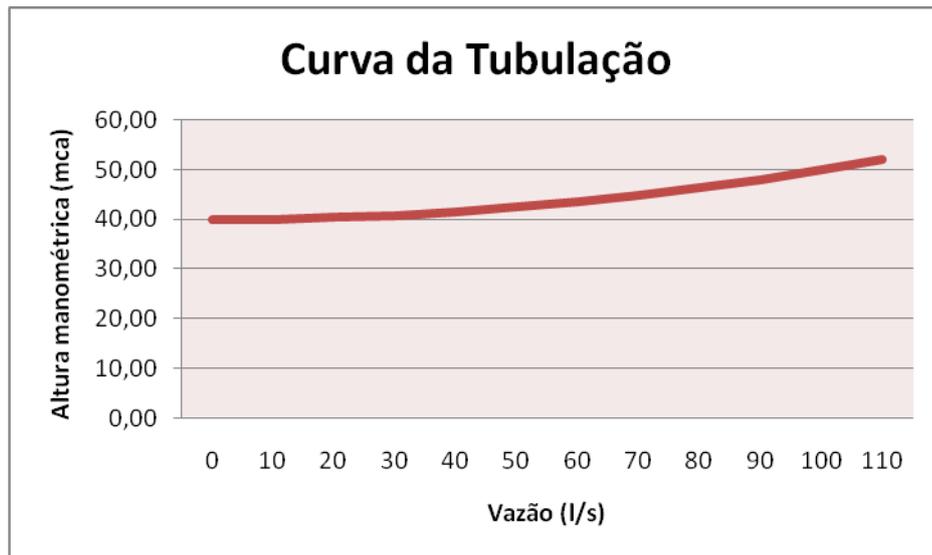


Figura 2 – Curva da tubulação anterior à limpeza

Fonte: Ramos, 2011

Com o levantamento pitométrico efetuado, determinou-se curva da bomba conforme demonstrado na figura 3.

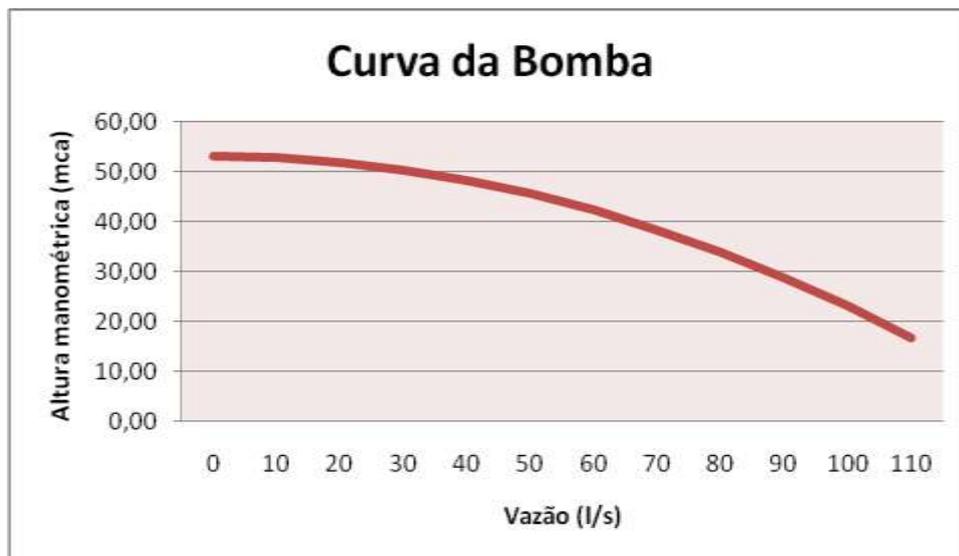


Figura 3 Curva da bomba anterior à limpeza

Fonte: Ramos, 2011

Com a sobreposição das curvas da tubulação e da bomba, é obtida a curva do sistema, onde são fornecidas a vazão e a pressão necessárias. A interseção das duas curvas define o ponto operacional de ambos, bomba e processo, e nesse caso, a vazão de operação do conjunto moto-bomba anterior à limpeza foi definida como sendo 52,44 l/s (189 m³/h), conforme mostra a figura 4.



