



DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA VIRTUAL DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Adriano Lima - adrianulima@hotmail.com
Adrielle Rodrigues - adrielle_baia@yahoo.com.br
Daniel Martins - del_bm@hotmail.com
José Aleixo Porpino - aleixoporpino@hotmail.com
Kalwitalo Ibiapina - kalwitaloibiapina@gmail.com
Lorena Souza - lorena_souza7@hotmail.com
Manoel Sena - mjssena@prof.iesam-pa.edu.br
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
Av. Gov. José Malcher, 1148
CEP 66055-260 – Belém – Pará
André Mesquita – andream@ufpa.br
Universidade Federal do Pará
Campus Universitário do Guamá, S/N
CEP 66000-000 – Belém - Pará

Resumo: Este trabalho ilustra o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o projeto de sistemas de bombeamento. Esta bancada permite o cálculo da perda de carga de sistemas de bombeamento e a definição do ponto de funcionamento da bomba. O estudante pode entrar com as características que definem o sistema e a bomba. O aplicativo calcula então, através de um processo iterativo de solução não linear as condições de operação. Como saída de informações, tem-se as características do escoamento em todos os componentes do sistema. O número de combinações possíveis faz com que o estudante adquira um conhecimento muito adequado de um assunto tradicionalmente visto como complexo. Desta maneira, através de várias análises de cenário, ele pode relacionar o que é estudado na teoria com o que se verifica na prática no funcionamento do sistema. A plataforma de desenvolvimento escolhida privilegiou a disponibilidade do aplicativo via web.

Palavras-chave: Bomba hidráulica, simulação, perda de carga

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de bombas hidráulicas para elevar fluidos entre diferentes cotas é um dos processos mais comuns na indústria. Por isso, todos os estudantes de Engenharia Mecânica, Ambiental, de Produção, Química ou correlatas, passa por um processo de treinamento sobre o projeto e análise deste tipo de sistema. Isto acontece nas disciplinas de Mecânica dos Fluidos ou Hidráulica Aplicada. Para o projeto de instalações de bombeamento devem ser consideradas as características do sistema no qual a bomba será instalada (BRUNETTI, 2008), em especial as perdas de carga que ocorrerão nos elementos por onde escoará o fluido. Além disso, as características da bomba também devem ser conhecidas (BISTAFA, 2010). Dependendo do fluido que se precisa bombear e das condições de instalação, diversos tipos de bomba estão disponíveis.

Uma das características singulares deste tipo de instalação é que as análises da bomba e do sistema na qual ela será inserida não podem ser feitas de forma independente. Ao ser instalada uma bomba em um determinado sistema, o acoplamento entre os dois deve ser

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**o ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



calculado, o que é feito através de métodos iterativos somente (PRESS, 2007). Isto acontece porque a bomba fornecerá uma determinada vazão ao sistema, mas, por outro lado, a perda de carga do sistema depende da vazão. Este comportamento do conjunto é difícil de explicar aos estudantes se não houver uma forma simples de simular computacionalmente o mesmo, visto que os cálculos iterativos são custosos e demorados para serem realizados de outra maneira.

Este trabalho ilustra o desenvolvimento de uma bancada virtual de análise e projeto de sistemas de bombeamento que permite ao estudante, de maneira simples, rápida e intuitiva, especificar as características do sistema e da bomba, e simular diversas condições de funcionamento.

2. METODOLOGIA

O problema do acoplamento entre a bomba e o sistema equivale a um problema de programação não linear, com as condições de igualdade das equações (1) e (2) que devem ser impostas.

$$H_{\text{bomba}} = H_{\text{sistema}} \quad (1)$$

$$Q_s = Q_r = Q_t = Q \quad (2)$$

Onde,

H_{bomba} – altura manométrica da bomba

H_{sistema} – altura manométrica do sistema

Q_s – vazão na tubulação de sucção

Q_r – vazão na tubulação de recalque

Q_t – vazão na tubulação para o tanque

A altura manométrica da bomba e a altura manométrica do sistema são calculadas com base nas equações (2) e (3), respectivamente.

$$H_{\text{bomba}} = aQ^2 + bQ + c \quad (3)$$

$$H_{\text{sistema}} = H_0 + H_s + H_r + H_t \quad (4)$$

Onde,

a, b e c são coeficientes obtidos através de regressão quadrática a partir da curva da bomba.

H_0 , H_s , H_r e H_t são, respectivamente, o desnível geométrico e as perdas de carga nas tubulações de sucção, recalque e tanque.

Por sua vez, os valores de H_s , H_r e H_t são calculados pelas equações (5), (6) e (7).

$$H_s = \frac{8c_{mpc}}{\pi^2 g (10^{-3})^5 3600^2} \left(\frac{f_s l_s Q_s^2}{D_s^5} \right) \quad (5)$$

$$H_r = \frac{8c_{mpc}}{\pi^2 g (10^{-3})^5 3600^2} \left(\frac{f_r l_r Q_r^2}{D_r^5} \right) \quad (6)$$



$$H_t = \frac{8c_{mpc}}{\pi^2 g (10^{-3})^5 3600^2} \left(\frac{f_t l_t Q_t^2}{D_t^5} \right) \quad (7)$$

Onde,

c_{mpc} – coeficiente de majoração das perdas distribuídas

g – aceleração da gravidade

f_s , f_r e f_t – coeficientes de atrito da tubulação de sucção, recalque e tanque, respectivamente

Q_s , Q_r e Q_t – vazões da tubulação de sucção, recalque e tanque, respectivamente.

