



Análises de Eficiência Energética em Métodos de Controle de Vazão

Ronaldo R. B. de Aquino
UFPE
rrba@ufpe.br

Zanoni D. Lins
UFPE
zdl@ufpe.br

Pedro A. C. Rosas
UFPE
prosas@ufpe.br

Luiz F. A. Cordeiro
UFPE
filipecordeiro@gmail.com

Jorge R. C. Ribeiro
UFPE
jorgercristeibeiro@gmail.com

Isabela A. Tavares
UFPE
isabela_tavares@yahoo.com.br

Priscila S. Amorim
UFPE
priamorim2@yahoo.com.br

PALAVRAS CHAVE:
eficiência energética, redução do consumo de energia elétrica, sistemas motrizes industriais.

DADOS DA EMPRESA:
Nome: LEEQE - DEESP - UFPE
Endereço: Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n
Telefone/fax: (81) 21268985
E-mail: rrba@ufpe.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a descrição de ensaios realizados em bancadas didáticas dos sistemas motrizes industriais montados no LAMOTRIZ, parte integrante do Laboratório de Eficiência Energética e Qualidade de Energia – LEEQE do Departamento de Engenharia Elétrica e Sistemas de Potência – DEESP da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Os ensaios executados mostram a comparação entre a utilização do método de estrangulamento de fluxo e a utilização de inversor de frequência para o controle da vazão em sistema hidráulico e em sistema de ventilação. O enfoque principal destas comparações é mostrar a economia de energia elétrica obtida com utilização de inversor de frequência ao invés de estrangulamento de fluxo, através de válvula ou “damper”.

1. INTRODUÇÃO

No meio industrial, em sistemas hidráulicos e de ventilação, é prática comum a utilização de métodos mecânicos de controle de vazão baseados em estrangulamento do fluido. Esta prática, apesar da fácil operacionalidade, resulta em significativo aumento das perdas mecânicas proporcionadas pelo estrangulamento e também em um maior desgaste dos equipamentos envolvidos.

Em sistemas de bombeamento, existem diversas formas de se aumentar a eficiência energética, conforme apresentado em (1,2). De maneira resumida, pode-se citar: a seleção do conjunto motor-bomba mais apropriado ao sistema; a associação de bombas, seja em paralelo ou em série; e o ponto apresentado nesse artigo, que consiste na redução do consumo de energia através da utilização de inversores de frequência na alimentação de conjuntos de moto-bombas. De maneira similar, em sistemas de ventilação/exaustão, também existem diversos fatores que podem influenciar o

desempenho eletro-energético (3). Dentre estes fatores pode-se citar como os mais importantes: a seleção mais adequada do conjunto motor-ventilador para o sistema; o local da instalação do conjunto também tem influência na eficiência do sistema; e, assim como para sistemas de bombeamento, a utilização de inversores de frequência também tem sido indicada como uma opção muito apreciada na redução da demanda e na conseqüente redução do consumo de energia para execução de um mesmo trabalho.

Este trabalho apresenta a aplicação de técnicas de aumento da eficiência energética através da aplicação de inversores de frequência para o controle da vazão de fluidos, já sendo apontado há algum tempo como uma boa solução na eficiência energética em sistemas industriais. O trabalho apresenta comparações de demanda de motores elétricos acionando bombas de água e ventiladores industriais no intuito de controlar a vazão de fluidos, seja utilizando o método convencional de estrangulamento de válvulas ou através do uso de “*damper's*” utilizando técnicas de controle com inversores de frequência onde o motor elétrico tem sua frequência ajustada para atender a uma vazão específica.

Os experimentos são realizados no LAMOTRIZ, um laboratório especificamente desenvolvido para investigar a eficiência de sistemas motrizes, e faz parte de um projeto de pesquisa para avaliar diferentes condições de se melhorar a eficiência elétrica de parques industriais. No laboratório existe a disponibilidade de três sistemas industriais mais comuns: sistemas de compressores de ar, sistemas de bombeamento de fluido e sistemas de ventilação/exaustão. Cada um desses sistemas possui diversas opções de operação e controle. Foram escolhidas as formas de controle de fluxo de ar e de vazão de fluido em sistemas de bombeamento para a realização deste trabalho.

O sistema de bombeamento possui diferentes opções de controle de vazão, e foram utilizadas duas opções:

- Controle através de uma válvula de estrangulamento na saída da bomba;
- Controle através de um inversor de frequência na alimentação elétrica do conjunto moto bomba.

No sistema de ventilação/exaustão somente duas opções de controle estão disponíveis:

- Controle através de um sistema de estrangulamento na saída do ventilador através de um equipamento também chamado de “*damper*”;
- Controle através de um inversor de frequência na alimentação elétrica do conjunto moto ventilador.

Com as diferentes opções de controle disponíveis, foram realizados experimentos em regime permanente para caracterizar cada sistema em alguns parâmetros. O principal parâmetro avaliado é a demanda elétrica dos sistemas em cada opção de controle de vazão/fluxo para diferentes opções de carga (vazão exigida pelo sistema). Então, foram avaliadas as operações em regime permanente dos sistemas para acompanhar uma demanda de um sistema de bombeamento e de ventilação criadas no próprio laboratório para avaliar o atendimento dessas demandas em função do tempo e da precisão dos instrumentos.

No artigo também são realizadas considerações sobre a aplicação desses resultados para sistemas diferentes tanto hidráulicos como de ventilação/exaustão que possuam diferentes características e/ou aplicação. As considerações indicam que se pode generalizar as conclusões para as diferentes aplicações existentes na indústria conforme pode ser verificado nas conclusões.

2. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos, foi desenvolvida uma metodologia que envolve desde as opções de controle de vazão à definição dos pontos operacionais. O primeiro passo para o desenvolvimento das medidas experimentais foi determinar as opções de controle disponíveis e caracterizá-las de maneira apropriada.