Figura 4 – Curva preliminar do sistema
Fonte: Ramos, 2011

Após o levantamento pitométrico e plotagem dos dados em gráficos específicos, sobrepostos esses gráficos e determinado o ponto de operação, é definido o coeficiente de rugosidade da tubulação, através da fórmula de Hazen-Williams:

$$J = 10,643Q^{1,852} \times C^{-1,852} \times D^{-4,87}$$

Onde

Q - vazão (m³/s)

D - diâmetro interno do tubo (m)

J - Perda de carga unitária (m/m)

C - coeficiente que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos

Efetuada os cálculos, foi encontrado o valor empírico de 70 para o coeficiente de rugosidade, o que determina que esse sistema está operando com perda de carga muito acentuada pois, para uma tubulação com idade em torno de 20 anos, esse coeficiente deveria ser de aproximadamente 100, conforme estabelecido por Hazen-Williams.

Segundo o Manual Técnico Schneider, a perda de carga de um sistema é o atrito causado pela resistência da parede interna do tubo quando da passagem do fluido pela mesma e pode ser causada pelo movimento da água ao longo da tubulação, sendo uniforme em qualquer trecho da tubulação (desde que de mesmo diâmetro) e também, perdas causadas pelo movimento da água nas paredes internas e emendas das conexões e acessórios da instalação, sendo maiores quando localizadas nos pontos de mudança de direção do fluxo, não apresentam

uniformidade mesmo com o mesmo diâmetro da tubulação (SCHNEIDER, 2006).

A curva posterior do sistema

Por conveniência e facilidade de comparação entre as curvas preliminar e posterior (que somente é obtida após a ação de limpeza), antecipamos a apresentação da curva com redução da perda de carga proporcionada pela eliminação de grande parte da incrustação e sedimentação acumuladas na adutora. Pode ser observado o aumento da vazão e uma redução na pressão. Neste caso, também serão suprimidas as curvas da tubulação e do conjunto moto-bomba pois esses dados já estão plotados na curva de associação e foram exibidos no tópico anterior apenas para facilitar a compreensão da concepção do gráfico do sistema. O gráfico posterior a limpeza está representado na figura 5.

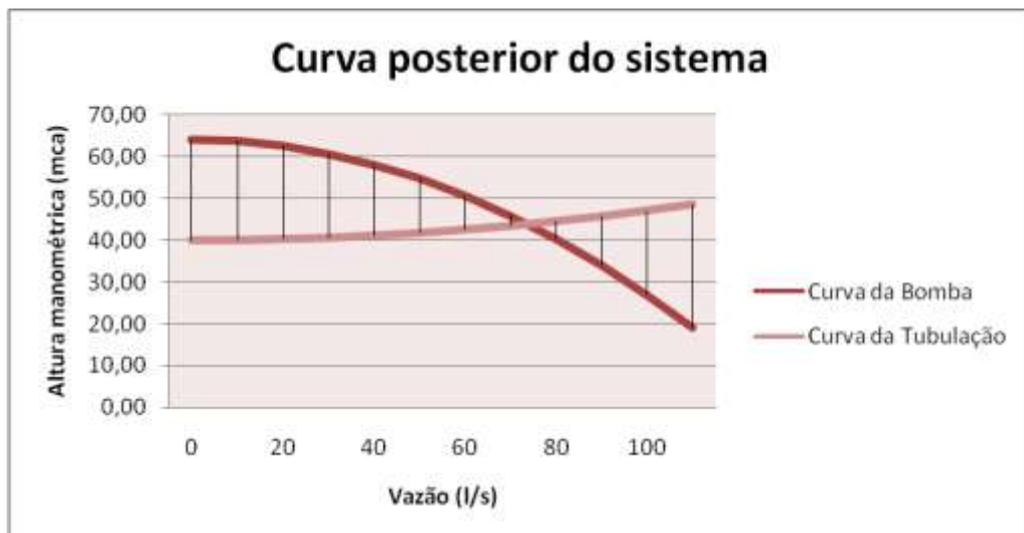


Figura 5 – Curva posterior do sistema

Fonte: Ramos, 2011

Conforme pode ser observado no gráfico acima, o ponto de trabalho do sistema foi deslocado para a direita, evidenciando que houve aumento da vazão e redução da pressão, pois a inclinação da curva da tubulação ficou menos acentuada, fatores que são essenciais para uma melhor eficiência na adução de água, proporcionando menor tempo de operação ou redução da potência dos equipamentos (adequação).

