

Inversor de frequência e a sua contribuição para a eficiência energética em sistemas de bombeamento

EDUARDO DA COSTA SOUSA*
VICTOR DE PAULA E SILVA**

Devido à baixa eficiência dos sistemas de bombeamento existentes no setor industrial, este trabalho tem o objetivo de elaborar estratégias de ensaios em uma bancada de simulação para verificação dos potenciais de eficiência energética nestes sistemas. O estudo foi realizado no Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Uberlândia. Pela simulação foi verificado que o máximo de economia de energia obtida pelo uso do inversor de frequência para controle de vazão foi de aproximadamente 95%.

DIVULGAÇÃO



INTRODUÇÃO

As discussões em busca de soluções, para o atendimento da crescente demanda observada nos últimos anos, se tornaram mais evidentes após recentes crises do sistema energético com as quais o Brasil conviveu.

Uma solução mais econômica e de alcance imediato está na eliminação do desperdício de energia elétrica, ou seja, na implantação de programas de eficiência energética.

O bom momento econômico do país implica diretamente na ampliação do parque industrial nacional, reconhecido como o grande setor consumidor de energia elétrica.

Do total da energia consumida no país, estima-se, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) [2007], que aproximadamente a metade (44%) é consumida pelo setor industrial. Os motores destacam-se dentre as cargas elétricas de uma indústria representando até 60% do total de energia elétrica consumida na mesma [1].

Entre os processos que utilizam motores elétricos estão os sistemas de bombeamento hidráulico, que representam 18% da força motriz utilizada na indústria.

O presente trabalho tem como objetivo a realização de ensaios em uma bancada de simulação controlada via supervisor para comparação da demanda de potência elétrica em um sistema de bombeamento hidráulico, utilizando dois diferentes métodos de controle de vazão. Nestes dois métodos foi utilizado um motor de alto rendimento como acionador do sistema de bombeamento.

As medições foram feitas considerando os seguintes métodos para controle de vazão:

a) Motor de Alto Rendimento + Válvula Pneumática

b) Motor de Alto Rendimento + Inversor de Frequência

Portanto, o presente trabalho se mostra importante pelo fato de que os resultados aqui apresentados possam servir de subsídio para a realização de investimentos na utilização de acionamento eletrônico em sistemas de bombeamento no setor industrial.

CONSUMO E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

O crescente consumo de energia elétrica devido ao aumento da produção industrial exige um planejamento antecipado e a execução de políticas econômicas governamentais. Assim, essas políticas governamentais podem suprir a tempo as necessidades de expansão da produção de energia.

Segundo as metas estabelecidas pelo Procel (2007), caso seja mantida a estrutura atual de uso de energia elétrica, projeta-se uma necessidade de suprimento, em 2015, em torno de 780 [TWh/ano]. Caso os desperdícios sejam reduzidos, estima-se uma conservação anual de até 130 [TWh]. Uma das metas do Procel é a redução das perdas na transmissão e distribuição para um valor próximo de 10%. Juntamente com a adoção do Selo Procel espera-se um aumento médio de 10% no desempenho dos equipamentos que participam do programa.

O setor industrial é o setor da economia brasileira que possui o maior consumo de energia, com 44% desse consumo. Dessa maneira, também é responsável por grande parcela do desperdício da mesma.

Em todos os setores industriais a força motriz é predominante. Logo, os motores elétricos correspondem a 60% da eletricidade consumida na indústria.

Os sistemas de bombeamento são responsáveis por 18% da energia consumida por motores elétricos na indústria, sendo de grande importância a implementação de programas de eficiência energética neste setor.

O motor mais utilizado nos processos industriais é o motor elétrico de indução. Suas principais vantagens são: eliminação do atrito de todos os contatos elétricos, facilidade de se encontrar no mercado e grande robustez. A sua construção, bastante simples, permite a redução do preço final do produto, e ainda, possui uma gama bastante variada de aplicações.

EFICIÊNCIA EM MOTORES ELÉTRICOS

O motor de indução trifásico com rotor de gaiola de esquilo é largamente utilizado na indústria, correspondendo a 75% dos motores existentes no Brasil. Na indústria, devido à utilização de motores de maior porte, este número é seguramente maior, isso porque os 25% restantes constituem-se de motores menores que 1 [cv], monofásicos, com aplicações em equipamentos residenciais como geladeiras, ar-condicionado, máquina de lavar, entre outros.