Para o sistema de bombeamento, existe a opção convencional de controle da vazão através do uso de válvulas controláveis que permitem uma variação de 0 a 100% de sua abertura. A precisão dessas válvulas permite um controle de posição de 0,1%. Essa válvula opera na posição de 0 a 100% relacionada com 0 a 100% de vazão, caracterizando assim a válvula de estrangulamento.

Para o sistema de ventilação, existe também uma opção convencional de controle do fluxo através do uso de uma válvula controlável que permitem uma variação de 0 a 100% de sua abertura, na saída do ventilador. A precisão dessas válvulas permite um controle de posição de 0,1%. Nessa válvula, a posição de 0 a 100% está relacionada com 0 a 100% de vazão diretamente, caracterizando assim a válvula de estrangulamento.

Em ambas bancadas ainda existe a possibilidade de se controlar a vazão através de inversores de frequência, foco deste artigo.

Tanto na bancada de bombas, quanto na bancada de ventiladores, os experimentos foram realizados estrangulando-se o fluxo, via válvula/“damper” a 30%, 50% e 70%. Posteriormente, novas medições foram realizadas com o inversor de frequência com o objetivo de manter a vazão nos mesmos valores obtidos anteriormente. Desta forma, o experimento se torna válido e assim, podem ser feitas comparações de potência consumida e pressão a que o sistema fica submetido.

Nos ensaios realizados na bancada de bombas, utilizou-se a bomba do fabricante KSB, modelo MEGANORM 25-150, com vazão e pressão nominais de 250 m³/h e 30 mca, respectivamente. Na bancada de ventiladores utilizou-se, durante os ensaios, o ventilador do fabricante Berliner Luft, modelo BSS 160-3, de potência e vazão nominais 0,77 kW e 1150 m³/h. O motor utilizado nas montagens motor-bomba e motor-ventilador é do fabricante WEG, do tipo alto rendimento, com as seguintes características nominais: 1,1 kW/1,5 CV, 220/380 V, 4/2, 32 A, rendimento 83%, fator de potência 0,87 e velocidade 3400 rpm.

3. RESULTADOS

3.1 Sistema de Bombeamento

3.1.1 Válvula Estrangulada em 30%

Iniciaram-se as comparações fazendo os experimentos para a válvula 30% estrangulada.

Observa-se na Figura 1 a comparação entre as vazões com a válvula estrangulada e com o uso do inversor de frequência.

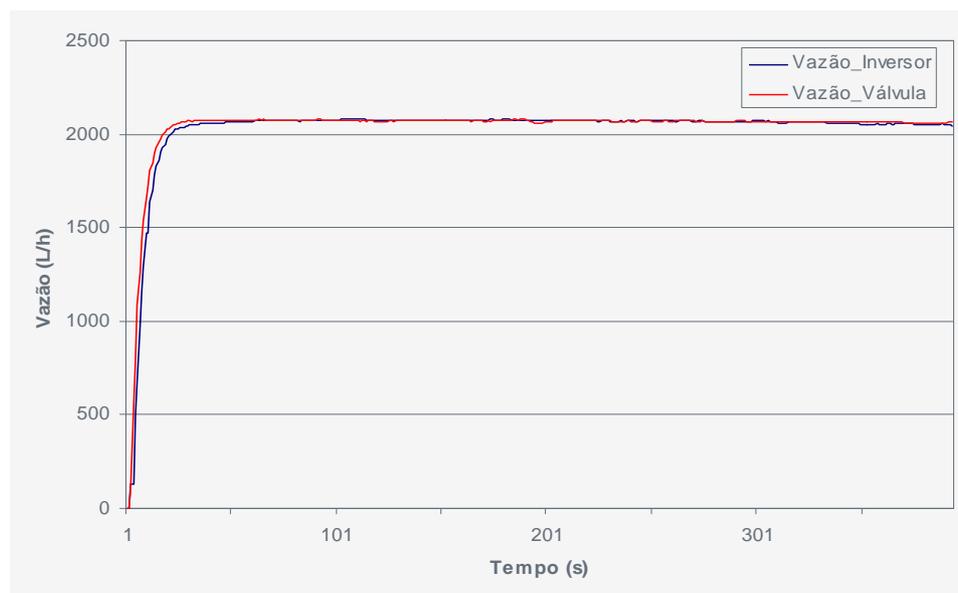


Figura 1 Vazão com a válvula 30% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

Na Figura 1, tem-se a confirmação de que as vazões se mantiveram em valores bem próximos nas situações de utilização do inversor de frequência e da válvula estrangulada. Desta forma, o experimento é validado.

De acordo com a Figura 2, na condição de regime permanente, observa-se uma potência consumida de aproximadamente 1220 W com a utilização do estrangulamento da válvula a 30% e uma potência consumida de cerca de 1150 W com a utilização do inversor de frequência. Isto representa uma redução no consumo de energia elétrica da ordem de 6% quando se utiliza o inversor ao invés do estrangulamento da válvula.

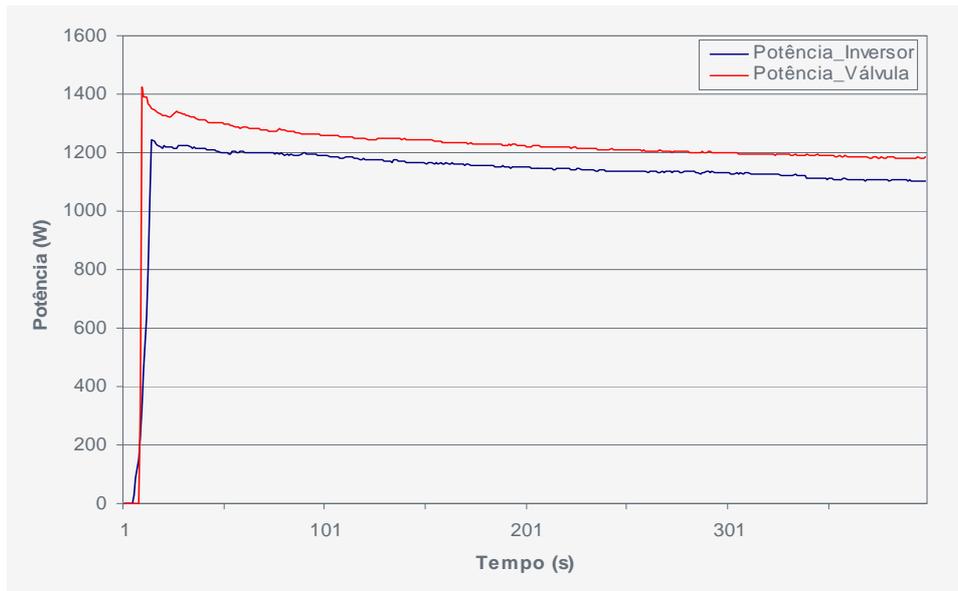


Figura 2 Potência Ativa com a válvula 30% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

É importante frisar que, procurou-se calcular a economia de energia no regime permanente, entre 100s e 350s, desprezando os transitórios de partida.

