



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO: UMA ANÁLISE DO CONTROLE DE VAZÃO DE ÁGUA ENTRE INVERSOR DE FREQUÊNCIA E VÁLVULA PNEUMÁTICA

José Júlio Morais Melazzo*¹, Fabiana Alves Pereira¹ e Sérgio Ferreira de Paula Silva¹

¹FEELT - Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - O presente estudo apresenta a análise de um sistema de bombeamento, abordando características físicas do sistema estudado, bem como métodos de controle que permitem diferentes métodos de controle de vazão de fluidos. O primeiro é o controle por válvula mecânica, a qual acarreta em maiores esforços mecânicos do sistemas, implicando em um maior gasto de energia elétrica. O segundo por sua vez, realiza o controle da velocidade do motor pela seleção da frequência do motor, que em comparação ao primeiro, apresenta maior economia de energia. Ademais, fatores como a seleção do tipo de motores elétricos no sistema, sensores com maior precisão, manutenção preventiva do sistema são artifícios que impactam na economia do sistema e serão abordados no decorrer do trabalho.

Palavras-Chave- Eficiência Energética, Sistemas Industriais, Sistemas Automatizados, Sistemas de Controle, Eletrônica de Potência.

ENERGY EFFICIENCY OF PUMPING SYSTEMS: AN ANALYSIS OF WATER FLOW CONTROL BETWEEN FREQUENCY INVERSOR AND PNEUMATIC VALVE

Abstract - This present study presents an analysis of a pumping system, addressing the physical characteristics of the studied system, as well as control methods that allow different methods of fluid flow control. The first is mechanical valve control, which results in higher mechanical stresses of the systems, resulting in a higher electricity consumption. The second, in turn, controls the motor speed by selecting the motor frequency, which in comparison to the first, presents greater energy savings. In addition, factors such as the selection of the type of electric motors in the system, more accurate sensors, preventive maintenance of the system are devices that impact on the system economy and will be addressed throughout the work.

Keywords - Energy Efficiency, Industrial Systems, Automated Systems, Control System and Energy Power System.

*josejuliomelazzo@ufu.br

I. INTRODUÇÃO

O setor industrial é um dos setores da economia brasileira com maior consumo de energia, com 31,7%, segundo o Balanço Energético Nacional de 2018/2019. Consequentemente, é também no setor industrial que se encontram os maiores desperdícios energéticos, dentre os quais se destaca o apresentado pelos sistemas motrizes.

Os motores são responsáveis pelo acionamento de diversas cargas mecânicas tais como moinhos, esteiras transportadoras, trituradores, bombas hidráulicas, ventiladores, tornos, compressores, etc. Sendo assim, o conjunto motor-carga, que representa o equivalente a 68,3% do consumo de energia industrial, possibilita uma gama de oportunidades voltadas à obtenção de melhores rendimentos e, por conseguinte, um melhor aproveitamento da energia suprida [1].

Dentre os diversos sistemas motrizes presentes na indústria, os sistemas de bombeamento são responsáveis por consumir 18% da energia no transporte de diferentes tipos de fluidos em uma indústria, sendo de grande importância para indústrias petroquímicas, farmacêuticas.

Os sistemas de bombeamento normalmente são acionados por comandos elétricos, que habilitam os motores elétricos de indução trifásicos, os quais já apresentam disposições construtivas que permitem maior rendimento do sistema [2].

No entanto, ainda existem práticas que se adotadas podem melhorar a eficiência energética nos sistemas de bombeamento. Sendo que eficiência energética de acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) nada mais é que um conjunto de ações diversas que culminam na redução da energia necessária para atender às demandas da sociedade, ou seja, atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto no meio ambiente [3].

Posto isto o presente trabalho tem por objetivo analisar o sistemas de bombeamento de uma forma geral, considerado a adoção de medidas que possam contribuir para a redução do consumo energético, sem afetar, contudo, o resultado do processo final.

