



O USO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA AJUSTES DO PONTO ÓTIMO DE OPERAÇÃO EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO¹

Márcio Zamboti Fortes²
Victor de Souza Fonseca Antunes³
Laís Felinto Pereira⁴

Resumo

No contexto industrial, os sistemas de bombeamento de água, especificamente, sofrem com grandes desperdícios de energia, devido à operação, muitas vezes inadequadas destes. Além da energia elétrica, há o desperdício diretamente da água, como mostram os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que relata perdas de aproximadamente 40% da água produzida, e grande parte desta perda deve-se a vazamentos nas linhas de distribuição. A consequência deste desperdício de água é também o desperdício da energia elétrica consumida no bombeamento. Este trabalho apresenta a aplicação do método de similaridade no estudo do ajuste do ponto de operação de bombas centrifugas quando estas são operadas por inversores de frequência. Ilustram-se os ganhos obtidos na redução do consumo e na demanda instalada, quando no caso de expansão de instalações. Dois casos reais são mostrados para comprovação do método.

Palavras-chave: Inversores de frequência; Método da similaridade; Sistemas de bombeamento.

THE USE OF FREQUENCY INVERTERS FOR ADJUSTMENTS OF THE OPTIMAL POINT OF OPERATION IN PUMPING SYSTEMS

Abstract

In the industrial context, the water systems pumping suffer with a great energy waste due to their inadequate operation. Besides electricity, there is the problem of water losses as shown by National Information System on Sanitation (SNIS) data, which reported losses about 40% of produced water, and much of this is due to losses in the distribution lines. The consequence of these water losses is also the waste of consumed electrical energy in pump act. This paper presents the application of similarity method in set point operation study for centrifugal pumps, when it is operated by frequency inverters. In this analysis is illustrated the gains obtained in the consumption and demand reduction in case of facilities expansion. Two real cases are shown to confirm the method.

Key words: Frequency inverters; Similarity method; Pumping systems.

¹ Contribuição técnica ao 33º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 27º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 22 a 24 de agosto de 2012, Belo Horizonte, MG.

² Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Federal Fluminense.

³ Engenheiro Eletricista, Universidade Federal Fluminense.

⁴ Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade Federal Fluminense.



1 INTRODUÇÃO

O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2011, ano base 2010, mostrou que o setor industrial foi responsável por 44% da energia consumida no país.⁽¹⁾ Por sua vez, O PROCEL Indústria afirma que cerca de 62% do consumo nas indústrias é devido a sistemas motrizes, ou seja, os sistemas motrizes consomem 26,4% da energia elétrica que o país produz. Dentre os 62% da eletricidade que alimenta a força motriz brasileira, 18% é voltada para o suprimento de bombas,⁽²⁾ utilizadas nos mais diversos segmentos da indústria que necessitam movimentar fluídos. O combate ao desperdício de energia nos sistemas de bombeamento inclui a busca por filosofias para uma melhor operação destes sistemas. E entre os métodos de operação de sistemas de bombeamento para a redução da vazão, dois se destacam: o uso de válvulas e o uso de inversor de frequência. Este último baseia-se na redução da velocidade do rotor, diminuindo a vazão e reduzindo a energia consumida, porém vários trabalhos a este respeito fornecem uma base de cálculo que trazem dificuldades para prever a economia possível de ser obtida.

Desta forma, pretende-se neste trabalho apresentar uma metodologia de cálculo para previsão da economia de energia a ser alcançada pelo controle da velocidade de um rotor através do uso de um inversor de frequência. Além disso, fazer a análise econômica da implantação deste método em duas motobombas.

1.1 Motores de Indução

Em um motor, P_{in} é a potência útil de alimentação do motor, e P_{out} a potência entregue à carga. E o torque entregue à carga é dado por:

$$T_{ind} = \frac{P_{out}}{\omega_m} \quad (1)$$

Outro importante dado sobre o motor é o rendimento, η_m , que expressa o quanto da potência absorvida por ele é entregue à carga, ou seja:

$$\eta_m = \frac{P_{out}}{P_m} \quad (2)$$

Deduz-se, então, que quanto maior o rendimento, melhor. Além disso, pode-se ver através da Equação 1 que o torque e a velocidade do rotor estão diretamente relacionados.⁽³⁾ A velocidade do rotor tem relação direta também com o escorregamento, que por sua vez está relacionado à carga acoplada ao eixo do rotor. Estas relações podem ser entendidas com mais detalhes nos livros que tratam de motores de indução. Como o torque e a corrente do rotor estão diretamente relacionados, percebe-se que a corrente sofre grande variação de acordo com a velocidade do rotor. Logo, controlando a velocidade, controlam-se a corrente e a energia consumida pelo motor.