Na Figura 3 é feita uma comparação entre as pressões utilizando o inversor ao invés de válvula estrangulada para o controle da vazão.

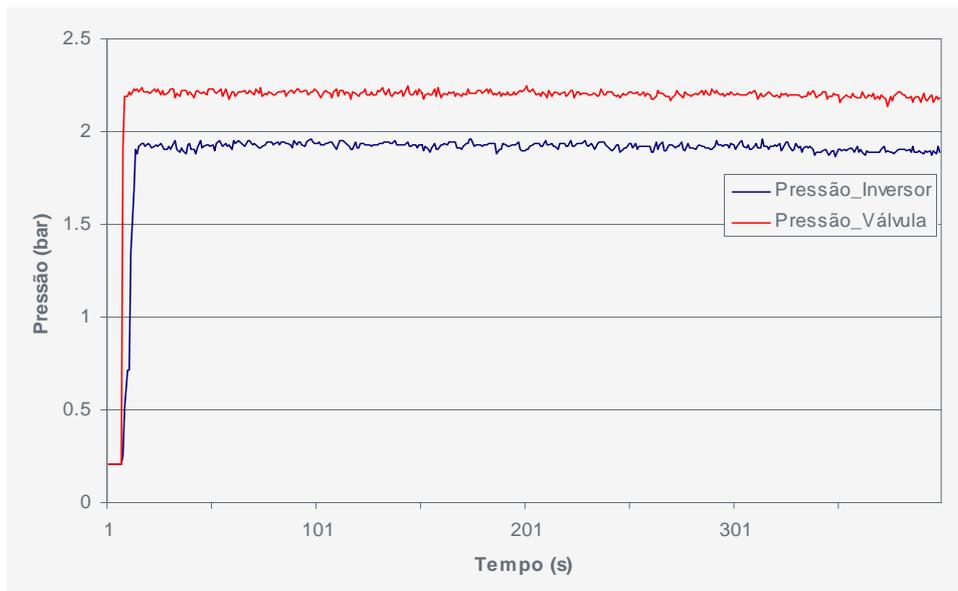


Figura 3 Pressão com a válvula 30% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

Conclui-se, a partir da Figura 3, que na condição de regime permanente, a pressão com a válvula estrangulada é aproximadamente 1,2 vezes maior que com o uso do inversor de frequência no controle da vazão. Esta pressão mais elevada submete as tubulações e os equipamentos do sistema a um maior desgaste.

3.1.2 Válvula Estrangulada em 50%

Seguindo a metodologia, foram realizadas as comparações fazendo os experimentos para a válvula 50% estrangulada.

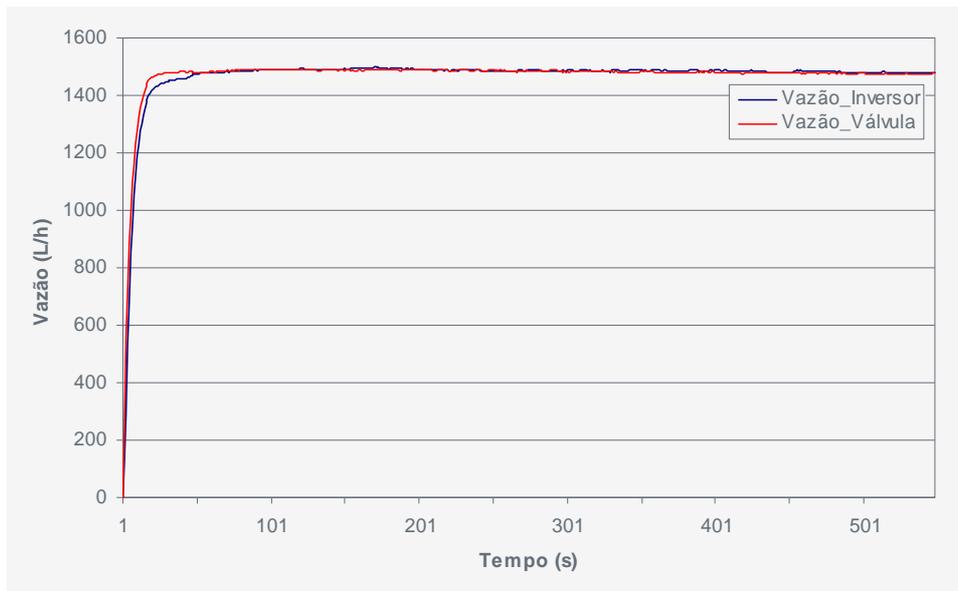


Figura 4 Vazão obtida com a válvula 50% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

Observa-se na Figura 4, que tanto na utilização de inversor de frequência quanto de válvula 50% fechada, os valores de vazão se mantiveram bem próximos, tornando assim, o experimento validado.

Na Figura 5, os gráficos da potência ativa no tempo com a válvula 50% estrangulada e utilizando o inversor de frequência para o controle da vazão são apresentados.