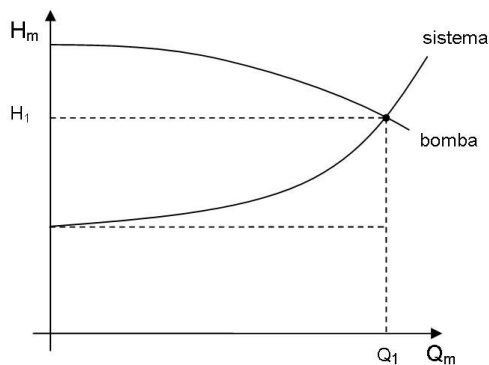
II. DESENVOLVIMENTO

A. Sistemas de Bombeamento

A bomba é um equipamento capaz de transferir energia de determinada fonte para um fluido, seja ele líquido ou não. Desse modo, um sistema de bombeamento é composto por equipamentos como motor de acionamento, condutos (linhas de sucção, linhas de recalque, joelhos, registros etc), válvulas (retenção e pé com crivo) e reservatórios (superior e inferior) que tem como finalidade transportar o fluido de um ponto a outro [4].

Como todo sistema, seu funcionamento apresenta resposta característica que pode ser descrita graficamente pela Figura 1. Dentre os fatores que influenciam na curva característica da bomba, cita-se a variação da viscosidade do líquido, quantidade de obstáculos impostos ao fluido, tipo de material dos condutos, entre outros.

Figura 1: Curva característica da Bomba e do Sistema Indicando Ponto de Operação.



A figura acima representa a curva característica típica de um sistema de bombeamento, cujo o ponto de operação é dado pela intersecção de duas curvas: a primeira delas é a curva que parte do ponto mais alto do eixo H (que corresponde a uma maior altura manométrica), sendo a curva característica da bomba centrífuga. A outra, é a curva do sistema como um todo, que parte do ponto mais baixo do eixo H.

A curva do sistema, ou curva de carga do sistema, indica que um aumento de vazão acarreta em uma solicitação maior de esforços para a bomba. É possível variar a curva do sistema alterando as pressões dos reservatórios, o diâmetro das tubulações e no número de obstáculos como joelhos e cotovelos (curvas de 90° e 45° na tubulação). Por outro lado, a curva da bomba é aquela que relaciona a energia fornecida por unidade de carga, ou seja, o quanto de energia a bomba consegue fornecer a cada unidade de carga do fluido.

B. Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento

O aumento do consumo de energia elétrica, em razão do consumismo acelerado, tem provocado a construção de mais indústrias nos mais variados setores, de modo que os sistemas de bombeamento tem grande presença no consumo dessa energia.

Como alternativas para reduzir este impacto, seria um conjunto de medidas bem definidas, voltadas a eficiência energética, que reduzam o desperdício de energia elétrica, consequentemente reduzindo os custos de operação de uma indústria ou companhia, mantendo-se os níveis de produção e da qualidade do produto final.

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

B.1. Motores de Indução Trifásicos

Um motor elétrico é um dispositivo que transforma a energia elétrica em energia mecânica, sendo utilizado para acionar diversas cargas, tais como bomba, ventiladores, compressores, esteiras transportadoras e outros.

Os motores se apresentam em vasta gama de modelos e características, podendo ser de corrente contínua ou alternada, monofásicos ou trifásicos, síncronos ou assíncronos [2]. Um dos modelos mais utilizados atualmente é o motor de indução trifásico (MIT) com rotor de gaiola de esquilo, correspondendo a 75% dos motores existentes no Brasil. Largamente utilizado na indústria, o rendimento deste motor chega a variar de 93,9% a 96,5%. A potência de um MIT pode ser obtida através da Equação (1) [5].

$$PD = \frac{2\pi * n * C}{60} \quad (1)$$

Onde:

- PD - Potência Demandada do Motor.
- n - Rotação Nominal da carga (RPM).
- C - Conjugado Nominal da Carga (Nm).

Sendo o rendimento do acoplamento dado pela Equação (2):

$$n = \frac{PD[kW]}{PM[kW]} \quad (2)$$

Onde:

- n - Rendimento do Motor.
- PD - Potência Demandada do Motor.
- PM - Potência do Motor.

Na indústria, devido à utilização de motores de maior porte, o rendimento é maior, isso porque os 25% restantes constituem-se de motores menores que 1cv, monofásicos, com aplicações em equipamentos residenciais como geladeiras, ar-condicionado, máquina de lavar etc [2].