Alguns dos fatores que influenciam o desempenho do motor de indução são: dimensionamento incorreto, desequilíbrio entre fases e variação da tensão de alimentação em relação a nominal. Outros fatores que influenciam diretamente no rendimento de um motor são: motor rebobinado, instalação inadequada, alimentação elétrica e manutenção.

A maior ocorrência da falta do uso efi-

ciente de um motor de indução é o seu superdimensionamento. O superdimensionamento ocorre, geralmente, pela falta de conhecimento sobre o ciclo de carga e os coeficientes de segurança.

Caso o motor trabalhe com baixos índices de carregamento, haverá a diminuição do rendimento a valores insatisfatórios. Segundo a empresa WEG (2010), a faixa de operação para a obtenção de um maior rendimento deve ser entre 75% e 100% da potência nominal.

Outro inconveniente do superdimensionamento é o baixo fator de potência. Quanto menor o fator de potência maior serão as correntes que circularão desnecessariamente pelo motor e pela rede. Além disso, alguns outros prejuízos podem ser citados: aumento do nível de corrente do circuito e o conseqüente incremento de perdas, queima de motores causada pela flutuação de tensão, sobrecarga de equipamentos, desgaste dos equipamentos de proteção e manobra, impossibilidade de instalação de novas cargas em transformadores carregados, e aumento de investimentos em condutores e equipamentos.

Como se pode perceber, as conseqüências de um baixo fator de potência implicam em uma grande quantidade de problemas. Portanto é visto que a correção do mesmo para valores mais elevados é de fundamental importância. Foi com esse intuito que, a partir de 1994, o Brasil passou a penalizar financeiramente empresas consumidoras que trabalhassem com fator de potência menor que 0,92.

Na figura 1(a) pode-se observar a relação existente entre rendimento e carga. Já na figura 1(b), observa-se a relação existente entre fator de potência e carga, em motores elétricos de indução.

ACIONAMENTO ELETRÔNICO

O acionamento eletrônico tornou-se uma alternativa atraente, quanto ao seu potencial significativo de conservação de energia, com os grandes avanços conseguidos por estudos na área de eletrônica de potência. O acionamento eletrônico pode ser usado tanto como método de partida (soft-starters) ou como método de controle de vazão (inversores), no caso de bombas centrífugas.

A energia elétrica distribuída no Brasil possui frequência de 60 [Hz]. Uma vez que a velocidade dos motores de indução trifásicos é proporcional à frequência das tensões e da corrente de entrada (e estes são alimentados diretamente pela rede), os motores de indução atendem suas cargas

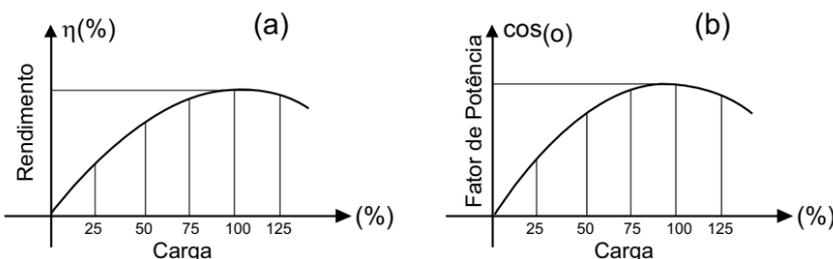


Figura 1 - Curvas típicas: (a) rendimento x carga; (b) fator de potência x carga

satisfatoriamente bem quando usados em aplicações à velocidade constante. Porém, em muitas aplicações, o controle de velocidade pode ser requerido e com isso, o acionamento eletrônico se apresenta com o intuito de satisfazer essa necessidade.

Além de garantir uma maior versatilidade ao motor de indução quanto ao seu controle, os acionamentos eletrônicos também são utilizados como forma de conservar energia elétrica.

O inversor de frequência pode ser usado para o controle de vazão em processos de bombeamento, substituindo os controles tradicionais de forma muito mais eficiente, tais como válvula de controle, by-pass e sistema on-off. Esses processos, largamente utilizados em indústrias, possuem potencial de redução de energia elétrica na ordem de até 30% teoricamente [2].