Limpeza da adutora

Com base na análise dos dados levantados “in loco” e descritos acima, a equipe de engenharia responsável pela ação, concluiu que uma limpeza seria altamente indicada, não havendo uma melhoria no seu coeficiente de rugosidade, a substituição dos tubos pode ser a única opção para resolver o problema.

Tsutiya (1994), apresenta uma descrição do melhor método e equipamento para a limpeza de tubulações. O método mais adotado para a limpeza dos tubos é o da passagem de equipamentos que removem as incrustações através de raspagem. A escolha do tipo da peça para efetuar a limpeza depende do material que caracteriza a tubulação e da incrustação existente. Nos tubos metálicos revestidos, tubos de PVC, concreto e fibrocimento, utiliza-se um PIG· equipamento dotado com fita de material abrasivo, para não danificar a parte interna da tubulação. No caso de tubos metálicos não revestidos emprega-se um PIG com escovas de aço, ou, ainda o raspador de arraste hidráulico. A utilização desses equipamentos tem a vantagem de praticamente, não interromper a operação normal da adutora, devido à rapidez de realização do serviço de limpeza. Além disso, seu custo é bastante reduzido, possibilitando ainda a execução por pessoal da própria empresa.

Após o seccionamento da tubulação e a inserção do PIG, o sistema é colocado em operação, propulsionando o dispositivo que percorre internamente todo o percurso da linha, raspando toda a incrustação, até ser expelido na outra extremidade, carregando consigo, todo o material removido da superfície interna da adutora. Deve haver um acompanhamento ao longo da tubulação através de monitoramento sonoro com a utilização de geofones, com a finalidade de levantar a exata posição do equipamento e evitar assim que ocorra a interrupção no seu curso, o que acarretaria uma parada na operação da usina (TSUTIYA, 1994).

Após a limpeza e a total descarga da tubulação, novo ensaio pitométrico foi elaborado constatando que o coeficiente “C” havia aumentado para 88, denotando que houve uma melhora no sistema de 25%, a vazão do conjunto moto-bomba passou para 64,06 l/s (230,6 m³/h), apresentando um aumento percentual de 22%.

Na usina estudada são processadas cerca de 180 toneladas de cana-de-
açúcar por hora e o consumo médio de água é de 1 m³/tc, tem-se uma necessidade diária de 4320 m³ de água, foram relacionados, na tabela 2, os resultados anteriores

e posteriores à intervenção, bem como, o tempo de operação do conjunto e o seu consumo de energia elétrica.

Tabela 2 – Dados do conjunto moto-bomba.

| | Demanda de água diária da usina (m³) | Vazão (m³/h) | Tempo diário de operação (h) | Potência do motor (kW) | Consumo de energia elétrica mensal (kWh) |
|------------------|--|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|
| Anterior | 4320 | 189 | 22,8 | 73,6 | 50342,4 |
| Posterior | 4320 | 230,6 | 18,7 | 73,6 | 41289,6 |

Fonte: Ramos, 2011

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nessa pesquisa revelam grande melhora no rendimento do sistema, possibilitando uma economia mensal de 9052,8 kWh para a usina estudada. Anualmente, seriam disponibilizados para o setor elétrico, somente com a implementação dessa ação na usina estudada, 72.422 kWh (já descontados os meses da entressafra), possibilitando atender sessenta residências de consumo médio. Considerando que a necessidade para a auto-suficiência no segmento sucroalcooleiro já está praticamente consolidada, a aplicação de novas técnicas proporcionariam o desenvolvimento da cultura da co-geração eficiente destinada a comercialização.

De acordo com os resultados obtidos nessa pesquisa, foi possível definir como índice comparativo o kWh/m³ possibilitando criar indicadores e promover acompanhamento constante da economia obtida, sendo o valor anterior de: 0,39 kWh/m³ e posterior de 0,32 kWh/m³.

Extrapolando os valores obtidos para a produção sucroalcooleira nacional, apenas com os resultados de uma única ação de eficiência hidro-energética aplicada, tem-se resultados realmente consideráveis e atrativos, ressaltando que o consumo de 1 m³/ton de cana é consumido em poucas usinas, podendo chegar até 5 m³/ton cana.

