

UM AJUSTE À EQUAÇÃO DE SÂRBU E BORZA PARA ESTIMATIVAS DE RENDIMENTO DE BOMBAS EM OCASIÕES DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE

José Nilton de Abreu Costa¹, Marco Aurélio Holanda de Castro²
y Luís Henrique Magalhães Costa³

^{1,2}Universidade Federal do Ceará, Brasil.

³Universidade Estadual Vale do Acaraú, Brasil.

E-mail: nilton_deha@yahoo.com.br, marco@ufc.br, luishenrique.uva@gmail.com

Introdução

Operar um sistema de abastecimento de água consiste em estabelecer regras de operação que se baseiam no manuseio de bombas e válvulas. Firmino et al. (2006) afirmam que na maior parte dos casos estes procedimentos são realizados através de estratégias de tentativa e erro. Comumente, uma das metas a serem alcançadas com a adoção dessas estratégias é a redução do consumo energético do sistema, que está diretamente relacionado com o funcionamento das bombas hidráulicas.

Sârbu e Borza (1998) quantificam que, em áreas industrialmente povoadas, o percentual médio de energia consumida pelo uso das bombas varia na faixa de 70 a 80% da energia total gasta no sistemas de abastecimento. Essa significativa parcela energética é necessária para que seja garantida uma adequada pressão de bombagem de modo que a água possa ser transportada, nas condições ideais de quantidade e qualidade, ao usuário final.

Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de se fazer com que as bombas utilizadas nos sistemas de abastecimento operem de modo a desempenhar a máxima eficiência possível. Para isso, uma estratégia oportuna na busca da minimização do consumo de energia é a utilização de bombas cuja velocidade de rotação é variável em substituição àquelas cuja velocidade é fixa.

Uma bomba de velocidade variável funciona acoplada a um inversor de frequência, cujo objetivo é alterar a fonte de alimentação para que a sua velocidade seja, conseqüentemente, modificada até que se encontre a configuração ideal de funcionamento, que implique um rendimento máximo (Marchi; Simpson; Ertugrul, 2012). Numa situação em que a velocidade é reduzida, o ponto de funcionamento da bomba é deslocado e, assim, ela passa a operar sob novas condições de vazão e, logo, de rendimento. Desta forma, faz-se necessária a determinação do rendimento no seu novo regime de funcionamento.

Na literatura, encontra-se uma fórmula empírica, proposta por Sârbu e Borza (1998), para se fazer uma estimativa do rendimento final da bomba. Trata-se da equação 1 a seguir:

$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1) \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{0.1} \quad [1]$$

Na equação 1, N significa a velocidade de rotação da bomba, η é o rendimento e os índices 1 e 2 exprimem os estados inicial e final, respectivamente.

Mediante a contexto exposto, este trabalho tem por objetivo medir a precisão dos rendimentos estimados pela Equação de Sârbu e Borza e, em seguida, propor uma alteração no expoente da mesma, tentando tornar os seus resultados mais fidedignos.

Redução de velocidade

Supondo que existam duas bombas iguais, de mesmo tamanho, que recalcam o mesmo tipo de fluido, operando com velocidades de rotação diferentes: N1 e N2, é fato que haverá

semelhança geométrica, já que as bombas são iguais (mesmo diâmetro). Assim, impondo a semelhança completa, igualando os adimensionais e cancelando as grandezas mantidas constantes, chega-se às seguintes relações de semelhança, também conhecidas por leis de similaridade (SANTOS, 2007).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad [2]$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad [3]$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \quad [4]$$

As leis de afinidade afirmam que a variação na vazão, na altura manométrica e na potência da bomba são funções linear, quadrática e cúbica, respectivamente, da mudança na velocidade de rotação da bomba (SIMPSON; MARCHI, 2013).

Metodologia

Os procedimentos metodológicos referentes a esta investigação foram realizados no Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os mesmos consistem em testes de cunho não experimental que, no entanto, permitiram uma análise da acurácia dos valores fornecidos pela equação de Sârbu e Borza. A partir dos resultados desses testes, foi possível ainda ajustar o expoente da referida fórmula, tornando melhor a confiabilidade de suas estimativas.

Preliminarmente, o procedimento consistiu na escolha de 5 marcas de bombas e, em seguida, na tomada de 10 unidades de cada uma dessas marcas. Através das informações contidas nos manuais dessas 50 bombas, foram extraídas as curvas de desempenho e de rendimento à velocidade de rotação nominal. As equações das curvas mencionadas foram obtidas com o uso de planilhas eletrônicas do Microsoft Excel, através da função “adicionar linha de tendência”, selecionando a opção “exibir equação no gráfico”.

Posteriormente à obtenção da equação da curva da bomba para a velocidade nominal de rotação, foram determinadas as equações das curvas de performance da bomba para velocidades correspondentes a 70%, 80% e 90% da velocidade nominal. Então, procedendo-se desse modo, a fórmula de Sârbu e Borza foi testada três vezes para cada bomba, perfazendo assim um total de 150 testes..