O avanço da eletrônica de potência nos últimos anos resultou no surgimento de novos equipamentos e de novas topologias, destinados a modernizar as técnicas convencionais de acionamentos elétricos para motores de indução. O soft-starter, por exemplo, vem como equipamento de substituição aos métodos tradicionais de partida (chave estrela-triângulo e compensadora) com muitas vantagens.

Os inversores de frequência são equipamentos muito utilizados, para a alimentação de motores de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo. Eles permitem um acionamento com velocidade variável, controlando a tensão e a frequência de alimentação dos motores.

A tecnologia dos inversores evoluiu proporcionando características de controle de velocidade e de torque em um motor de indução. O primeiro instante dessa evolução foram os conversores de frequência com controle escalar (controle da relação tensão/frequência - V/f) e chaveamento PWM (modulação por largura de pulso), e posteriormente, visando melhorar o desempenho dos conversores de frequência foi desenvolvido o modelo de controle vetorial que controlam a tensão e a frequência independentemente uma da outra.

O motor elétrico atende satisfatoriamente bem as exigências das aplicações à velocidade constante. Entretanto, muitas vezes é necessária a variação da velocidade dos motores, como por exemplo, na utilização de um ventilador de velocidades variadas.

Os inversores ajustam seus parâmetros de modo a manter o rendimento de um motor na condição nominal de carga ou próximo dela, portanto, o inversor adapta-se conforme as solicitações da carga acionada pelo motor.

A economia proporcionada pelo inversor de frequência é dada em função da redução da potência de entrada, do número de horas de funcionamento e do preço da energia elétrica.

SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Uma bomba é um instrumento capaz de transferir energia de uma fonte para um líquido, assim esse líquido pode realizar trabalho [3].

Objeto desse estudo, as bombas centrífugas são largamente encontradas em diversos ramos de sistemas de bombeamento devido a: facilidades de instalação, manutenção barata, flexibilidade de operação e investimento inicial baixo.

Alguns exemplos de aplicações: irrigação, sistemas de água gelada (ar condicionado), saneamento, indústrias químicas, petroquímicas, indústria açucareira, destilarias, circulação de óleo, entre outras diversas aplicações.

Uma bomba centrífuga pode operar a uma velocidade constante e produzir vazões que vão de zero até um valor máximo, dependendo do projeto da bomba. Diversas são as variáveis que dependem da sua capacidade, entre elas a carga total (H), a potência (P) e o rendimento (η).

A potência que a máquina entrega ao líquido é diferente da potência consumida por ela. Pode ser definida pela equação (1):

$$P_c = \frac{(\gamma \cdot Q \cdot H)}{(75 \cdot \eta)} \quad (1)$$

Onde:

- P_c – Potência cedida ao líquido [cv];
- γ – Peso específico do líquido [kgf/m³];
- Q – Vazão [m³/s];
- H – Carga da bomba [m];
- η – Rendimento da bomba.

A potência consumida da rede de energia elétrica por uma bomba centrífuga tocada por um motor elétrico de indução trifásico é dada pela equação (2):

$$P_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2)$$

Onde:

- P_e – potência elétrica consumida da rede por parte do motor de indução trifásico [W];
- V – tensão entre fases [V];
- I – corrente [A];
- cos φ – fator de potência do motor.

Dentre os fatores que influenciam na curva característica da bomba, cita-se a variação da viscosidade do líquido, entre outros. No entanto, baseado no enfoque do presente trabalho cita-se a variação de rotação da bomba como fator mais importante.

Para a variação de rotação tem-se a variação da vazão (Q), dada pela equação (3), da carga (H), dada pela equação (4) e da potência absorvida, dada pela equação (5).

$$Q = Q_1 \cdot (N/N_1) \quad (3)$$

$$H = H_1 \cdot (N/N_1)^2 \quad (4)$$

$$P = P_1 \cdot (N/N_1)^3 \quad (5)$$

Onde:

- Q e Q₁ – vazão obtida com a nova rotação e vazão antiga, respectivamente [m³/s];
- H e H₁ – carga obtida com a nova rotação e carga antiga, respectivamente [m];
- N e N₁ – nova rotação e rotação antiga [rpm];
- P – potência absorvida com a nova rotação [W];
- P₁ – potência absorvida nas condições iniciais (Q₁, H₁ e N₁).

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

A preocupação com a redução do consumo de energia em sistemas de bombeamento remete às recentes crises energéticas no Brasil. É motivada também, em escala mundial, seja pela necessidade da contenção de despesas operacionais e/ou pela tão difundida necessidade de redução dos impactos ambientais.

