

DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DE BOMBAS HIDRÁULICAS ATRAVÉS DE MODELO MATEMÁTICO

ANDRÉ LUIZ DIAS CALDAS¹, JACINTO DE ASSUNÇÃO CARVALHO², THIAGO HENRIQUE BURGARELLI TEIXEIRA³, FÁTIMA CONCEIÇÃO REZENDE⁴

¹ Eng. Agrícola, Doutorando em Recursos Hídricos em Sist. Agrícolas, UFLA, (35) 991486513, caldasagri@yahoo.com.br

² Eng. Agrícola, Prof. Depto. de Engenharia da UFLA, (35) 38291489, jacintoc@deg.ufla.br

³ Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, (35) 992329700, teixeira.agricola@gmail.com

⁴ Eng. Agrícola, Pesq. Depto. de Engenharia da UFLA, (35) 38291158, frezende@deg.ufla.br

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: Atualmente são diversos os modelos de bombas hidráulicas à disposição dos projetistas para dimensionamento de adutoras para irrigação. Mesmo que hidráulicamente correto, é necessário que o projeto seja economicamente viável, portanto, é de suma importância a realização de diversas simulações para obtenção do diâmetro econômico. Dentre as variáveis a serem consideradas, está o rendimento da bomba, que é em função da vazão e da altura manométrica, obtida por meio de curvas em catálogos de fabricantes. O objetivo do trabalho foi estimar o máximo rendimento de bombas hidráulicas, por meio de modelos matemáticos. Foram selecionados diversas marcas e modelos de bombas centrífugas, posteriormente, obtido para o ponto de máximo rendimento (η_b) a vazão (Q) e a altura manométrica (Hman) correspondente, e calculada a rotação específica (n_s). Com essas informações e auxílio do software Table Curve 3D[®] foram gerados os modelos. Dentre os diversos modelos obtidos, o que melhor apresentou coeficiente de determinação, $r^2 = 0,782$, foi o modelo do tipo polinomial, descrito a seguir: $\eta_b = 78,346 - 138,7n_s^{-0,5} + 1,968Q^{0,5}$.

PALAVRAS-CHAVE: Bomba centrífuga, Máximo rendimento, Conduto forçado.

DETERMINATION OF HYDRAULIC PUMP PERFORMANCE THROUGH MATHEMATICAL MODEL

ABSTRACT: Currently there are various models of hydraulic pumps available to designers for pipelines sizing for irrigation. Even if correct hydraulically, it is necessary that the project is economically viable, so it is very important to carry out a number of simulations to obtain the economic diameter. Among the variables to be considered, is the pump efficiency, which is a function of flow rate and total head obtained by means of curves in manufacturers catalogs. The objective was to estimate the maximum efficiency of hydraulic pumps, through mathematical models. We selected several brands and models of centrifugal pumps subsequently obtained for the maximum efficiency point (η_b) the flow rate (Q) and the total head (Hman) corresponding, and calculated specific rotation (n_s). With this information and aid the Table Curve 3D[®] software models were generated. Among the various models obtained, which showed the best coefficient of determination, $r^2 = 0.782$, was the model of polynomial type, described by: $\eta_b = 78,346 - 138,7n_s^{-0,5} + 1,968Q^{0,5}$.

KEYWORDS: Centrifugal pump, Maximum performance, Pressure pipe.

INTRODUÇÃO: Uma bomba hidráulica é uma máquina que transforma a energia mecânica oriunda no motor em energia hidráulica, transferindo ao fluido um acréscimo de energia sob as formas de pressão, cinética, ou ambas (CARVALHO e OLIVEIRA, 2014). Nas bombas hidráulicas centrífugas, ou radiais, o fluido é admitido em sentido paralelo ao centro do rotor e sai em direção perpendicular, devido à força centrífuga gerada pela alta rotação do rotor.

São comumente utilizadas em projetos de adução para sistemas de irrigação para obtenção de grandes alturas manométricas e relativamente baixas vazões (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2010).

Atualmente, há diversos modelos de bombas centrífugas disponíveis comercialmente. Atendem a uma ampla gama de valores de vazão e altura manométrica. Diante das inúmeras possibilidades, o projetista se vê em uma situação complexa de escolha e que garanta um projeto hidraulicamente correto. Mesmo que hidraulicamente correto é necessário que o projeto seja economicamente viável, portanto, a realização de diversas simulações para obtenção do diâmetro econômico, é de suma importância (CALDAS *et al.*, 2015).