Alguns dos fatores que influenciam o desempenho do motor de indução são:

- Dimensionamento incorreto;
- Desequilíbrio entre fases;

- Instalação inadequada;
- Variação da tensão de alimentação em relação a nominal.

Além disso, alguns outros prejuízos podem ser citados: diminuição da vida útil do equipamento, 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 [6]. 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.

B.2. Acionamento Eletrônico

O acionamento eletrônico tornou-se uma alternativa atraente, devido ao seu potencial significativo de conservação de energia. O acionamento eletrônico pode ser usado como método de partida (soft-starters) ou como método de controle de vazão (inversores), no caso de bombas centrífugas.

No Brasil, a frequência da rede é de 60Hz, e uma vez que a velocidade dos MIT 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 satisfatoriamente bem quando usados em aplicações à velocidade constante. Porém, em muitas aplicações, o controle de velocidade torna-se necessário, de modo que o acionamento eletrônico satisfaz essa necessidade além de proporcionar maior versatilidade ao seu controle e agir de forma direta na conservação da energia elétrica. Por essa perspectiva, o inversor de frequência se aplica diretamente ao controle de vazão em processos de bombeamento, substituindo os controles tradicionais [7].

B.3. Válvula Pneumática e a Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento

As válvulas pneumáticas são componentes vitais para o funcionamento adequado do sistema hidráulico, pois gerenciam o avanço e o retorno dos atuadores hidráulicos. Ao receberem um impulso hidráulico, pneumático, mecânico ou elétrico, permitem que o fluxo de fluido hidráulico pressurizado alimente determinado elemento consumidor (em geral, um atuador hidráulico). Além de gerenciar avanço e retorno de atuadores, elas podem controlar o fluxo do fluido hidráulico para os diversos elementos do sistema, evitar acidentes, automatizar e monitorar processos e operações repetitivas. A utilização de sistemas hidráulicos para automação e controle de processos é de grande importância tecnológica, sendo, deste modo, empregados atualmente em toda e qualquer área e setor industrial [8].

Existem ainda, válvulas de comando que controlam o fluxo de fluido hidráulico para diversos elementos do sistema, que permitem fluxo em apenas um sentido e as controladoras de

pressão [8]. Dentre as válvulas de comando, válvulas controladoras de vazão (ou de fluxo) que visam controlar a vazão do fluido hidráulico, podem ser divididas em dois tipos:

- Válvulas redutoras de vazão;
- Válvulas reguladoras de vazão.

B.4. Inversor de Frequência e a Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento

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.

Existem fatores que implicam modificações na curva característica da bomba, como a rotação, diâmetro do rotor, o fluido bombeado no sistema etc.

Os inversores tem como ofício, variar a frequência fornecida ao motor, de modo que a velocidade do motor seja controlada para obter a vazão necessária do sistema, ajustando seus parâmetros de modo a manter o rendimento de um motor na condição nominal de carga ou próximo dela, e não influenciando na curva do sistema, somente na curva da bomba. Portanto, o inversor adapta-se conforme as solicitações da carga acionada pelo motor, sem acréscimos de perdas ao sistema. 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 [6].

É visto que o controle de vazão é efetuado no inversor assim como na válvula pneumática, no entanto, será atestado a diferença de rendimento e consumo entre ambos os métodos. A seção subsequente apresentará um estudo experimental do impacto das medidas apresentadas em um sistema de bombeamento.

III. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO CONTROLE DE VAZÃO DE ÁGUA POR INVERSOR DE FREQUÊNCIA E VÁLVULA PNEUMÁTICA

A bancada da bomba do Laboratório de Eficiência Energética é fruto de uma parceria entre a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (FEELT) e o PROCEL para estudo de sistemas sistemas de bombeamento. Para comparar o ganho energético que a adoção de algumas medidas simples podem promover, adotou-se a seguinte metodologia:

- **Estudo da bancada de acionamentos elétricos:** Nesta etapa será feito um estudo acerca da bancada de acionamentos elétricos do Laboratório de Eficiência Energética onde encontra-se o sistema motor-bomba. Este estudo se divide entre a parte elétrica e eletropneumática, onde todos os equipamentos são analisados pontualmente de acordo com as informações fornecidas pelos fabricantes, posposto analisados de forma conjunta, podendo averiguar suas influências na operação do sistema. Tal conhecimento julga-se mister, para

caso ocorra qualquer disparidade nos dados obtidos, seja mais fácil e preciso a averiguação dos dados.