A utilização de variadores eletrônicos de velocidade para o acionamento de certos tipos de cargas industriais, dentre elas as bombas centrífugas, pode contribuir para

uma redução de aproximadamente 47 [TWh/ano] até 2015 na indústria europeia [4].

No Brasil, as empresas de saneamento têm na energia elétrica o seu mais alto custo operacional. Essa afirmação pode ser facilmente compreendida devido ao fato de que muitas plantas de distribuição de água apresentam perdas por vazamentos, bombas mal dimensionadas, além de enquadramento em estruturas tarifárias menos vantajosas economicamente.

Para ter-se uma ideia do alto consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento, cita-se que o maior consumidor desse insumo no Estado de São Paulo, o mais desenvolvido do país, é exatamente uma empresa de saneamento que abastece grande parte desse estado. Segundo dados da Eletrobrás (2007), mais de 2% do consumo total de energia elétrica do Brasil (aproximadamente 8,3 bilhões de kWh por ano) são consumidos por empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água. É importante ressaltar também que o aumento dos custos com energia elétrica dessas empresas geralmente é repassado ao consumidor através da inclusão no reajuste de tarifas de água, ou seja, as empresas certamente não absorvem todo o prejuízo vindo do desperdício de energia.

Dentre as possibilidades de redução do consumo de energia em sistemas de bombeamento hidráulico, a eficiência do uso do elemento acionador (no caso o motor elétrico de indução) pode trazer excelentes resultados.

As soluções apontadas como determinantes para a economia de energia nos sistemas de bombeamento são: substituição do motor standard por motor de alto rendimento, adequação da potência do motor à carga e utilização de inversores de frequência para controle de vazão.

A variação da velocidade dos motores em sistemas de bombeamento, para controle de vazão e pressão, representa excelente oportunidade para redução do consumo de energia.

A utilização de inversores de frequência em sistemas de bombeamento é viável quando o sistema apresenta condições de operação que necessitem de variação de vazão e pressão nas tubulações. Também quando há a necessidade do controle sobre a rotação, partida e desligamento do motor, com a finalidade de racionalizar o uso de energia elétrica.

ESTRUTURA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO

Os procedimentos práticos foram realizados no Laboratório de Eficiência Energética da Faculdade de Engenharia Elétrica

da Universidade Federal de Uberlândia, onde é possível simular diversas condições operativas de cargas comumente utilizadas pela indústria.

Neste laboratório consegue-se demonstrar em linhas práticas os fenômenos eletromecânicos envolvidos durante a operação de sistemas motrizes e suas influências no consumo de energia elétrica.

Todos os equipamentos e instrumentos utilizados nas diversas estações do laboratório são industriais – ou seja, não são equipamentos com fins exclusivamente didáticos, o que poderia comprometer a realidade e aplicabilidade dos estudos.

O sistema de acionamento completo é composto por: quadro de medição; e sistemas de automação e medição integrados, capazes de controlar automaticamente a execução, a coleta de dados e a emissão de relatórios.

Para acionar uma das cargas existe a opção pela utilização de um dos dois tipos de motores e um dos três diferentes métodos de partida que, acoplados à carga, possibilitam a visualização de várias formas de controle e operação de equipamentos industriais, sejam eles similares ou de maior porte.

A estação de ensaio possui uma bancada que inclui: motores (de alto rendimento e standard), inversor de frequência, soft-starter, módulo de carga, controlador lógico programável (CLP) e os equipamentos de acionamento e proteção tais como contatores, disjuntores, chaves, botoeiras e sinaleiros. Todos os parâmetros elétricos da entrada dos motores são medidos através desta bancada, que ainda armazena o sistema de aquisição dos dados mecânicos.

O equipamento responsável pela medição dos parâmetros elétricos de entrada dos motores é um medidor de energia multifuncional que faz registros dos valores de tensão entre fases, entre fase e neutro, frequência, correntes, potências (ativa, reativa e aparente) e fator de potência. Através do sistema supervisor é possível variar de 0 a 120% a carga nominal do motor elétrico, sendo que este último pode ser o standard ou de alto rendimento, dependendo do acoplamento à carga.

Ainda no sistema supervisor, pode ser escolhido o tipo de acionamento desejado, como abaixo.