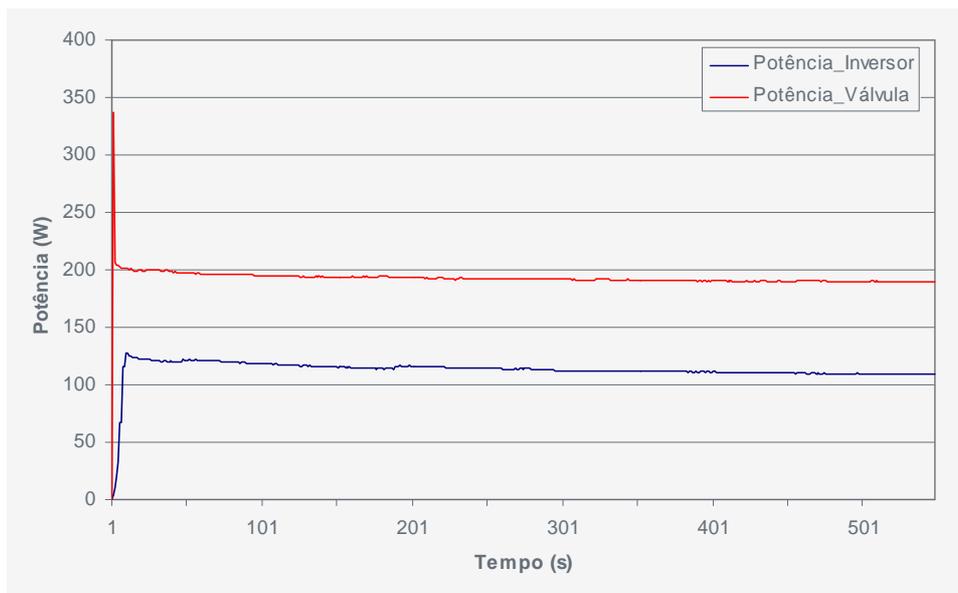


Figura 5 Potência Ativa com a válvula 50% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

Conforme a Figura 5, a potência consumida é de aproximadamente 190 W com a utilização do estrangulamento da válvula a 50% e de 115 W com a utilização do inversor de frequência. Isto representa uma redução no consumo de energia elétrica da ordem de 39% quando se utiliza o inversor ao invés do estrangulamento da válvula.

Semelhantemente à análise anterior, utilizou-se a parte em regime permanente do gráfico, de 150s a 500s, desprezando o transitório da partida.

A Figura 6 é mostrada, com o intuito de comparar os níveis de pressão a que o sistema é submetido quando se utiliza tanto válvula estrangulada como inversor de frequência.

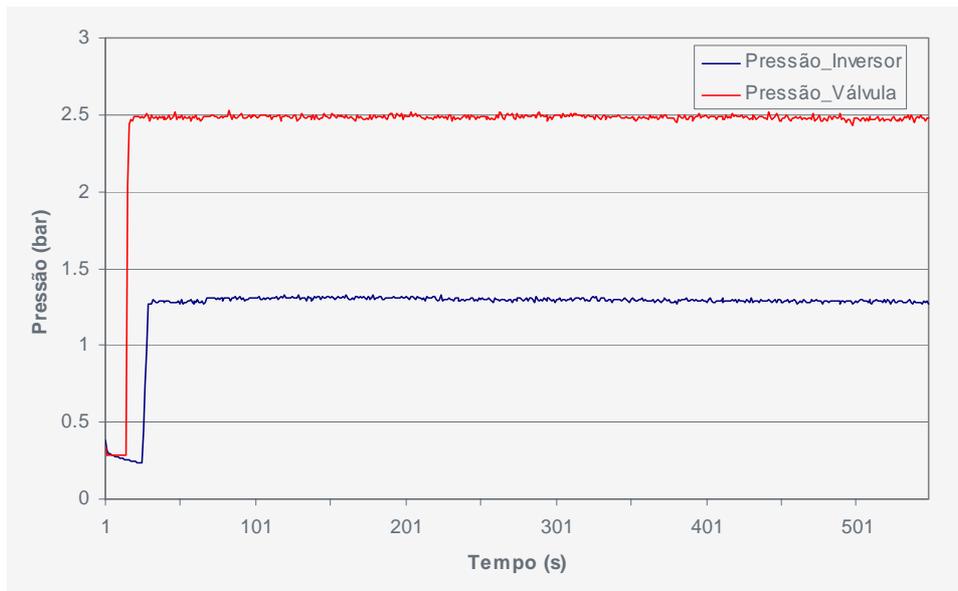


Figura 6 Pressão com a válvula 50% estrangulada utilizando o inversor de frequência

Como se observa na Figura 6, a pressão com a válvula estrangulada chega a ser 1,8 vezes maior que com o uso do inversor de frequência no controle da vazão.

3.1.3 Válvula Estrangulada em 70%

Ainda foram realizadas as comparações fazendo os experimentos para a válvula 70% estrangulada.

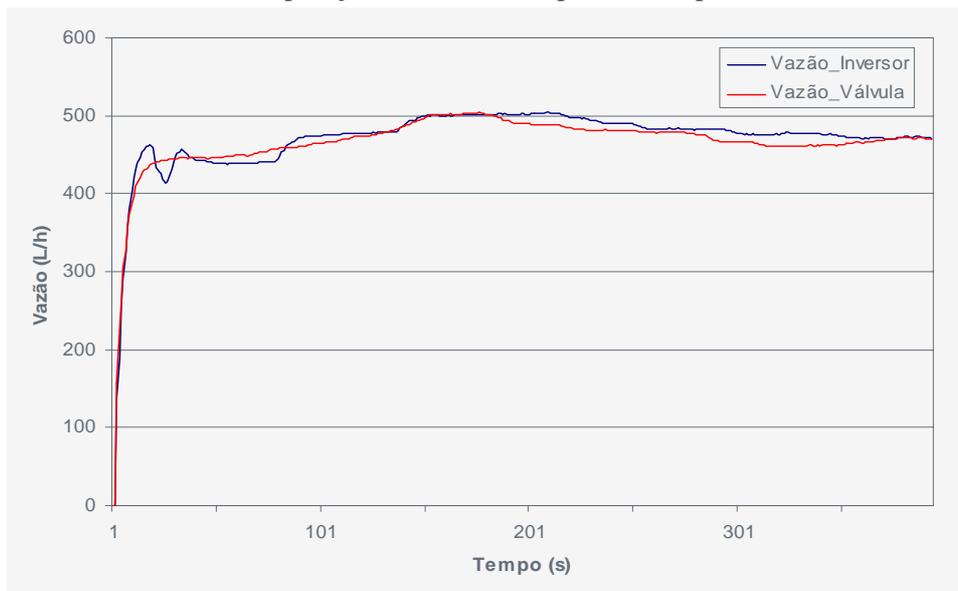


Figura 7 Vazão com a válvula 70% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

Pode-se observar na Figura 7 que se procurou manter as mesmas vazões tanto no uso do inversor de frequência quanto no uso da válvula parcialmente fechada.