- **Controle e automação associado ao sistema:** Devido à estação de bombeamento ser totalmente automatizada, faz-se necessário o estudo dos elementos de controle constituintes do sistema de bombeamento, tais como Controlador Lógico Programável, redes de comunicação industrial e sistemas de supervisão serão abordados nesta etapa.
- **Realização dos Ensaios:** Serão realizados diversos ensaios para a obtenção de todas as curvas características do sistema e da bomba, bem como demais parâmetros relevantes relacionados a sistemas de bombeamento.
- **Análise dos resultados obtidos:** Nessa etapa será feita a análise do ponto de vista de eficiência energética, a partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, do sistema de bombeamento de maneira detalhada. Também será feito um estudo mediante a viabilidade de alterações que visem a otimização do sistema.

A. Bancada do Sistema de Bombeamento

A estação de ensaio inclui os seguintes componentes: quadro de medição, sistema de controle e sensoriamento, motores (de alto rendimento e standard de 1CV), inversor de frequência, soft-starter, módulo de carga, controlador lógico programável (CLP) e os equipamentos de acionamento e proteção tais como contadores, 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.

A Figura 2 mostra a bancada da bomba do Laboratório – cujos dispositivos estão detalhados na Tabela I.

Figura 2: Bancada do Sistema de Bombamento.



Tabela 1: Tamanhos e tipos de letras utilizadas no texto

Código	Nome	Descrição
P	Painel	Painel elétrico da bacada.
TB	Tubulação	tubulação de água em alumínio.
TQ-SUP	Tanque Superior	Reservatório de água Superior.
TQ-INF	Tanque Inferior	Reservatório de água inferior.
K7 e K8	Contadores Telemecanique	Título do trabalho.
CONV	Motor trifásico convencional	Título do trabalho.
A.REND	Motor trifásico de alto rendimento	Título do trabalho.
PIT-01	Sensor de Pressão	Detector dos valores de pressão do sistema.
FIT-01	Sensor de Vazão	Detector dos valores de vazão do sistema.
FV-01	Válvula Eletromecânica	Responsável for controlar a vazão por meio de sua abertura.
EN	Encoder	Responsável pela aferição do valor de velocidade em RPM.

A leitura dos dados foi realizada utilizando um medidor de energia multifuncional da marca Schneider Electric modelo PM850 série 800, 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 supervísório é possível variar 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 supervísório, pode ser escolhido o tipo de acionamento desejado, como abaixo:

- sistema de partida direta através de contadores;
- sistema de partida suave via soft-starter;
- sistema de partida eletrônica via inversor de frequência.

Os dois sistemas de partida eletrônicos, soft-starter e inversor de frequência, têm seus parâmetros definidos através do sistema supervísório. 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 supervísório, 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.

B. Ensaios

Os testes práticos foram baseados 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, sendo o motor de alto rendimento utilizado em ambos os testes.

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.

Para apresentar as diferenças entre os métodos de controle e a economia energia obtida no processo de substituição da válvula pelo inversor de frequência, os ensaios foram realizados como segue o plano descrito abaixo:

a) análise do sistema de bombeamento para faixa de vazão entre 0,4 e 3,2 [m³/h], variando de 0,4 [m³/h] e utilizando como método de controle da vazão a válvula pneumática. Nesta situação, o sistema de bombeamento foi acionado em condições nominais de tensão e frequência, de modo que todo o controle de vazão ficasse restrito ao acionamento da válvula de estrangulamento;

b) análise do sistema de bombeamento para faixa de vazão entre 0,4 e 3,2 [m³/h], variando de 0,4 [m³/h] e utilizando como método de controle da vazão o inversor de frequência. Nesta situação, a válvula permaneceu completamente aberta de modo que todo o controle de velocidade pudesse ser feito através da variação de velocidade do motor utilizando 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 (valor constante pré-definido);
I: controle integral (valor constante pré-definido); **D:** controle derivativo (valor constante pré-definido);

(2) SP: Set-Point (valor desejado em [m³/h]);

(3) PV: variável de processo (valor da vazão medida em [m³/h]);

(4) MV: variável manipulada (abertura da válvula de controle em %).