Os coeficientes de atrito são calculados através das equações (8), (9) e (10), que são as formas explícitas das equações de Colebrooke-White.

$$f_s = \left(\frac{1}{-2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_s} - \frac{5,16}{Re_s} \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_s} + \frac{5,09}{Re_s^{0,87}} \right) \right)} \right)^2 \quad (8)$$

$$f_r = \left(\frac{1}{-2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_r} - \frac{5,16}{Re_r} \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_r} + \frac{5,09}{Re_r^{0,87}} \right) \right)} \right)^2 \quad (9)$$

$$f_t = \left(\frac{1}{-2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_t} - \frac{5,16}{Re_t} \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_t} + \frac{5,09}{Re_t^{0,87}} \right) \right)} \right)^2 \quad (10)$$

Onde,

D_s , D_r e D_t são, respectivamente, os diâmetros das tubulações de sucção, recalque e tanque.

Re_s , Re_r e Re_t são, respectivamente, os Números de Reynolds das tubulações de sucção, recalque e tanque.

O processo de solução iterativo envolve o cálculo dos coeficientes de atrito e posterior verificação das restrições de igualdade impostas pelas equações (1) e (2).

Para a implementação computacional, foi usada a linguagem de programação Actionscript e o ambiente de desenvolvimento Adobe CS5 (ROSENZWEIG, 2008 e SHUPE, 2008). Esta escolha se justifica pela aceleração no desenvolvimento dos projetos permitida pela integração imediata entre a parte gráfica e a parte de processamento da aplicação, além da disponibilidade do sistema via web.

3. RESULTADOS

A aplicação é composta de quatro interfaces separadas em diferentes abas. A figura 1 mostra a interface responsável pela entrada de dados geométricos de maneira interativa. Estes dados podem ser entrados através do processo de clicar e arrastar os elementos do sistema, ou seja, as tubulações e os tanques. Além desta maneira de interação, é possível também usar os *sliders* à esquerda, que foram desenvolvidos pela equipe do projeto e adicionados à biblioteca padrão de componentes do Adobe CS5.

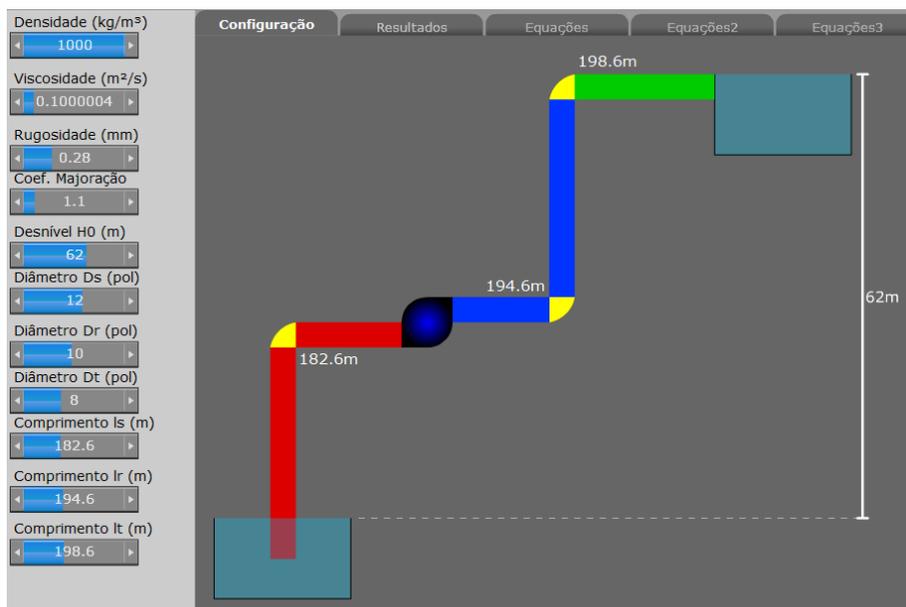


Figura 1 – Interface da aplicação

A figura 2 mostra a interface de saída de informações do programa, a partir dos dados especificados na interface da figura 1.