1.2 Acionamentos



Entre os vários objetivos dos acionamentos⁽⁴⁾ de motores elétricos, está o controle de velocidade e de torque, que pode ser efetuado com diversas estratégias, e entre elas está o uso de inversores de frequência, fundamentais para este trabalho.

O inversor de frequência converte a corrente alternada da fonte em corrente contínua (retificação) e em seguida a transforma em alternada novamente, com as características de frequência e magnitude desejadas. Seu objetivo é variar a velocidade da máquina mantendo o fluxo magnético constante e, por consequência, mantendo também o torque constante.

O torque de um motor de indução, desprezando a queda de tensão no estator, é dado por:

$$\Phi_m A = k_2 V_1 / f_1 \quad (3)$$

onde Φ_m é o fluxo de magnetização (Wb), V_1 é a tensão no estator (V) e k_2 é uma constante que depende da máquina.

Então, variando V_1 e f_1 proporcionalmente, mantendo a razão constante, altera-se a frequência sem alterar o fluxo, mantendo o torque constante, caso seja considerado que I_2 é constante, assim como a carga no eixo do rotor. Então, para controlar a velocidade, varia-se a tensão e a frequência linearmente até atingir a tensão nominal (V_b) e a velocidade nominal (f_b) do motor, onde então a tensão será mantida constante, como é representado na Figura 1:

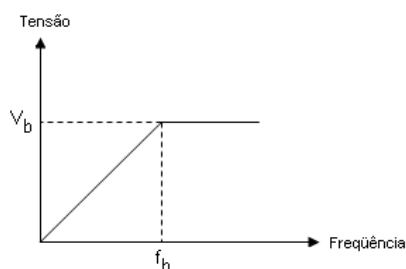


Figura 1 – Gráfico Tensão x Frequência num Motor de Indução Trifásico usando Inversor.⁽⁴⁾

Pelas Equações 1 e 3, pode-se antever que, ao continuar-se aumentando a frequência e mantendo-se a tensão nominal, o fluxo e o torque decairão, pois são inversamente proporcionais. E, já que a potência é resultado da multiplicação entre torque e velocidade angular, a potência útil do motor terá o comportamento variando suavemente com a frequência, como representado na Figura 2:

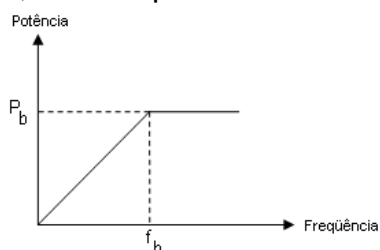


Figura 2 – Gráfico Potência x Frequência num Motor de Indução Trifásico utilizando Inversor.⁽⁴⁾

Quanto ao funcionamento dos inversores, a conversão acontece através de três estágios: retificação da tensão da rede, controle do chaveamento e a saída.

Após a retificação, a tensão é alisada através de um filtro, por meio de um banco de capacitores. Em seguida, esta tensão CC se torna a tensão de entrada de uma ponte de tiristores (ou transistores IGBT), responsáveis por fazer a inversão para CA



novamente. O controle de disparo destes tiristores é feito de modo a atingir uma variação linear da tensão e da frequência, mantendo constantes o fluxo e o torque. O circuito que comanda estes disparos utiliza-se de microcontroladores digitais. Este controle utiliza-se de técnicas como a PWM (Pulse Width Modulation, ou Modulação por Largura de Pulso).

Controla-se, então, a tensão de saída, em magnitude e frequência, e, por conseguinte, a velocidade. Esta variabilidade da frequência pode ser muito grande, e pode ser alcançada de duas maneiras: controle escalar e controle vetorial.