- a) sistema de partida direta através de contatores;
- b) sistema de partida suave via soft-starter;
- c) sistema de partida eletrônica via inversor de frequência.

Os dois sistemas de partida eletrônica

cos, soft-starter e inversor de frequência, têm seus parâmetros definidos através do sistema supervisor.

A estação de simulação do Laboratório de Eficiência Energética utilizada neste trabalho foi a da Bomba Centrífuga. O sistema é composto de uma bomba centrífuga, sendo esta acionada por um motor de indução.

A bomba movimenta a água entre dois tanques de acrílico transparente, de 100 litros cada um. A altura geométrica da instalação é de 2 metros.

O Laboratório de Eficiência Energética foi fornecido com todas as configurações do sistema supervisor, a elaboração de telas gráficas, e os comandos a serem executados por ele – incluindo todos os parâmetros elétricos e mecânicos de cada estação, com telas específicas para cada elemento constituinte do sistema de medição, acionamento e carga, apresentando em tempo real todas as informações advindas dos sensores de sinais elétricos e mecânicos.

Para cada uma das estações existe uma tela principal no software supervisor, com o desenho esquemático do processo onde cada elemento (válvula, medidores, acionamento etc.) possui um link para abertura das telas de monitoração e configuração correspondentes. Além disso, os principais componentes possuem “animação” representando o funcionamento dos mesmos.

ENSAIOS REALIZADOS

A metodologia dos testes práticos foi baseada na realização de ensaios e medições dos parâmetros elétricos, mecânicos e hidráulicos do sistema de bombeamento.

Para efeito de comparação foram utilizadas características de consumo de água do sistema que foram repetidas para cada conjunto de “acionador + método de acionamento”:

- 1) Motor de Alto Rendimento + Soft-Starter;
- 2) Motor de Alto Rendimento + Inversor de Frequência.

Quando é citada a utilização do soft-starter como método de acionamento, deverá ser entendido que o controle de vazão é executado pela válvula pneumática. Quando é citado o uso do inversor de frequência este mesmo será o responsável tanto pelo acionamento quanto pelo controle de vazão (através da variação da frequência de operação).

Foram efetuadas as simulações abaixo com o sistema de bombeamento.

a) análise do sistema de bombeamento para faixa de vazão entre 0,1 e 3,1 [m³/h], utilizando como método de controle da

vazão a válvula pneumática; b) análise do sistema de bombeamento para faixa de vazão entre 0,1 e 3,1 [m³/h], utilizando como método de controle da vazão o inversor de frequência.

Para estas simulações, a válvula de controle ou o inversor de frequência ajustavam-se automaticamente para manter os valores de vazão (set-point) constantes. Os ajustes foram feitos na tela “PID” onde constam as variáveis abaixo.

- 1) P: controle proporcional (utilizou-se valor pré-definido de fábrica);
- 2) I: controle integral (utilizou-se valor pré-definido de fábrica);
- 3) D: controle derivativo (utilizou-se valor pré-definido de fábrica);
- 4) SP: Set-Point (valor desejado em [m³/h]);
- 5) PV: variável de processo (valor da vazão medida em [m³/h]);
- 6) MV: variável manipulada (abertura da válvula de controle em %).

Os dados das simulações foram anotados em tabelas, sendo salvos posteriormente no software Microsoft Excel 2010, onde foram elaborados os gráficos comparativos.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A presente análise tem o objetivo de obter uma visão geral do desempenho energético do sistema de bombeamento em toda a sua faixa de funcionamento. Isso permite que sejam visualizados os potenciais máximos e mínimos de economia de energia através das técnicas utilizadas.

A seguir são apresentados os resultados obtidos na comparação entre utilização de válvula de estrangulamento e de inversor de frequência.

A partir dos ensaios realizados no Laboratório de Eficiência Energética, observou-se a relação entre a potência elétrica demandada no motor e a vazão requerida pelo sistema, relação esta que pode ser verificada pelas equações (1) e (2).

Os testes foram feitos variando a vazão em uma faixa de 0,1 [m³/h] a 3,1 [m³/h], utilizando o controle automático tanto para a válvula quanto para o inversor de frequência, ou seja, de acordo com o set-point de vazão desejado, a válvula regulava automaticamente sua abertura e o inversor variava automaticamente a frequência de alimentação do motor.