Em seguida, estipulou-se para cada bomba uma equação da curva do sistema que intersectasse as curvas da bomba relativas às mencionadas velocidades consideradas (70%, 80%, 90% e 100% da velocidade nominal). Construíram-se os gráficos referentes aos ensaios feitos em cada bomba, identificando-se

quatro pontos de operação: PO₁, PO₂, PO₃ e PO₄, conforme a figura 1.

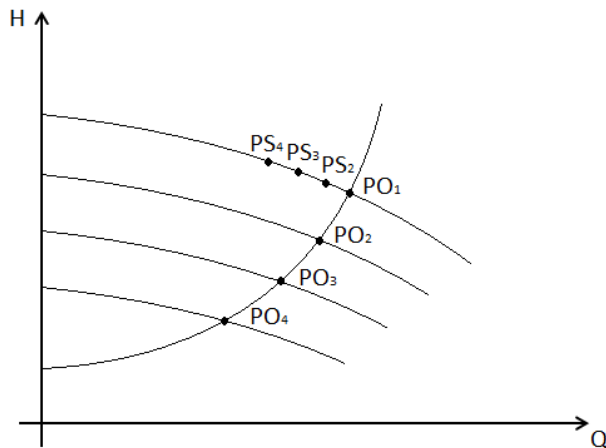


Figura 1.- Pontos de operação e pontos semelhantes.

Por último, os rendimentos dos pontos PO₂, PO₃ e PO₄ foram estimados pela fórmula de Sârbu e Borza. Tais valores estimados foram postos comparação com os rendimentos calculados com o intermédio das leis de similaridade. Então, em cada bomba e a passo de redução de rotação, calculou-se, pela equação 5, o erro da estimativa fornecida pela equação analisada em cada teste.

$$Erro = \left| \eta_{SB} - \eta_{LS} \right| \quad [5]$$

Ao final da realização dos 150 testes, identificou-se cabível a oportunidade de se realizar um ajuste no expoente da fórmula de Sârbu e Borza (0.1) para que os valores de rendimento estimados por ela pudessem ser ainda mais próximos aos calculados com o apoio das leis de similaridade. Em cada teste, determinou-se o valor numérico ideal para o expoente que proporcionasse uma melhor estimativa de rendimento e, assim, constatou-se que tal valor procurado não seria constante, mas sim uma função da vazão Q₀ no ponto de operação inicial da bomba, em metros cúbicos por hora.

Nesta fase, levantaram-se algumas hipóteses sobre a função de Q₀ a substituir o expoente da equação de Sârbu e Borza. Diversas funções matemáticas de diferentes classes (polinômios, senóides, radicais e expressões logarítmicas) foram testadas no lugar do expoente 0.1. As expressões que mais adequaram os valores de rendimento estimados pela nova fórmula aos calculados pelas relações de semelhança foram as funções que envolviam polinômios de primeiro grau de Q₀. Propôs-se, então, a seguinte fórmula de Sârbu e Borza ajustada:

$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1) \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{0,002Q_0} \quad [6]$$

Resultados

A precisão da fórmula ajustada é possível de ser comparada com a da fórmula original de Sârbu e Borza, a cada teste, através dos erros calculados pela equação 2 e, ainda, pelo somatório e pela média desses mencionados valores de erro. Os resultados serão exibidos em tabelas, nas quais estarão

destacados os rendimentos da fórmula ajustada nos testes em que ela se mostrou mais acurada do que a equação original.

Conclusão

A fórmula ajustada foi testada para reduções de velocidade até 70% da velocidade nominal de rotação de cada bomba. Os seus resultados apontaram uma maior precisão em relação à fórmula de Sârbu e Borza original, através do somatório e da média dos erros obtidos em cada teste e, ainda, através da quantidade de testes nos quais a estimativa da nova fórmula foi mais precisa do que as estimativas das outras duas fórmulas.

A utilização da fórmula de Sârbu e Borza ajustada é, portanto, vantajosa em relação às fórmulas anteriormente enunciadas na literatura, uma vez que a sua estimativa mais precisa do rendimento da bomba em seu novo ponto de funcionamento proporciona um cálculo mais acurado da potência e, conseqüentemente, do consumo de energia no sistema de bombeamento.

Referencias

- Firmino, M. B. M., Albuquerque, A. A., Curi, W. F. and Silva, N. C. (2006). Método de eficiência energética no bombeamento de água, via programação linear. VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa.
- Marchi, A., Simpson, A. R. and Ertugrul, N. (2012). Assessing variable speed pump efficiency in water distribution systems. Engineering and Science, v. 5, n. 1, p. 15-21, 2012.
- Sârbu, I. and Borza, I. (1998). Energetic optimization of water pumping in distribution systems. Mechanical Engineering, v. 42, n. 2, p. 141-152.