O controle escalar considera apenas os módulos instantâneos da tensão, da corrente e do fluxo, referindo-se ao estator. O controle é feito em malha aberta. É o mais utilizado devido à sua simplicidade. O controle vetorial decompõe a corrente do motor (do estator) em dois vetores, onde um deles é o responsável pela criação do fluxo que atravessa o entreferro e o outro pela produção do torque. Isto possibilita a regulação de cada um de forma separada. Entre outras considerações, ressalta-se que a economia com a utilização do inversor de frequência pode não ser alcançada da forma esperada devido ao aumento nas perdas ocasionado pelas harmônicas.⁽⁴⁾

1.3 Sistemas de Bombeamento

- **Diâmetro da Tubulação:** Fundamental para a eficiência energética, pois as perdas de pressão na tubulação tem conseqüências diretas na vazão de projeto, que por sua vez influencia diretamente a potência da bomba. Seu cálculo pode ser feito por diversas fórmulas empíricas encontradas nos livros sobre o assunto.⁽⁵⁾
- **Perdas de Carga da Instalação**
 - *perda de carga distribuída:* causada pelo atrito com a tubulação, de forma contínua; e
 - *perda de carga localizada:* causada pelas conexões especiais da tubulação, como válvulas, curvas, joelhos e outros, e são significativamente maiores do que as perdas de carga distribuídas.

Ressalta-se que existem diversas fórmulas para o cálculo de ambas.

A perda de carga total é dada pela soma das duas perdas.

- **Curva de Carga da Instalação:** É a curva do sistema, e é uma função dada por:

$$AMT = H_g + h_t \quad (4)$$

onde H_g corresponde ao desnível entre os reservatórios, ou seja, é uma constante, se for considerado o nível de água no reservatório de sucção constante. Já o termo h_t é uma função da vazão. Assim, AMT pode ser representada como mostra a Figura 3:

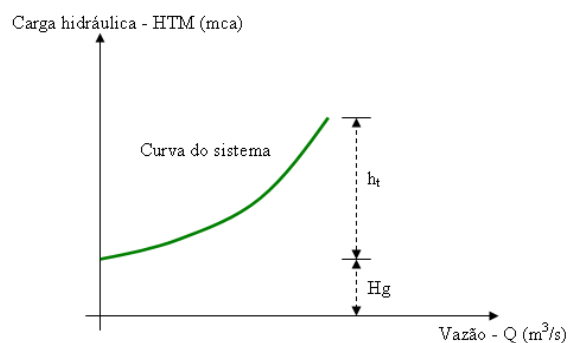




Figura 3 – Curva Q x AMT de um sistema genérico.⁽⁶⁾

- **Escolha da Bomba:** A carga total desenvolvida pela bomba (**H**), a potência mecânica requerida para acioná-la (**P**) e o seu rendimento (**η_B**) variam em função da capacidade de vazão da bomba (**Q**). As relações entre essas grandezas são chamadas características das bombas, e são apresentadas pelos fabricantes das bombas nos seus respectivos catálogos através de gráficos, chamados curvas características das bombas.⁽⁵⁾ A Figura 4 ilustra a união das curvas da bomba e da instalação:

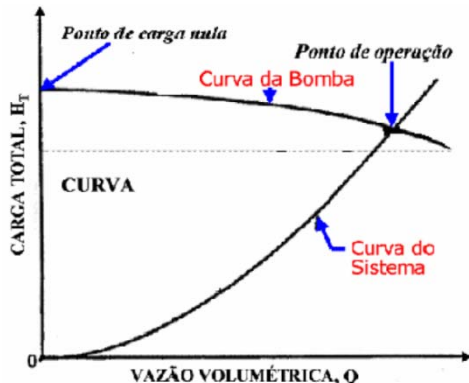


Figura 4 – Ponto de operação de uma bomba representado na Curva Pressão x Vazão.⁽⁶⁾

Para se realizar o controle de vazão é necessário variar o ponto de operação da bomba. Isto pode ser feito, principalmente, de três maneiras,⁽⁶⁾ e duas são:

- *controle da vazão com atuação na curva da instalação:* através do uso de um dispositivo de estrangulamento, como um registro, alterando a geometria da instalação, e inserindo uma perda de carga no sistema; e
- *controle de vazão com atuação na curva da bomba:* altera-se a velocidade de rotação do motor através do uso de um inversor de freqüência, fazendo com que a bomba se comporte como uma bomba com características diferentes e consecutivamente, com uma nova curva.