Então, na Figura 8 tem-se a comparação entre as potências ativas nas duas formas de controle.

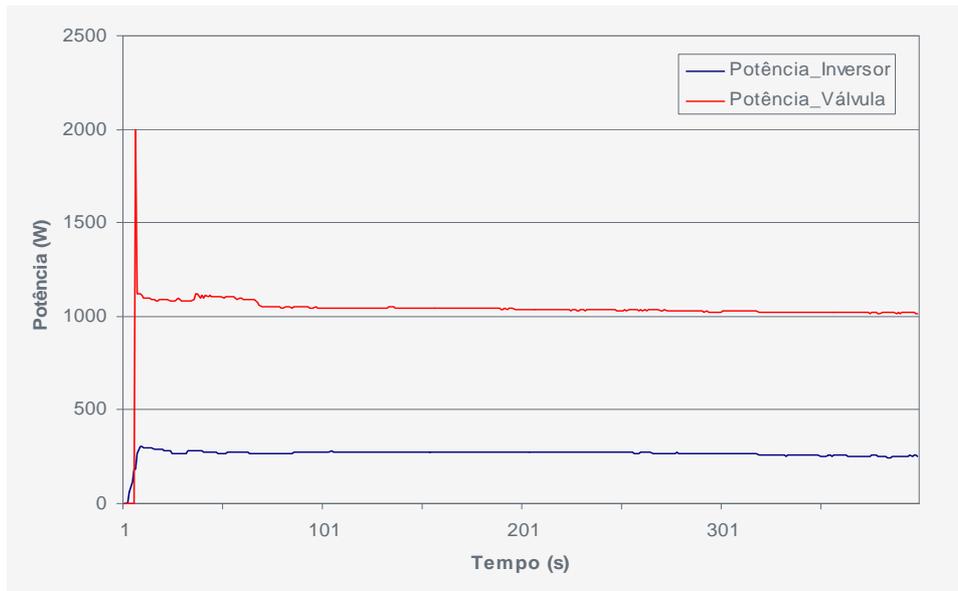


Figura 8 Potência Ativa com a válvula 70% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

A Figura 8 mostra uma potência consumida de aproximadamente 1035 W com a utilização do estrangulamento da válvula a 70% e uma potência consumida de cerca de 270 W com a utilização do inversor de frequência. Isto representa uma redução no consumo de energia elétrica da ordem de 74% quando se utiliza o inversor ao invés do estrangulamento da válvula.

Como vem sendo realizado, procurou-se calcular a economia de energia no regime permanente, entre 100s e 350s, desprezando os transitórios de partida.

É apresentada na Figura 9 a comparação entre as pressões para os dois métodos de controle de vazão: o inversor de frequência e a válvula estrangulada.

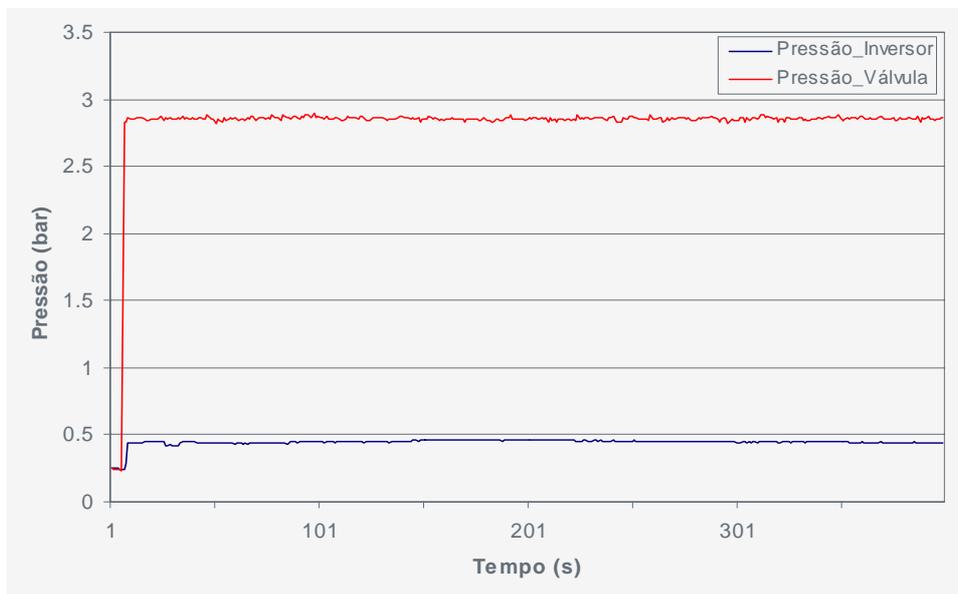


Figura 9 Pressão com a válvula 70% estrangulada e utilizando o inversor de frequência

Assim, de acordo com a Figura 9, a pressão com a válvula estrangulada chega a ser sete vezes maior que utilizando o inversor de frequência controlando a vazão. Este é um valor bastante significativo no que diz respeito ao desgaste dos equipamentos utilizados durante um processo industrial.

Na Tabela 1, os índices de economia energética, obtidos durante os experimentos, são apresentados de forma resumida.