A figura 2 ilustra a comparação entre os conjuntos testados para diferentes vazões. Como pode ser observado na figura 2, o uso do inversor de frequência reduz significativamente a potência elétrica utilizada, dependendo da vazão de trabalho

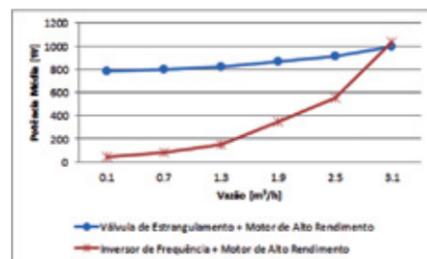


Figura 2 - Potência consumida: válvula x inversor de frequência

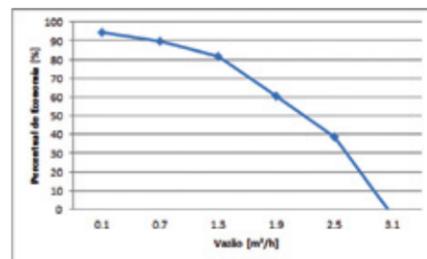


Figura 3 - Economia obtida pela utilização do inversor de frequência

do sistema de bombeamento.

A maior diferença observada foi de 738 [W] e foi registrada para a menor vazão 0,1[m³/h]. Entretanto, quando a vazão se aproxima do valor máximo possível para o sistema de bombeamento do Laboratório de Eficiência Energética, verifica-se que a potência com a utilização do inversor foi maior do que a potência com o uso da válvula.

Para a vazão de 3,1 [m³/h], a potência média com o uso do inversor foi de 1 035 [W] e com o uso da válvula foi de 999 [W]. Isso pode ser explicado pelo fato do inversor trabalhar com alta frequência de chaveamento e por isso a taxa de distorção harmônica torna-se mais elevada, o que contribui para o aumento da potência.

A figura 3 mostra a economia percentual proporcionada pelo uso do inversor em substituição à válvula para as vazões consideradas.

O comportamento decrescente da curva do percentual de economia de energia pode ser entendido pelo fato de que para vazões menores as perdas inseridas no sistema de bombeamento são maiores, quando utilizado o método de estrangulamento da tubulação através de válvulas. Por outro lado, quando é utilizado o inversor de frequência não ocorre esse problema, pois o motor é ajustado automaticamente para trabalhar em uma rotação suficiente para que aquela vazão seja atendida.

A economia percentual poderá ser levada em consideração em cálculos de viabilidade econômica de estudos direcionados ao investimento em variadores eletrônicos de velocidade, no caso o inversor de fre-

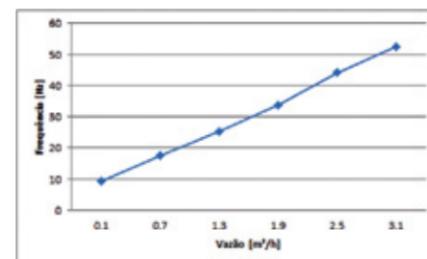


Figura 4 - Variação da frequência em relação à variação da vazão

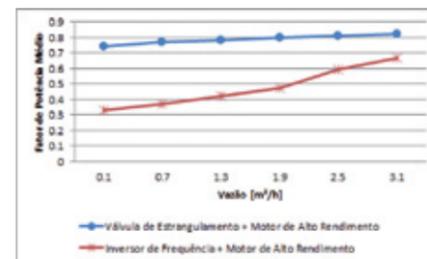


Figura 5 - Fator de potência: válvula x inversor de frequência

quência, já que os resultados poderão ser adaptados para motores de maior potência.

Com a utilização do inversor de frequência como método de acionamento e controle de vazão no sistema de bombeamento, também pode ser observada a variação da frequência de acordo com a variação da vazão.

A figura 4 ilustra a variação da frequência para os ensaios realizados com as diferentes vazões utilizando o inversor de frequência.

Analizando o gráfico da figura 4, percebe-se a característica linear da variação da potência em relação à variação da frequência e rotação da bomba. Essa característica linear é definida pela equação (3).

O fator de potência certas vezes pode representar um percentual significativo da fatura de energia em indústrias, pois a utilização majoritária de motores de indução contribui para que o consumo de energia reativa seja maior do que o previsto na Resolução nº 456 da Aneel.

Valores abaixo de 0,92 passam a ser tarifados pelas empresas concessionárias se não corrigidos, além de elevar bastante os custos com energia elétrica, limitam a possibilidade de ampliação do sistema elétrico de uma empresa devido à sobrecarga dos transformadores.