Por fim, a bomba consome uma potência elétrica dada por:

$$P_{el} = \frac{\gamma Q H}{(\eta_B \eta_M)} \tag{5}$$

onde **η_M** é o rendimento do motor e **γ** é o peso específico do fluido.

A Figura 5 ilustra a comparação entre os métodos de controle de vazão:

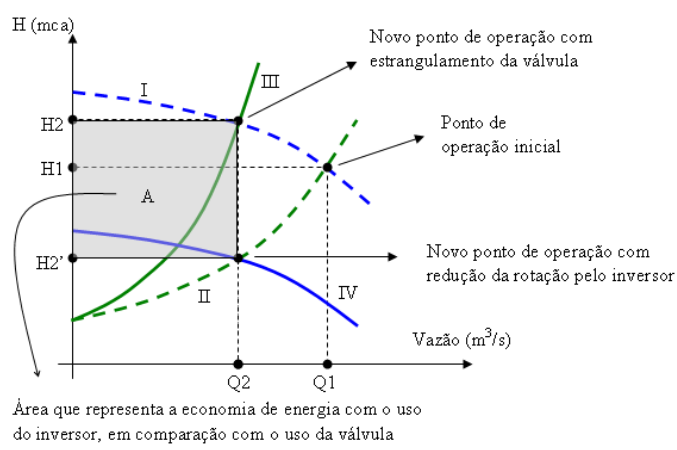




Figura 5 – Comparação entre os efeitos da aplicação dos métodos de controle de vazão.⁽⁶⁾

O ponto III mostra o novo ponto de operação atingido com o estrangulamento da válvula, alterando a curva do sistema. Já o ponto II é o ponto atingido com a redução da velocidade de rotação do motor usando inversor de frequência, que faz alterar a curva da bomba. Como a potência é proporcional à multiplicação de **Q** por **H**, a área “A” corresponde à diferença de potência utilizada entre um método e outro. Fica claro que é mais econômico alterar a curva da bomba, resultando em menor consumo de energia, como ensaios em laboratórios indicam.⁽⁶⁾

1.3.1 Lei das similaridades

As Leis da Similaridade mostram que existe uma relação direta entre as grandezas mais importantes para os sistemas de bombeamento e a velocidade de rotação da bomba. Estas leis estão expressas pelas Equações 6,7 e 8.⁽⁷⁾

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (6)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad (7)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (8)$$

A exatidão desta Lei só é garantida para os pontos que possuem o mesmo rendimento da bomba.⁽⁷⁾ Esta restrição é uma das bases mais importantes para o objetivo deste trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A proposta é analisar duas motobombas em operação, ensaiá-las para obter a condição atual de operação de cada uma, obter algumas de suas características elétricas e mecânicas, simular novos pontos de operação visando à economia possível de ser alcançada e calcular os ganhos energéticos e financeiros atingidos.

2.1 Medições Realizadas

Foram analisadas duas motobombas cujos dados estão na Tabela 1:

Tabela 1. Dados das motobombas analisadas

Motobomba 1:		Motobomba 2:	
MOTOR		MOTOR	
Fabricante	WEG	Fabricante	KOHLBACH
Tipo	Trifásica	Tipo	Trifásica
Potência	5,5kW/7,5CV	Potência	7,5CV
Velocidade	3500rpm	Velocidade	3480rpm
Ip/In	8	Ip/In	8,8
Corrente	19,1/11,1A	Corrente	19/11A
Rendimento	86,70%	Rendimento	-
FP	0,87	FP	-
BOMBA		BOMBA	
Fabricante	DANCOR	Fabricante	DANCOR



Sucção	2 1/2"	Sucção	2 1/2"
Recalque	2"	Recalque	2"

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados das medições para cada bomba, em cada uma das três condições analisadas:

Tabela 2 – Resumo das medições da Motobomba 1

Carregamento Real (Imedia/In):	102,73	91,57	80,71	%
Tensão:	217,16	217,34	216,52	V
Corrente:	19,52	17,40	15,33	A
Potência Ativa:	6033,98	5235,23	4387,50	W
Fator de Potência:	0,84	0,818	0,787	
DHT da Tensão:	1,94	1,94	1,94	%
DHT da Corrente:	3,10	3,66	4,35	%
ENERGIA CONSUMIDA (1,5h):	9,08	7,88	6,60	kWh
Vazão MEDIDA	25,9	24,0	22,5	m³/h
Velocidade MEDIDA	3496	3517	3533	rpm

Tabela 3 – Resumo das medições da Motobomba 2

Carregamento Real (Imedia/In):	93,53	84,83	78,72	%
Tensão:	217,38	215,28	218,06	V
Corrente:	17,77	16,12	14,96	A
Potência Ativa:	5790,31	5156,74	4754,42	W
Fator de Potência:	0,884	0,873	0,851	
DHT da Tensão:	2,06	1,78	1,99	%
DHT da Corrente:	3,03	3,05	3,33	%
ENERGIA CONSUMIDA (1,5h):	8,73	7,76	7,16	kWh
Vazão MEDIDA	26,58	21,60	19,80	m³/h
Velocidade MEDIDA	3400	3460	3490	rpm

2.2 Condições Iniciais de Operação

As bombas analisadas operam em revezamento a cada 15 dias, onde uma fica ligada em média 1,5 h por dia, durante 5 dias na semana.

2.3 Ponto de Operação Hidráulico

Um método simples para a obtenção da equação característica da bomba é a utilização da aproximação polinomial de 2º grau, que, através de três pontos conhecidos, pode oferecer uma excelente aproximação da equação da bomba. Estes três pontos podem ser obtidos da curva **Q X AMT** do catálogo da bomba, chegando-se a: $y = -0,006x^2 + 0,125x + 45$. E inserindo nesta fórmula o valor de vazão que foi medido, encontra-se o valor de **AMT**, e com isso o ponto de operação da bomba:

Tabela 4 – Ponto de operação das duas motobombas

	Q (m³/h)	AMT (m)
Motobomba 1 - WEG	25,92	44,21
Motobomba 2 - Kohlbach	26,58	44,08



Para uma melhor visualização, traça-se uma curva estimada do sistema. O cruzamento de ambas as curvas fornece o ponto de operação da bomba.

Uma das maneiras de se obter a curva do sistema é utilizar-se de uma das fórmulas de AMT em função da vazão, escolhendo-se alguns valores para esta última. Porém, para tal, é necessário conhecer a tubulação, com suas peças especiais e o comprimento total. Neste trabalho, foi estimada a quantidade e o tipo de tais peças e o comprimento da tubulação, que retornou um valor muito coerente. A fórmula utilizada foi a de Williams-Hasen,⁽⁵⁾ devido ao alto número de Reynolds encontrado. Nesta fórmula, utilizou-se $C = 100$ (ferro fundido) e o Método dos Comprimentos Equivalentes, chegando-se a $AMT = 44,7 \text{ m}$

Este valor é bem próximo ao encontrado utilizando as curvas da bomba, através do valor de vazão medido, que foi $44,21 \text{ m}$ de altura manométrica total (AMT). Tal equação é dedutível fazendo-se a composição dos termos de Williams-Hasen para os dois diâmetros na equação de AMT , e está representada na Equação 9⁽⁵⁾, usada pra traçar a curva do sistema.

$$AMT = H_s + H_R + L_{1/q} + L_{2/q} + \left\{ H_s [27,88 \times D_1^{2,83}]^{-1/0,54} + H_R [27,88 \times D_2^{2,83}]^{-1/0,54} \right\} \times Q^{1/0,54} \quad (9)$$

O gráfico desta função é mostrado na Figura 6, já representada em conjunto com a curva manométrica motobomba 1, escolhida como exemplo:

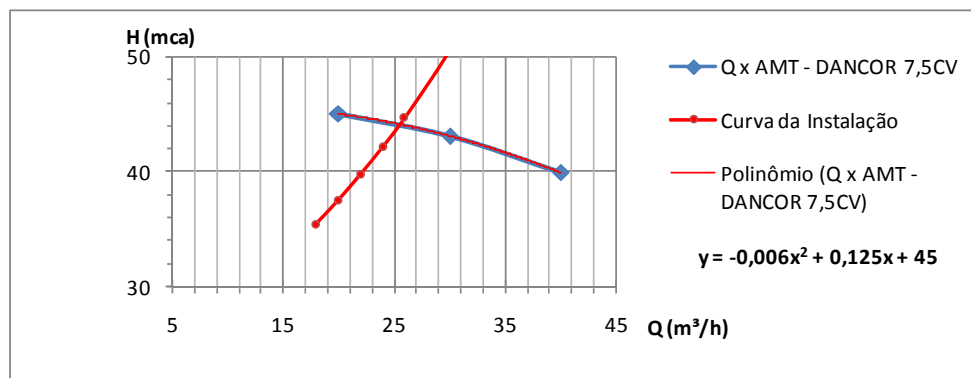


Figura 6 – Gráfico Q x AMT mostrando o Ponto de Operação da Motobomba 1.

O cruzamento das curvas representa o ponto de operação atual da bomba. E, considerando a quantidade de aproximações feitas e a inexatidão inerente às fórmulas empíricas, o resultado é bem próximo do que já foi mostrado na Tabela 4.

2.4 Proposta de Novos Pontos Hidráulicos e Elétricos de Operação

O objetivo é encontrar um novo ponto de operação para as motobombas através da redução da velocidade do rotor, que resultem em um mesmo rendimento. Desta forma será possível o uso da Lei das Similaridades para relacionar a nova potência disponível no eixo e a nova rotação.

Consultando a Equação 5, pode-se perceber a relação entre potência elétrica, vazão e pressão, além dos rendimentos da bomba e do motor. Se o objetivo é buscar Q e AMT para o mesmo rendimento em operação, basta-se fazer uma “varredura” no plano $Q \times AMT$, escolhendo-se valores abaixo do ponto de operação (pois se deseja



reduzir Q e AMT), mantendo-se fixos os rendimentos do motor e da bomba. Esta “varredura” será feita através de uma redução linear dos valores citados, apenas para facilitar. E, como foi dito, através da Equação 5, podem ser obtidos os novos valores de potência elétrica prevista para os valores de Q e AMT escolhidos.

Esta estimativa de valores permite traçar o gráfico de que $Q \times AMT$ e cruzá-la com a curva da instalação, que é fixa, pois de qualquer maneira o futuro ponto de operação da motobomba com velocidade reduzida estará contido nesta curva. Como o rendimento da bomba e o rendimento do motor estão fixos para esta nova condição procurada, o cruzamento entre as curvas indicará o ponto de operação procurado, como mostrado na Figura 7:

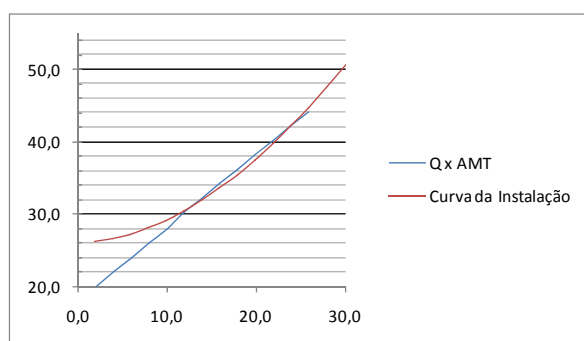


Figura 7 – Curvas para auxílio na localização do futuro ponto de operação da Motobomba 1.

O cruzamento tenderá a acontecer em dois pontos: o ponto de operação atual e o ponto de operação que se procura. A inexatidão se deve ao fato de este método utilizar-se de valores aproximados, oriundos de fórmulas também aproximadas. Outra questão a este respeito é que, embora se pudesse substituir a equação da curva da instalação na equação linear resultante da “varredura” de $Q \times AMT$ para obter os pontos de interseção, optou-se, nesta etapa, pelo método da inspeção visual dos pontos, devido a ser mais simples e devido à imprecisão inerente.