Dentre as variáveis a serem consideradas no dimensionamento econômico, está o rendimento da bomba, que pode ser definido como a relação entre a potência fornecida e a potência consumida, variável em função da vazão e da altura manométrica. É obtido por meio de curvas em catálogos de fabricantes, o que torna o processo de obtenção dessa informação moroso. Os rendimentos máximos das bombas hidráulicas centrífugas variam entre 46% a 84% (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2010).

Estimar o máximo rendimento de bombas hidráulicas por meio de modelos matemáticos pode ser uma alternativa simples e de rápida obtenção, além de apresentar resultados precisos.

Sob o presente contexto, o objetivo do trabalho foi ajustar um modelo matemático, no intuito de estimar o máximo rendimento de bombas hidráulicas, em função da vazão e da rotação específica, por meio de regressão linear múltipla.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado no Setor de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais, no ano de 2014. Foram considerados diversos modelos de bombas hidráulicas centrífugas, disponíveis comercialmente, dos fabricantes KSB, Imbil, Schneider e Thebe, com rotação nominal de 1750 e 3500 rpm, para vazões e alturas manométricas até 500 m³ h⁻¹ e 300 m, respectivamente.

Utilizando-se catálogos técnicos, fornecidos em diversos estabelecimentos comerciais e nas páginas eletrônicas dos fabricantes na internet, foi selecionado, nas curvas características de cada bomba, o ponto de máximo rendimento, e desses pontos foram extraídos os valores de vazão e altura manométrica. Adotou-se o ponto de máximo rendimento como sendo o ponto de operação da bomba.

De posse dos valores de vazão, altura manométrica e rotação nominal, foram calculados a rotação específica de cada uma das bombas, de acordo com a Equação 1.

$$N_s = \frac{N * \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

Em que,

N_s – rotação específica;

N – rotação nominal (1750 ou 3500 rpm);

Q – vazão, m³ h⁻¹;

H_{man} – altura manométrica, m.

Considerou-se, para escolha inicial da bomba, o valor da rotação específica, o qual permite determinar o tipo de rotor e o rendimento máximo de acordo com as condições operacionais (CARVALHO e OLIVEIRA, 2014), além de oferecer maiores informações técnicas ao projetista, auxiliando na maximização da escolha.

Com os valores de vazão, rotação específica e rendimento, foram ajustados diversos modelos matemáticos através de regressão linear múltipla, utilizando o programa computacional Table Curve 3D[®] (SYSTAT SOFTWARE Inc., 2002), sendo escolhido, posteriormente, aquele modelo que apresentou resultados mais precisos, equação simplificada e bom coeficiente de determinação (r^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Após uma série de procedimentos e simulações matemáticas realizadas virtualmente no programa Table Curve 3D[®], obteve-se diversos modelos. Inicialmente, os modelos foram agrupados em função da rotação nominal, ou seja, foram gerados modelos para bombas com rotação de 1750 e 3500 rpm. No entanto, com essa estratificação, os modelos não apresentaram resultados precisos. A redução e a dispersão dos dados pode justificar o baixo valor do coeficiente de determinação (r^2) obtido nos diversos modelos quando estratificados.

Ao agrupar as bombas de 1750 e 3500 rpm, foram obtidos vários modelos com coeficientes de determinação satisfatórios, dentre esses modelos, foi escolhido, em razão de sua simplicidade e por apresentar um bom coeficiente de determinação ($r^2=0,782$), o modelo polinomial de primeiro grau, representado na Equação 2, e seu comportamento podendo ser observado na Figura 1.

$$\eta_b = 78,346 - 138,7n_s^{-0,5} + 1,968Q^{0,5} \quad (2)$$

Em que,

η_b – rendimento da bomba, %;

n_s – rotação específica, adimensional;

Q – vazão, $m^3 h^{-1}$.

Apesar do modelo descrito acima, apresentar boa estimativa para os valores de rendimento máximo, estes devem ser considerados apenas para o ponto de projeto original (vazão x altura manométrica), e como uma estimativa inicial, nas simulações para obtenção do diâmetro econômico. Logo, existem outras variáveis que influenciam diretamente sobre o rendimento das bombas centrífugas, como o índice de carregamento (I_c) (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2010).