A figura 5 ilustra o comportamento do fator de potência para os dois conjuntos analisados.

Analizando a figura 5, pode ser observado que os valores, de fator de potência médio, situaram-se entre 0,3 e 0,8 para os dois conjuntos, durante todos os valores

de vazão analisados.

Conforme o esperado, para cargas menores o fator de potência manteve-se em níveis mais baixos. Com o aumento de carga o fator de potência também se elevou.

Com relação à comparação entre os dois conjuntos utilizados nesse trabalho, os resultados permitem algumas observações.

Primeiramente, que os melhores desempenhos foram observados quando da utilização da partida com soft-starter associada à válvula pneumática. Enquanto o conjunto que utilizou o inversor de frequência teve seus valores de fator de potência situados entre 0,3 e 0,7 durante toda a análise, o conjunto que utilizou “soft-starter + válvula pneumática” apresentou valores entre 0,6 e 0,8 na maioria das vazões consideradas. A alta frequência de chaveamento do inversor contribui para que o fator de potência global do sistema diminua. A avaliação da qualidade de energia não é o enfoque do presente trabalho. Entretanto, para se constatar a verdadeira relação entre as taxas de distorções harmônicas e o fator de potência, sugere-se para trabalhos futuros que seja feita uma análise minuciosa dos valores observados dessas duas grandezas.

Nota-se também uma tendência de aumento do fator de potência conforme a vazão também aumenta. Esse comportamento evidencia a importância do correto dimensionamento dos motores, pois com pouca carga a parcela de potência ativa se torna menor em relação à potência reativa (que não sofre alterações significativas devido à variação de carga).

Portanto, dentre os dois conjuntos analisados observou-se que o conjunto formado pela associação do motor de alto rendimento com acionamento através de soft-starter é o mais econômico em termos de energia reativa. Como em plantas industriais existe grande número de motores de indução, o fator de potência pode representar um custo alto na composição do valor final da fatura de energia elétrica de uma indústria.

CONCLUSÕES

Para as análises efetuadas observou-se que a economia proporcionada pelo uso do inversor de frequência foi de até 95% (valor obtido para a menor vazão) em relação ao uso da válvula pneumática.

Concluiu-se também que a utilização do inversor de frequência, apesar da economia de energia ativa proporcionada, reduziu o fator de potência do sistema. Enquanto o conjunto que utilizou o inversor de frequência teve seus valores de fator de

potência situados entre 0,3 e 0,7 durante toda a análise, o conjunto que utilizou a soft-starter associado à válvula pneumática apresentou valores entre 0,6 e 0,8 na maioria das vazões consideradas.

Para as simulações realizadas foi claramente vantajosa a utilização do inversor de frequência em substituição aos métodos tradicionais para controle de vazão. Entretanto, o percentual de economia obtido varia conforme a característica da carga e por isso cada situação deve ser analisada criteriosamente, para definir se a instalação desse tipo de equipamento é economicamente viável. Deve-se tomar o cuidado também de adotar medidas que compensem a diminuição do fator de potência proveniente da utilização de inversores de frequência, pois em uma planta industrial com vários motores os custos gerados com consumo excessivo de energia reativa podem ser altamente significativos.

Os resultados obtidos com os ensaios possibilitaram observar o grande potencial de economia de energia presente nos sistemas de bombeamento, sendo necessária a implantação dos inversores de frequência como métodos de controle de vazão em detrimento das válvulas pneumáticas.

* Eduardo da Costa Sousa é engenheiro electricista com Certificado em Sistemas de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Uberlândia E-mail: educosta.sousa@gmail.com

** Victor de Paula e Silva é engenheiro electricista com Certificado em Sistemas de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Uberlândia E-mail: vpaulasilva@gmail.com

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GARCIA, A. G. P. - Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria. 2003. 127 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.
- [2] PROCEL - Acionamento Eletrônico - Guia Avançado. Rio de Janeiro, dez, 2004b.
- [3] PROCEL - Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. Rio de Janeiro, p. 36-63, 2005.
- [4] ALMEIDA, A. T.; FERREIRA, F. J. T. E.; BOTH, D. - Technical and Economical Considerations in the Application of Variable-Speed Drives with Electric Motor Systems. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 41, p. 188-199, 2005.