Pode-se observar que o ponto procurado encontra-se próximo a $Q = 10\text{m}^3/\text{h}$ e $AMT = 30\text{m}$. Porém, na verdade ele é apenas orientativo, e até dispensável, pois se forem atribuídos valores para a Equação 9 da curva de instalação e criada uma tabela, é possível encontrar o ponto de operação procurado, como demonstra a Tabela 5:

Tabela 5 – Valores da Curva do Sistema e Valores da “varredura” para a Motobomba 1

Q (m³/h)	AMT (m)	Pel (W)	Q (m³/h)	AMT (m)
7,9	28,1	1093,0	7,9	26,2
9,9	29,2	1473,5	9,9	28,2
13,9	31,9	2360,9	13,9	32,2
17,9	35,5	3416,7	17,9	36,2
21,9	39,7	4641,1	21,9	40,2
25,9	44,7	6034,0	25,9	44,21

Estabeleceu-se o limite de 1 m de diferença entre a AMT procurada na tabela de “varredura” e a AMT da instalação. Então, respeitando-se estes limites, os futuros pontos de operação encontrados são::



- Motobomba 1 – WEG 7,5CV: $Q = 12,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e $AMT = 30 \text{ m}$
- Motobomba 2 – KOHLBACH 7,5CV: $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ e $AMT = 28 \text{ m}$

Para finalizar, utiliza-se a Equação 6 da Lei das Similaridades para encontrar as novas velocidades de operação das motobombas, como mostram as Tabelas 6 e 7:

Tabela 6 – Características previstas conseqüentes do ponto de operação proposto para a motobomba 1

Operação	Q (m³/h)	AMT (m)	Pel (W)	Vel. (rpm)
Atual	25,9	44,2	6033,98	3496
Proposta	10,0	28,0	1474,41	2186

Tabela 7 – Características previstas conseqüentes do ponto de operação proposto para a Motobomba 2

Operação	Q (m³/h)	AMT (m)	Pel (W)	Vel. (rpm)
Atual	26,6	44,1	5790,31	3400
Proposta	12,5	30,0	1852,83	2326

3 DISCUSSÃO

A partir do ponto de operação proposto, podem-se calcular os ganhos energéticos e econômicos previstos utilizando o inversor de frequência. Esta análise é feita considerando o funcionamento das motobombas apenas em horário fora de ponta (entre 21h e 18h) e o enquadramento como grupo A (grandes clientes), subgrupo A4 (tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV) do local dos ensaios. As Tabelas 8 e 9 mostram os ganhos energéticos ao fim de treze dias (quinze dias menos dois domingos), mantendo a alternância entre as motobombas a cada quinze dias.

Tabela 8 – Previsão mensal de energia economizada proposta p/ a Motobomba 1

Operação	Q (m³/h)	Pel (W)	CDO (h)	Dias de Operação	Energia (kWh)
Atual	25,9	6033,98	1,5	13	117,66
Proposta	10,0	1474,4	3,9	13	74,52
Economia:					37%

Tabela 9 – Previsão mensal de energia economizada proposta p/ a Motobomba 2

Operação	Q (m³/h)	Pel (W)	CDO (h)	Dias de Operação	Energia (kWh)
Atual	26,6	5790,31	1,5	13	112,91
Proposta	12,5	1452,62	3,2	13	60,24
Economia:					47%

As Tabelas 10, 11, 12 e 13 mostram os ganhos econômicos mensais e anuais. Vale ressaltar que as Tarifas Horosazonais Verde e Azul têm o mesmo custo em reais para os períodos fora de ponta. Os valores não incluem PIS e nem COFINS, e encontram-se no site da AMPLA.⁽⁸⁾

Tabela 10 – Previsão de Economia Mensal e Anual – Tarifa Convencional - Motobomba 1

Operação	Valor Mensal (R\$)	Valor Anual (R\$)
Atual	371,25	4455,03
Proposta	97,42	1169,06
Economia:	74%	R\$ 3.285,97

Tabela 11 – Previsão de Economia Mensal e Anual – THS Verde e Azul - Motobomba 1



Operação	Valor Mensal P. Seco (R\$)	Valor Mensal P. Úmido (R\$)	Valor Anual (R\$)
Atual	126,34	124,95	1509,14
Proposta	37,49	36,60	445,43
Economia:	70%	71%	R\$ 1.063,70 (70%)