Abaixo, uma simulação tendo como referência a safra 2009/2010, onde deve ser observada a grande economia obtida, Quadro1.

1-558.000.000 Tc consomem em torno de 558.000.000 m³ de água
 2- 558.000.000 m³ água/ano x 0,39 kWh/m³ = 217.620.000 kWh/ano
 3- 558.000.000 m³ água/ano x 0,32 kWh/m³ = 178.560.000 kWh/ano
 Economia de 39.060.000 kWh/ano

Quadro1: Resultados**Fonte:** Elaborado pelos autores

Considerando o valor médio da energia elétrica de R\$ 0,22, haveria uma economia em torno de R\$ 8.000.000,00 apenas com a aplicação da ação proposta, desde que aplicadas regularmente. De acordo com estudos efetuados nos sistemas estudados, é necessário efetuar testes de eficiência do sistema de bombeamento de água das usinas anualmente, principalmente, em tubulações com mais de dez anos de uso. Podem ser analisados dados de vazão para identificar o momento de uma nova ação de limpeza, desde que esses dados estejam dispostos em planilhas ou indicadores para acompanhamento e gerenciamento.

Procurou-se derrubar antigos paradigmas e demonstrar, através de uma ação isolada, a possibilidade de redução no consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento de água bruta de uma usina e definir a real necessidade do estudo preliminar desse tipo de ação, com levantamento anterior e posterior para levantamento dos dados, uma análise completa e a definição das ações a serem tomadas, a fim de viabilizar economicamente e tecnicamente os serviços. Todo esse esforço favoreceria um aumento no excedente de energia elétrica possibilitando sua comercialização junto ao mercado energético. Em adição aos benefícios econômicos gerados por essa ação isolada dentro da indústria canavieira, esta representa um menor ônus ambiental quando da menor necessidade de recursos energéticos, possibilitando que eles não sejam gerados ou se gerados, possam ser aplicados a outras fontes produtivas.

Os conceitos básicos para o desenvolvimento deste trabalho, tais como as técnicas de medição e levantamento de dados estão em constante avanço tecnológico, podendo existir novas técnicas e equipamentos mais sofisticados e precisos. Entretanto, os resultados favoráveis permitem a continuação deste trabalho, seja por melhoramentos ou pela extensão do escopo do projeto. Assim

algumas propostas para trabalhos futuros devem ser estudadas. Como é o caso da adequação dos motores que podem ser substituídos por motores de menor potência ou por modelos mais eficientes, especialmente, os motores de alto-rendimento que proporcionam economia média de 10 % sem afetar sua eficiência. Outra ação interessante seria aplicada na partida dos motores, com a utilização de Software específicos, como é o caso do Soft Start, que proporciona maior estabilidade a corrente dos motores no momento inicial de sua operação. Outras soluções de menor impacto podem ser implementadas como a substituição e automatização das lâmpadas da usina por lâmpadas mais eficientes e fotocontroladas. Essas ações contribuem tanto para ganhos econômicos, quanto ambientais dentro do setor sucro-alcooleiro.

Cabe mencionar que existe um programa do Governo Federal que subsidia ações que tragam como resultado, a redução no consumo de energia elétrica ou a sua produção, como é o caso do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, coordenado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S/A promovendo a concessão de subsídios diretos ou indiretos para a implementação desses projetos e atividades.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 12 de julho 2011.

ANGOTTI, J.A.P. **Fragmentos e Totalidades no Conhecimento Científico e no Ensino de Ciências**. São Paulo: IFUSP, 1991.

AZEVEDO-NETTO, J.M.; ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica**. 7^a.ed. São Paulo, Blücher, 1991. v.1, 335p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanço energético nacional**. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 11 de julho de 2011.

BRAILE, P. M. e CAVALCANTI, J. E. W.A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. São Paulo, CETESB, 1993. 764p.

COELHO, A. C. **Medição de Água, Política e Prática**. Editora Comunicarte, 1996.

COELHO, S. T. **Mecanismo para implementação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa**: um modelo para o Estado de São Paulo, Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

DANTAS FILHO, Paulo Lucas. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. 175p.