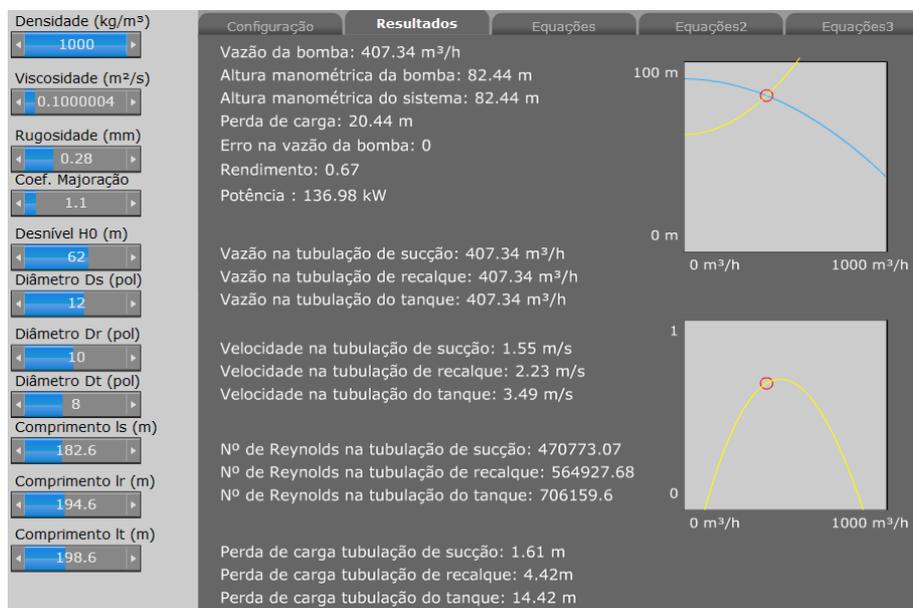


Figura 2 – Interface de saída de informações

Na figura 2 pode ser notado que as informações de saída são, algumas delas, no formato de números e, além disso, dois gráficos. O primeiro mostra o acoplamento do sistema, com a definição gráfica do ponto de funcionamento da bomba. O segundo gráfico mostra onde a bomba se encontra no que se refere ao rendimento do sistema.



É possível verificar que é possível, nesta mesma interface, modificar ainda os dados de entrada, de tal maneira a que o estudante verifique a influência destes parâmetros em tempo real.

As outras abas permitem ao estudante verificar todas as equações usadas para resolver o problema.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação desenvolvida permite aos estudantes de Engenharia verificar de forma bastante simples e rápida o fenômeno de acoplamento da bomba com o sistema no qual a mesma está instalada.

Grande compreensão dos fenômenos associados com o problema de perda de carga é adquirida com o uso da ferramenta. Podem ser feitas análises de sensibilidade a uma quantidade muito grande de parâmetros. Dentre eles, podem ser citados, os comprimentos das tubulações, os diâmetros das tubulações, as rugosidades das tubulações, a viscosidade e a densidade do fluido bombeado. Isto torna bastante rica a aplicação, do ponto de vista da compreensão física da influência de cada fator no funcionamento do conjunto.

A interface gráfica com o usuário foi projetada para proporcionar o máximo possível de facilidade de uso, de tal maneira que o estudante possa se concentrar no fenômeno modelado, e não nos detalhes de uso da ferramenta.

Como desenvolvimento a ser implementado, há a possibilidade de instalação de novos elementos nas tubulações, tais como filtros e válvulas, bem como o aumento da complexidade da tubulação, por exemplo, com a adição de mais um ramo de tubulação após a bomba.

Uma evolução desta bancada está sendo desenvolvida para análise do desempenho de bombas com velocidade variável, através do uso de inversores de frequência (MESQUITA et al, 2006, CARVALHO, 2000). Com esta característica, o sistema terá sua utilidade para os estudantes ainda mais acentuada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISTAFA, S. R., Mecânica dos Fluidos. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 2010.

BRUNETTI, F., Mecânica dos Fluidos. São Paulo: Prentice-Hall, 2008.

CARVALHO, J. A., et al. Utilização de inversores de frequência em sistemas de irrigação para controle de vazão. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, vol 4, n. 1, 2000.

MESQUITA, A. L. A., SILVA, L. J. S., PEREIRA, J. A. R., ABRAHIM JR., O. A., Utilização de bombas centrífugas em velocidade variável para a redução do consumo de energia. Anais do VI Serea – Seminário Iberoamericano sobre sistemas de abastecimento de água. João Pessoa: 2006.

PRESS, W. H. et al, Numerical Recipes: the art of scientific computing. Cambridge University Press, 2007.

ROSENZWEIG, G.. Actionscript 3.0 Game Programming University. Que, 2008.



SHUPE, R., Learning Actionscript 3.0. O'Reilly, 2008.

DEVELOPMENT OF A VIRTUAL PUMPING STATION

Abstract: *This paper illustrates the development of a computational tool for the design of pumping systems. This bench allows the calculation of pressure drop of pumping systems and setting the operating point of the pump. The student can enter the characteristics that define the system and pump. The application then calculates, by means of a nonlinear iterative solution, the operating conditions. As output information, the student has the flow characteristics of all system components. The number of possible combinations makes the student acquire a very adequate knowledge of a subject traditionally seen as complex. Thus, through various scenario analyzes, it can relate to what is studied in theory with what occurs in practice in the operation of the system. The chosen development platform privileges the application availability via the web.*

Key-words: *Hidraulic pump, simulation, head loss*