Tabela 1 Índices de Economia utilizando Inversor de Frequência ao invés de Válvula Estrangulada

| Estrangulamento da Válvula | Economia |
|----------------------------|----------|
| 30% | 6% |
| 50% | 39% |
| 70% | 74% |

3.2 Sistema de Ventilação/Exaustão

Realizaram-se diversos experimentos a fim de comparar, do ponto de vista de economia energética, o método de controle de fluxo realizado por estrangulamento via “damper” ou por inversores de frequência.

3.2.1 “Damper” 30% estrangulado

Então, semelhantemente à metodologia utilizada para os experimentos com o sistema de bombeamento, estrangulou-se o “damper” em 30%.

Logo, para que o experimento seja válido, as vazões foram fixadas em um valor aproximadamente igual nos dois métodos de controle analisados, como mostra a Figura 10.

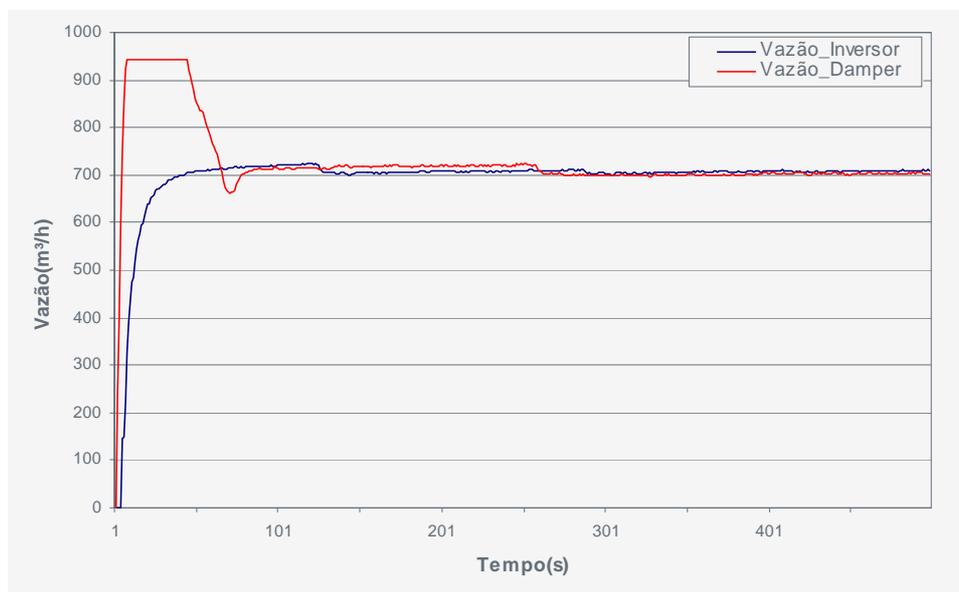


Figura 10 Vazão controlada pelo “damper”, 30% estrangulado, e utilizando o inversor de frequência

Com o experimento validado, compararam-se as potências ativas como vemos no gráfico da Figura 11.

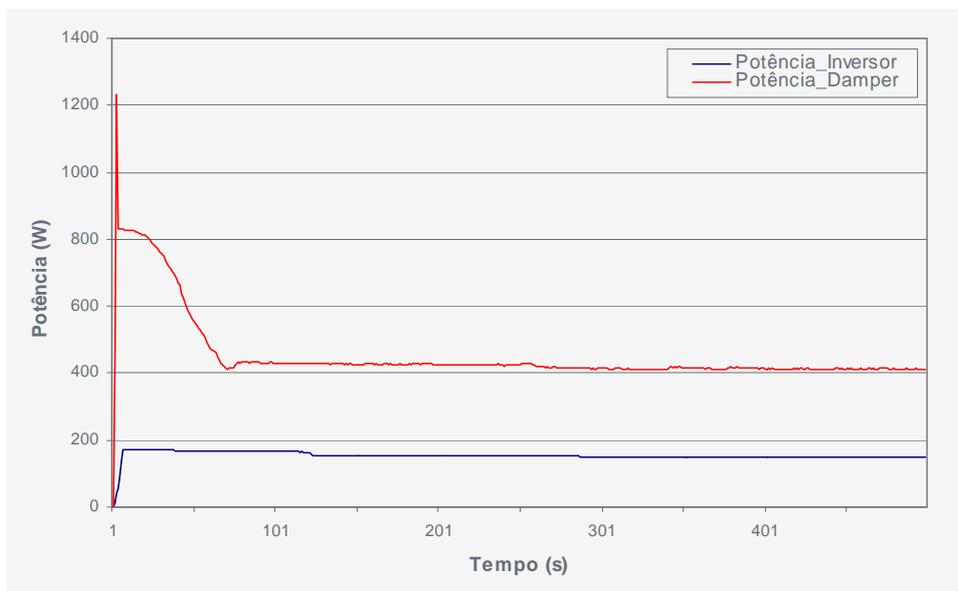


Figura 11 Potência ativa com “damper”, 30% estrangulado e utilizando o inversor de frequência

De acordo com a Figura 11, observa-se uma potência consumida de aproximadamente 420 W com a utilização do fechamento do “damper” em 30% e uma potência consumida de cerca de 150 W com a utilização do inversor de frequência. Isto representa uma redução no consumo de energia elétrica da ordem de 64% quando se utiliza o inversor ao invés do estrangulamento da válvula.

É importante frisar que o cálculo da economia foi verificado em regime permanente, de 100s a 450s.

3.2.2 “Damper” 50% estrangulado

Seguindo a metodologia, configura-se o “damper” 50% fechado e observa-se o valor da vazão. Posteriormente, utilizando o inversor de frequência mantém-se a vazão no mesmo valor obtido anteriormente, a fim de validar o experimento, conforme mostra a Figura 12.