ELIA NETO, A. **Aspectos ambientais da cadeia do etanol de cana-de-açúcar – Água na indústria de cana-de-açúcar**. Workshop projeto PPP (Centro de Tecnologia Canavieira), São Paulo, 2008

FONTES, P.J.P.; QUIRINO, W.F. e OKINO, E.Y.A. **Aspectos técnicos da briquetagem do carvão vegetal no Brasil**. Brasília, DF, 1989. 14p.

FRACI, A. A. B. Eficiência hidro-energética no setor sucroalcooleiro. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Tecnologia de Produção Sucroalcooleira, UFSCar, São Carlos, 2012.

GOLDBERG, J., **Meio Ambiente no Século 21**”, coord., A. Trigueiro, 2003.

INVESTE SÃO PAULO - Agência Paulista de Promoção de Investimentos e Competitividade. **Revista Valor Econômico**, Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br>>. Acesso em: 16 de julho de 2011.

KSB do Brasil, **Catálogo técnico - Bombas centrífugas**, Disponível em: <<http://www.ksb.com.br>>. Acesso em: 28 de julho de 2011.

LAMON, G. P. S. **Pitometria e macromedição nas empresas de saneamento**. 1ª Edição, Unigraf, 2005, p. 108 – 111.

LEITE, H. C. **Proamb Engenharia**. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br>>. Acesso em: 11 de julho de 2011.

MARCONI, M.A. e LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 1ª Edição, Atlas, 2007, 310p.

MELLO, C. R. e YANAGI JR, R. **Escolha de bombas centrífugas**. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 1999, p 2.

MICHINEL-MACHADO, J.L.M. e D’ALESSANDRO-MARTINEZ, A. *El Concepto de Energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje*. **Enseñanza de las Ciencias - Revista de Investigación y experiencias didácticas**. Vol. 12, n. 3, nov. 1994, p. 369- 380.

MUNSON, B. R., YOUNG, D. F. e OKIISHI, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. Tradução da 4ª Edição Americana, Blücher, 2004.

NOGUEIRA, L. A. H. e MARTINS, A. R. S., **Introdução à co-geração, oportunidades com a cogeração**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1997, p. 24.

OLIVERIO, J. L., ORDINE, R. J. **Novas tecnologias e processos que permitam elevar o excedente de bagaço das usinas e destilarias**. Brasil Açucareiro, Piracicaba, v 105, n 2 3, p. 54-89, 1987.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS), Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 29 de julho de 2011.

PEDRO, E. S. **Gestão tecnológica: um estudo de caso no setor sucroalcooleiro**. 2004.145 f. Dissertação (Mestrado), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

REVISTA VALOR ECONÔMICO, **Entrevista com o presidente da Rhodia Energy Services – Phillippe Rosier**. São Paulo, 2010

ROWLEY, J. e SLACK, F. **Conducting a Literature Review**. Management Research News, 2004, 31-39p.

SCHNEIDER. **Manual Técnico**. Disponível em: <<http://www.schneider.com.br>>. Acesso em: 10 de abril de 2012.

SOUZA, E. L. L. e MACEDO, I. C. **Etanol e Bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo, 2010.

SOUZA, Z. J. **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação**. São Carlos, 2003. Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos.

TSUTIYA, M. Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água e esgoto. **In. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), São Paulo, 1994, p. 2611-2625.

TUSSI, C. E. M. **Gestão de água no Brasil**. UNESCO, Brasília, 2001, 156p.

UNIAO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Etanol e bioeletricidade - a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. SOUZA, E. L & MACEDO, I. C (coord.). São Paulo, Luc Projetos de Comunicação, 2010.

UNIAO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Cartilha da bioeletricidade**. São Paulo, 2011z São Paulo, Plote. 2011.

VELÁZQUEZ, S. G. **Perspectivas para geração de excedente de energia elétrica no segmento de Papel e Celulose com a utilização de sistemas de**
Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 2, n. 4, p. 20-40, out-dez, 2017
ISSN: 2448-2889

gaseificação/turbina a gás. Tese (Doutorado), Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

VENÂNCIO, A. ***Escola Secundária D`Sancho II - Clube das energias alternativas (CEA)***. Disponível em: <<http://energiaprofuturo.blogspot.com>>. Acesso em: 27 de julho de 2011.