Tabela 12 – Previsão de Economia Mensal e Anual – Tarifa Convencional - Motobomba 2

Operação	Valor Mensal (R\$)	Valor Anual (R\$)
Atual	356,26	4275,12
Proposta	95,03	1140,35
Economia:	73%	R\$ 3.134,77

Tabela 13 – Previsão de Economia Mensal e Anual – THS Verde e Azul - Motobomba 2

Operação	Valor Mensal P. Seco (R\$)	Valor Mensal P. Úmido (R\$)	Valor Anual (R\$)
Atual	121,24	119,90	1448,19
Proposta	35,36	34,64	420,69
Economia:	71%	71%	R\$ 1.027,50 (71%)

A maior economia aconteceria caso a tarifa fosse Convencional, pois poderia ser alterada para Tarifa Horosazonal Verde, por exemplo, e reduzir-se-ia o gasto de R\$8.720,15 para R\$ 866,12 (soma dos valores da Tabela 11 com os da Tabela 13, pois cada motor opera durante a metade do mês), o que representa 90% de economia.

Porém, considerando-se o caso mais conservador, ou seja, considerando-se que a Tarifa Horosazonal Verde já seja a contratada, chegar-se-ia a uma economia anual de R\$2.091,20.

A título de exemplo, um inversor de frequência do fabricante WEG (CFW08), de controle escalar, apropriado para motobombas de 7,5 CV, custa aproximadamente R\$ 2.000,00. Com a economia anual citada, o investimento seria pago em 1 ano, o que é tempo de retorno muito atraente.

4 CONCLUSÃO

A economia mais conservadora foi de 70% e 71% de energia para as motobombas 1 e 2, respectivamente, representando R\$ 2.091,20, considerando o ciclo de operação de 1,5 h. Este valor condiciona a análise para um tempo de retorno de aproximadamente 1 ano para a compra de um inversor de frequência compatível.

É possível estimar que há potencial de economias financeiras mais significativas em indústrias onde o tempo de operação é maior do que os casos estudados.

Vislumbra-se ainda para casos industriais:

- Aproveitamento dos inversores para a partida destes motores, reduzindo as perdas e o desgaste, resultando em menor manutenção;
- Adiamento da expansão da carga instalada devido redução da demanda contratada com a aplicação da metodologia aqui descrita;
- Redução da pressão nas tubulações, contribuindo para a diminuição dos vazamentos e, consecutivamente, em economia de energia e menor dispêndio financeiro;

De acordo com os cálculos realizados, viu-se que é possível prever, de forma simples, a economia obtida através do uso de inversores de frequência para controlar a velocidade de motobombas, e que há grandes potenciais de economia.



REFERÊNCIAS

- 1 EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2011: Ano Base 2010 – Relatório Final**. Rio de Janeiro, RJ, 2011. Disponível em < https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf> Acesso em 15 nov.2011.
- 2 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030, PEN 2030**.Rio de Janeiro, RJ, 2010. Disponível em http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf> Acesso em 20 mar.2012.
- 3 CHAPMAN, Stephen J. **Electric Machinery Fundamentals**. New York: Ed. McGraw Hill, 2004.
- 4 WEG. **Motores de Indução Alimentados por Inversores de Frequência PWM– Guia Técnico**. Jaragua do Sul, SC, 2009. Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-027-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>> Acesso em 20 mar. 2012.
- 5 MACINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2010.
- 6 LOPES, I.F.; JORGE, A. S. F.; SALIM, P.S.; CASAGRANDE, C.G.; PINTO, D.P. **Eficiência Energética em Sistemas Motrizes Industriais**. In: IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, Juiz de Fora. 2011.
- 7 ALMEIDA, B. P. **Comportamento elétrico, mecânico e hidráulico de um sistema de bombeamento sob enfoque da qualidade de energia elétrica e eficiência energética**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2010.
- 8 AMPLA. **Taxas e Tarifas**. Disponível em: < <http://novoportal.ampla.com/para-seus-neg%C3%B3cios/dicas-e-orienta%C3%A7%C3%B5es/taxas-e-tarifas.aspx>> Acesso em 15 nov. 2011.