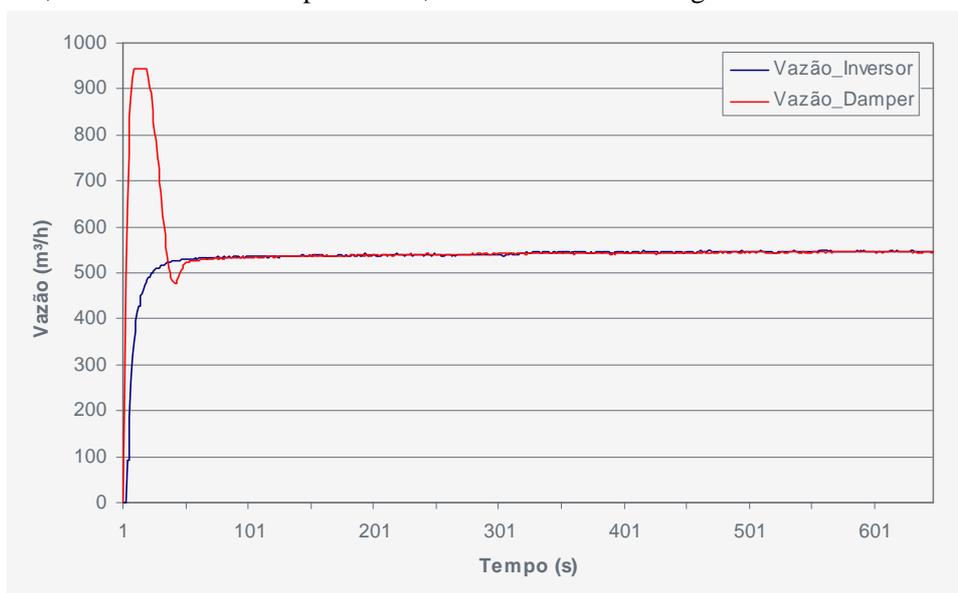


Figura 12 Vazão controlada pelo “damper” 50% estrangulado e utilizando o inversor de frequência

Nota-se na Figura 12 que se conseguiu manter, no regime permanente, as vazões praticamente as mesmas, como desejado.

A Figura 13 mostra os gráficos da potência ativa no tempo com o “damper” 50% fechado e utilizando o inversor de frequência no controle da vazão.

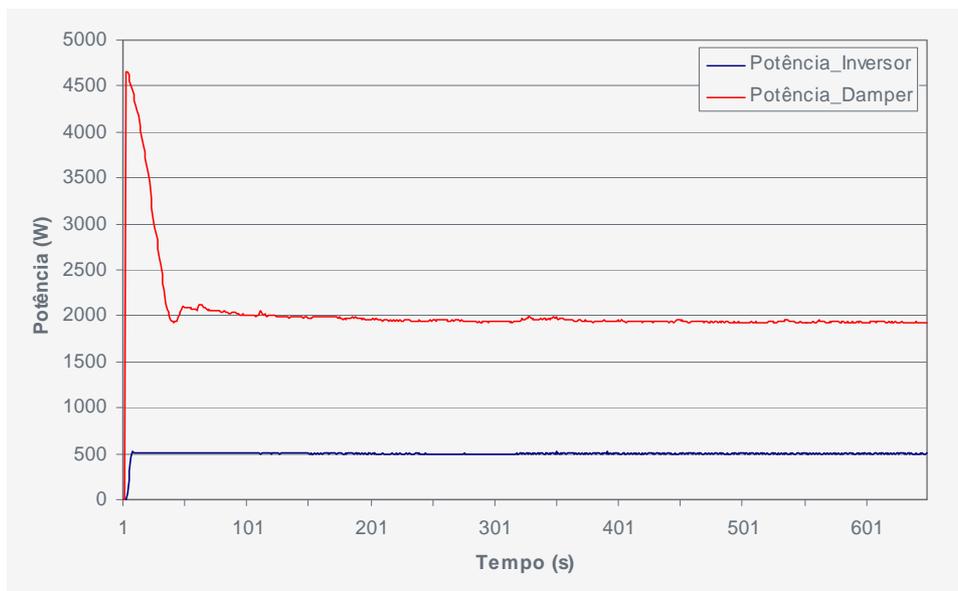


Figura 13 Potência ativa com “damper”, 50% estrangulado e utilizando inversor de frequência

De acordo com a Figura 13, na condição de regime permanente, observa-se uma potência consumida de aproximadamente 2000 W com a utilização do fechamento do “damper” em 50% e uma potência consumida de cerca de 500 W com a utilização do inversor de frequência. Isto representa uma redução no consumo de energia elétrica da ordem de 75% quando se utiliza o inversor ao invés do estrangulamento da válvula.

Esta comparação foi realizada na parte do regime permanente do sistema, ou seja, de 150s até 600s, ainda de acordo com a Figura 13.

3.2.3 “Damper” 70% estrangulado

O “damper” foi posicionado para estrangular o fluxo de ar em 70%, e o valor de vazão foi observado. Posteriormente, com o inversor de frequência, manteve-se a vazão no mesmo valor obtido com o fluxo controlado por abertura parcial do “damper”, conforme mostra a Figura 14.

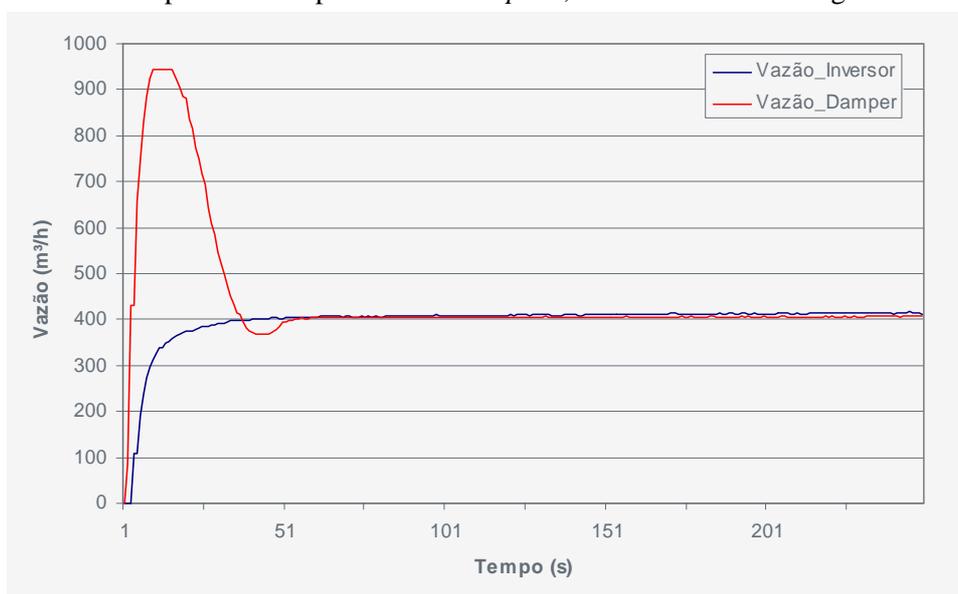


Figura 14 Vazão controlada pelo “damper”, 70% estrangulado e utilizando o inversor de frequência

Com o intuito de validar o experimento, no regime permanente, a vazão encontra-se aproximadamente no mesmo valor para os dois métodos testados.