Com todas as variáveis selecionadas e o plano de ensaios seguidos, o resultados foram obtidos e estarão na próxima seção deste estudo.

IV. RESULTADOS

A partir dos ensaios realizados em laboratório e os resultados obtidos na comparação entre utilização de válvula pneumática e de inversor de frequência, observou-se a relação entre a potência elétrica demandada no motor e a vazão requerida pelo sistema. Os testes foram feitos variando a vazão em uma faixa de 0,4 [m³/h] a 3,2 [m³/h], variando de 0,4 [m³/h] e 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.

Tabela 2: Operação com Válvula Pneumática

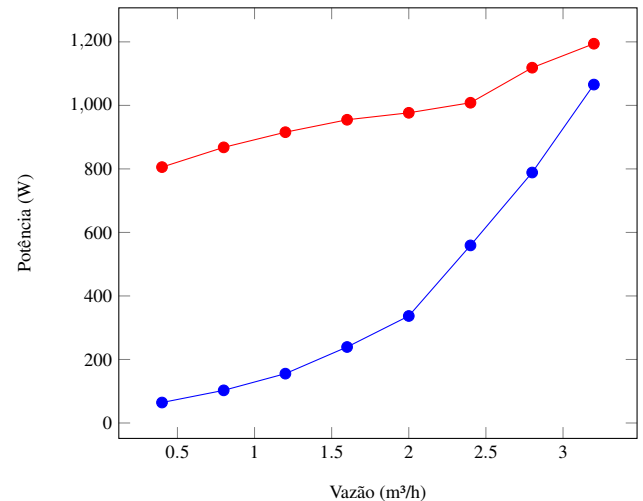
Q (m ³ /h)	Fr (Hz)	Vel (RPM)	PA (W)	FP
0,4	60	779	805,67	0,950
0,8	60	1056	867,85	0,926
1,2	60	1410	915,59	0,896
1,6	60	1779	954,71	0,902
2,0	60	2161	976,64	0,942
2,4	60	2583	1.008,32	0,958
2,8	60	3029	1.118,68	0,964
3,2	60	3340	1.194,15	0,972

Tabela 3: Operação com Inversor de Frequência

Q (m ³ /h)	Fr (Hz)	Vel (RPM)	PA (W)	FP
0,4	15	830	64,42	0,963
0,8	21	1220	102,75	0,938
1,2	26	1483	155,33	0,923
1,6	32	1850	239,24	0,952
2,0	38	2217	336,89	0,942
2,4	45	2620	559,14	0,954
2,8	53	3067	788,61	0,962
3,2	58	3316	1.065,54	0,952

Como pode ser observado nas Tabelas II e III, o uso do inversor de frequência reduz significativamente a potência elétrica utilizada, dependendo da vazão de trabalho do sistema de bombeamento. O gráfico de vazão em função da potência apresenta as curvas para a utilização do inversor de frequência e da válvula pneumática.

Figura 3: Curvas de Vazão em Função da Potência do Inversor de Frequência (Curva Azul) e Válvula Pneumática (Curva Vermelha).



Adotando o sistema didático utilizado no estudo, valores práticos como kW e tempo de operação em indústria suprida pela concessionária CEMIG, com Tarifa Azul, Grupo A, sub-grupo A3 (69kV), e com demanda ponta (das 17h até 20h, desconsiderando bandeira e valores ultrapassando a demanda de ponta contratada), é possível construir uma tabela enaltecendo a economia que pode ser feita no período de maior consumo durante o dia durante um ano, tudo isso mediante as práticas de eficiência energética citadas.