Foram comparados alguns valores de rendimento máximo estimados pelo modelo com os valores obtidos por meio do catálogo do fabricante nas curvas características das bombas. Apesar do modelo apresentar boa aproximação, observou-se que, para valores abaixo de $10 m^3 h^{-1}$ e acima de $200 m^3 h^{-1}$, o modelo tende a subestimar e superestimar, respectivamente, os valores de rendimento em aproximadamente 10%, para algumas bombas.

Para exemplificar, a bomba KSB, modelo Meganorm 80-200 (3500 rpm), possui rendimento máximo, de acordo com sua curva característica, de 81,5%. Quando calculado, o rendimento obtido foi de 84,5%, um erro relativo (e_r) de aproximadamente 3,55%. A bomba KSB 32-250 (3500 rpm), segundo a curva característica, possui rendimento máximo de 46%, e o rendimento calculado foi de 43,32%, erro relativo de aproximadamente 6%.

Em trabalhos futuros, pretende-se estratificar os modelos, em função da classificação da rotação específica (lenta, normal, rápida ou mista), com o objetivo de se obter modelos mais precisos.

Rendimento da bomba em função da vazão e do rotação específica
 Rank 324 Eqn 3501 $z=a+b/x^{0.5}+cy^{0.5}$
 $r^2=0.78211228$ DF Adj $r^2=0.77594565$ FitStdErr=4.4037218 Fstat=192.03931
 $a=78.346137$ $b=-138.72209$
 $c=1.9682116$

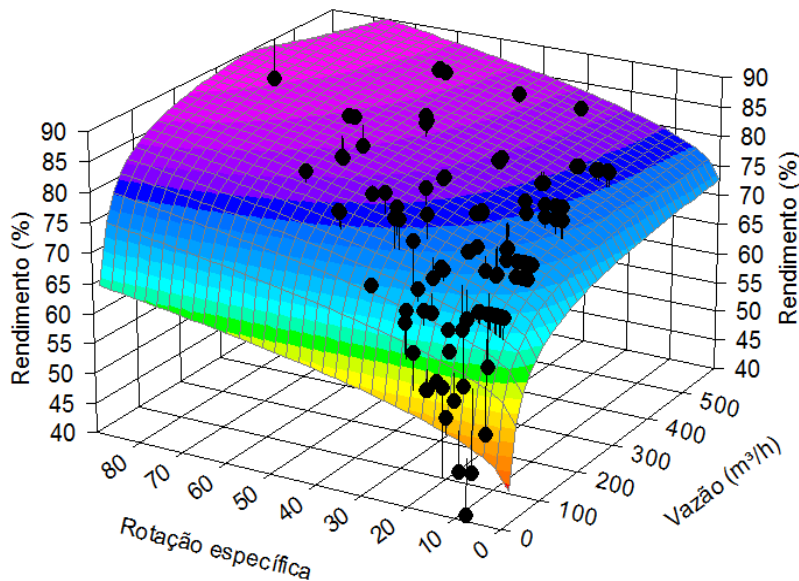


FIGURA 1. Rendimento das bombas hidráulicas em função da rotação específica e da vazão.

CONCLUSÕES: O modelo polinomial: $\eta_b = 78,346 - 138,7n_s^{-0,5} + 1,968Q^{0,5}$, pode ser utilizado para estimar, inicialmente, o rendimento de uma determinada bomba para um ponto de trabalho específico (vazão x altura manométrica), com uma boa aproximação, agilizando o processo de obtenção dessa variável, essencial nas diversas simulações para determinação do diâmetro econômico em projetos de adutoras para irrigação.

REFERÊNCIAS

CALDAS, A. L. D.; CARVALHO, J. A.; REZENDE, F. C. Determinação da velocidade econômica em adutoras em função do custo de bombeamento e custo da tubulação. Anais do XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2015. São Pedro, SP. 13 a 17 de setembro, 2015.

CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Instalações de bombeamento para irrigação: hidráulica e consumo de energia. 2º ed. rev. e amp. Lavras: UFLA, 2014. 429 p. il.

KSB. Manual de curvas características, 2005. Várzea Paulisa, SP. Disponível em: <<https://www.ksb.com/ksb-br-pt>> Acesso; Agosto, 2014.

OLIVEIRA FILHO, D.; RIBEIRO, M. C.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; FERNANDES, H. C. Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 30, n.6, p.10123-1022, nov./dez. 2010.

SYSTAT SOFTWARE, Inc. TABLE CURVE 3D®, Automated Surface fitting Analysis. V. 4.0. 2002. Disponível em: <<https://systatsoftware.com/downloads/download-tablecurve-3d/>> Acesso: Agosto, 2014.