Na Figura 15, comparou-se a potência ativa para verificar a real economia de energia com a utilização do inversor de frequência.

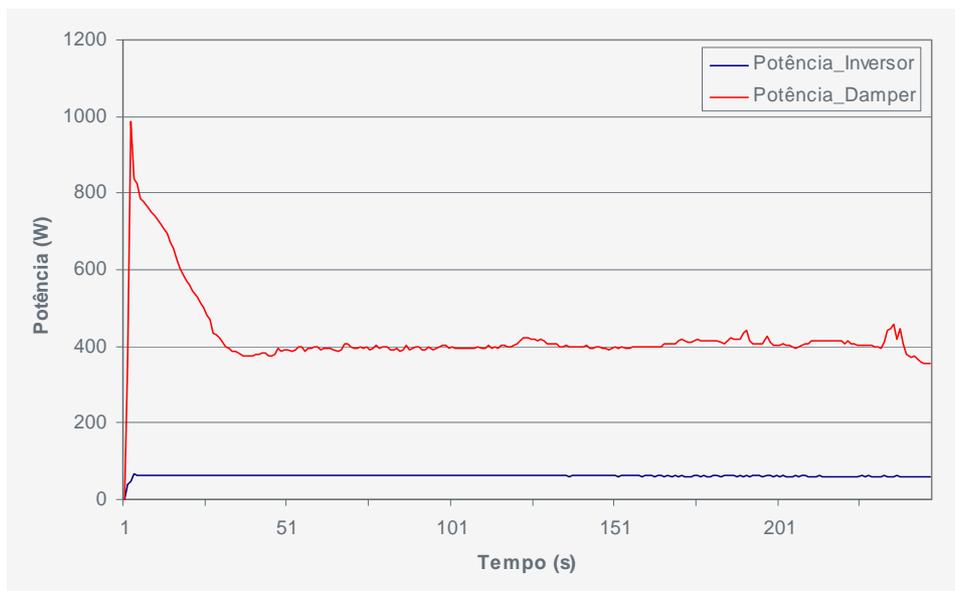


Figura 15 Potência ativa com “damper” 70% estrangulado e utilizando inversor de frequência

De acordo com a Figura 15, na condição de regime permanente, observa-se uma potência consumida de aproximadamente 400 W com a utilização do fechamento do damper em 70% e uma potência consumida de cerca de 60 W com a utilização do inversor de frequência. Isto representa uma redução no consumo de energia elétrica da ordem de 85% quando se utiliza o inversor ao invés do estrangulamento da válvula.

É importante frisar que o cálculo da economia foi verificado no regime permanente, utilizou-se de 50s a 200s.

A Tabela 2 mostra o resumo dos índices de economia energética obtidos na bancada do Ventilador.

Tabela 2 Índices de economia com Inversor de Frequência na Bancada do Ventilador

| Fechamento do Damper | Economia |
|-----------------------------|-----------------|
| 30% | 64% |
| 50% | 75% |
| 70% | 85% |

4. CONCLUSÕES

Na bancada de bombas, utilizada durante os ensaios, obteve-se uma significativa redução da potência ativa consumida, representando uma economia de energia até 74% utilizando a vazão controlada pelo inversor de frequência ao invés do estrangulamento da válvula a 70%.

Na bancada do ventilador, verificou-se uma economia de energia superior em relação à bancada de bombas para todos os casos ensaiados. Observou-se que com o damper fechado em 30% , o índice de economia de energia foi de 64%. Este valor é de fato relevante, porém o índice de economia de 85%, na comparação do inversor com a válvula 70% estrangulada é o que mais se destaca dentre os experimentos para o ventilador.

Este trabalho confirma que a utilização do inversor de frequência associada com menores níveis de pressão de trabalho do sistema hidráulico ou de ventilação pode proporcionar significativa economia de energia no controle de vazão ou do fluxo de ar (4,5). A economia de energia total com a utilização do inversor dependerá do tempo em que o sistema ficará em funcionamento e isto será fator relevante na análise econômica do sistema a ser projetado ou melhorado.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à ELETROBRÁS pelo apoio financeiro na montagem do LAMOTRIZ - Laboratório de Sistemas Motrizes Industriais que faz parte do Laboratório de Eficiência Energética e Qualidade de Energia - LEEQE da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, onde foram realizados todos os experimentos aqui apresentados. Os autores também agradecem à CELPE/ANEEL por recursos para reformas e manutenção no LEEQE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 PROCEL SANEAR, Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento, Ed. FUPAI, 2005, Brasil.
- 2 E. F. F. FILHO, Conservação de Energia em Sistemas Fluidomecânicos, XVIII SNPTEE, Outubro 2005, Brasil.
- 3 PROCEL INDÚSTRIA, Ventiladores e Exaustores, Guia Avançado, Eletrobrás, 2004, Brasil.
- 4 HOWARD H. HUFFMAN, Introduction to Solid-State Adjustable Speed Drives, Agosto, 1990, IEEE Transaction on Industry Applications.
- 5 Moreira, A. B., Análise da Operação de Sistema de Ventilação Industrial Visando a Eficiência Energética, Dissertação de Mestrado, UFCE, Fortaleza, Dezembro 2006.