(a) kW: R\$ 20,16 [9];

(b) Tempo de Operação (h): 720 (tempo de operação

anual aproximado na ponta);

Tabela 4: Comparação entre Inversor e Válvula Pneumática e Consumo

Q (m³/h)	Método	PA (W)	kW (R\$)	Tempo (h)	Consumo Anual (R\$)
0,8	Inversor	102,75	20,16	720	1.491,44
0,8	Válvula	867,85	20,16	720	12.597,02
1,6	Inversor	239,24	20,16	720	3.472,62
1,6	Válvula	954,71	20,16	720	13.857,81
2,4	Inversor	559,14	20,16	720	8.116,03
2,4	Válvula	1008,32	20,16	720	14.635,97
3,2	Inversor	1065,54	20,16	720	15.466,53
3,2	Válvula	1194,15	20,16	720	17.333,33

Nota-se então, com os valores obtidos, uma grande economia quando adotado o inversor de frequência no controle de velocidade do motor, que por sua vez acarreta diretamente no rendimento da bomba centrífuga em operação. A Tabela V informa o quanto pode ser economizado no período de um ano.

Tabela 5: Economia Diante Utilização do Inversor de Frequência em Relação a Válvula Pneumática

Q (m³/h)	Método	kW (R\$)	Economia (%)	Economia (R\$)
0,8	Inv/Válv	20,16	88,16	11.105,58
1,6	Inv/Válv	20,16	74,94	10.385,19
2,4	Inv/Válv	20,16	44,55	6.519,94
3,2	Inv/Válv	20,16	10,77	1.866,80

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, vários aspectos foram demonstrados e suas influências no rendimento do sistema. Constatou-se que qualquer medida de efficientização pontual no sistema tem seu impacto econômico e operacional.

O método de controle por meio do inversor de frequência, sobressaiu-se diante do controle por válvula pneumática, por sua maior eficácia no controle de velocidade para o processo de bombeamento. Do ponto de vista de eficiência energética, a maior diferença observada foi de 760,26 [W] e registrada para uma vazão de 1,2 [m³/h]. Entretanto, quando a vazão se aproxima do valor nominal do sistema de bombeamento do laboratório, verifica-se que a potência com a utilização do inversor tende a se aproximar da potência de utilização da válvula. Para a vazão de 3,2 [m³/h], a potência média com o uso do inversor foi de 1065,54 [W] e com o uso da válvula foi de 1194,15 [W]. Essa pequena diferença pode ser explicada 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.

Do ponto de vista financeiro, o funcionamento do sistema com os diferentes métodos de controle traz consigo valores que no período de um ano, podem ser aplicados e investidos em diferentes setores da indústria, além de proporcionar um tempo de retorno do investimento no próprio sistema com me-

lhores motores, inversores cada vez mais tecnológicos e precisos e planos de manutenção preventiva do sistema.

Portanto, nota-se a importância do estudo de viabilidade de operação e a economia que é proporcionada à indústria somente pela adoção de métodos mais eficientes. Assim, em função da vasta possibilidade de estudo acerca de eficiência energética em sistemas industriais, como o de bombamento, buscase em trabalhos futuros a utilização de métodos e ferramentas computacionais, como algoritmos genéticos e o uso de inteligência artificial para melhoria do sistema. Esses métodos e ferramentas possibilitam a detecção de melhores pontos de operação, de acordo com as condições do sistema, visto que fatores externos influenciam na operação do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Parte 1 Energia no Brasil e no mundo, disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas-par1-cap1.pdf>>.
- [2] BARROS, Benjamin Ferreira; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo. Eficiência Energética: Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos - São Paulo: Érica, 2015. 152p.
- [3] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (2011). Plano Nacional de Eficiência Energética - PNEf. Premissas e Diretrizes básicas.
- [4] PROCEL - Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. Rio de Janeiro, p. 36-63, 2005.
- [5] 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
- [6] FRANCHI, Claiton Moro. Acionamentos Elétricos -5ª ed. São Paulo: Érica, 2014.
- [7] PROCEL - Acionamento Eletrônico – Guia Avançado. Rio de Janeiro, dez, 2004b.
- [8] FIALHO, A.B. Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 6. ed. São Paulo: Érica, 2014.
- [9] CEMIG. Cemig, c2019. Valores de Tarifas e Serviços. Disponível em:<<https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores-de-tarifa-e-servicos.aspx>>. Acesso em: 13 de ago. de 2019.
- [10] Plano Nacional de Conservação da Energia Elétrica - PROCEL. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/docs/Procel-rel-2018-web.pdf>>. Acesso em: 13 de ago. de 2019.