Unisanta Science and Technology, **2015, 6, December**
Published Online 2015 Vol.4 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Modelagem em MATLAB para Determinação do Rendimento de uma Bomba Centrífuga

Renato de Marchi Vieira dos Santos[1], Dorotéa Vilanova Garcia[1]

[1]Universidade Santa Cecília - Unisanta
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos – SP, Brasil.
E-mail*:* renatodemarchi@rdmengenharia.com.br

Received March, 2015

Resumo: As bombas centrífugas são utilizadas para transformação da energia mecânica em energia hidráulica. O rendimento da bomba pode ser determinado através da relação entre a potência útil, sendo essa influenciada diretamente pela vazão fornecida, a potência no eixo fornecida pelo motor e pelas características de fabricante. Esse trabalho propõe uma modelagem computacional para a determinação do rendimento da bomba centrífuga, utilizando como recurso computacional do MATLAB através de scripts, de modo a tornar os cálculos mais precisos e inserção de dados de modo amigável. Como resultado do modelo proposto fora criado dois ensaios validando a ferramenta desenvolvida de forma satisfatória e precisa.

Palavras chave: Rendimento. bomba centrífuga; Influência da rotação; MATLAB. Modelagem.

Modeling in MATLAB to determine Performance of a Centrifugal Pump

Abstract: Centrifugal pumps are used to transform mechanical energy into hydraulic energy. The pump performance can be determined by relating the net power, this being directly influenced by the flow provided, the shaft power supplied by the engine and the manufacturer characteristics. This paper proposes a computer modeling for determining the performance of the centrifugal pump, such as computational resource using MATLAB via scripts, in order to make more accurate calculations and insertion friendly mode data. As a result of the proposed model was created two trials validating the tool developed satisfactorily and accurately.

Keywords: efficiency. centrifugal pump; Influence of rotation; MATLAB. Modeling.

1. Introdução

A bomba centrífuga é um dos equipamentos mais utilizados no mundo e é usada nas mais diversas áreas como, por exemplo, na irrigação, no abastecimento de água, na indústria petroquímica, no setor automobilístico, entre outros. O princípio de funcionamento de uma bomba centrífuga consiste em transferir a energia cinética proveniente de um rotor ao líquido bombeado, fazendo com que o fluido escoe no interior de um duto [1]. São máquinas geratrizes que transformam energia mecânica em energia hidráulica, dotadas de motores elétricos que realizam esse tipo de serviço [2]. O conhecimento da dinâmica do escoamento que ocorre em bombas é de fundamental importância para o projeto e manutenção desses equipamentos. Com informações detalhadas sobre o escoamento, ou seja, com o perfil de velocidades, campo de pressão e tensão de cisalhamento nas paredes, é possível identificar fatores que possam aperfeiçoar o projeto e escolha do material da bomba[1].

Os programas computacionais de dinâmica dos fluidos computacional possuem uma diversidade de modelos matemáticos que buscam descrever os comportamentos físicos presentes no escoamento real. Porém, sob certas

Copyright © 2015 ISESC.

condições, como por exemplo, em escoamentos turbulentos se faz necessária a utilização de modelos que busquem representar adequadamente esse fenômeno. Sempre que se utiliza um programa de mecânica dos fluidos computacional para simular escoamentos em bombas centrífugas, com fins de projeto ou de desenvolvimento, é necessário, posteriormente, validar os resultados obtidos com um protótipo real. Isso é feito porque podem ocorrer pequenas divergências entre o modelo numérico e o fenômeno físico real [1].

O rendimento da bomba centrífuga pode ser determinado por cálculo sistemático onde é obtido pela relação entre a potência útil da bomba (energia recebida pelo líquido que sai da bomba) pela potência no eixo fornecida pelo motor [3]. A determinação do rendimento da bomba centrífuga envolve um ensaio experimental com a medição de vazão em protótipo de bancada [3].

Para dar precisão aos cálculos de engenharia é utilizada a ferramenta computacional MATLAB, através de um script com o sequenciamento dos cálculos que auxiliará na determinação o mais precisa possível do rendimento da bomba centrífuga.

O MATLAB é uma linguagem de computação técnica precisa largamente utilizado nas universidades e faculdades nos cursos introdutórios ou avançados de matemática, ciências e, especialmente, nas engenharias, sendo importante software de pesquisas para indústrias [4]. Também é utilizado no meio científico para o processamento de matrizes, cálculos polinomiais, visualização gráfica, simulação, processamento de imagens, filtragem, otimização, estatística e controle de processos, entre outras finalidades [5]. A técnica de simulação para processos contínuos, já é bastante difundida na indústria do petróleo e gás, visto que proporciona um ambiente favorável ao estudo aprofundado de processos, sem que seja necessário o contato direto com o processo real. Assim é possível o treinamento de operadores sem por em risco a segurança da instalação, o que consequentemente garante a qualidade do produto final. A simulação também se apresenta como uma ferramenta eficaz para o estudo de estratégias avançadas de controle, que se tornaram uma necessidade urgente nas indústrias do petróleo e gás, dado que os processos produtivos tiveram que ser adaptados às novas características do mercado internacional [6].

1.1. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma modelagem computacional no MATLAB através de *scripts* com os cálculos sequenciais para determinar o rendimento de uma bomba centrífuga através de ensaio experimental. Os dados para a determinação do rendimento serão inseridos pelo usuário ao qual fornecerá os parâmetros necessários para o cálculo do rendimento. Para validação do script, foi utilizado uma referência bibliográfica em duas situações como demonstração de funcionamento da ferramenta. Espera-se, com isso, que essa determinação de rendimento seja mais ágil e precisa com a demonstração clara de todas as variáveis necessárias para o ótimo dimensionamento da bomba centrífuga.

2. Materiais e Métodos

Para a realização do experimento foi colocado em funcionamento uma bomba centrífuga de rotação variável e efetuada a coleta de água no menor tempo possível, para evitar erro de leitura da vazão. De acordo com dados bibliográficos [3] foi efetuada a reposição de água no tanque, uma vez que a bomba centrífuga é influenciada pelo nível do líquido no tanque.

As construções dos *scripts* foram efetuadas na ordem sistemática de modo a se obter todos os dados necessários para o cálculo do rendimento. Para que o programa possa iniciar os cálculos são necessários alguns dados inseridos pelo usuário na ordem demonstrada e solicitada pelo próprio programa conforme a figura 1.

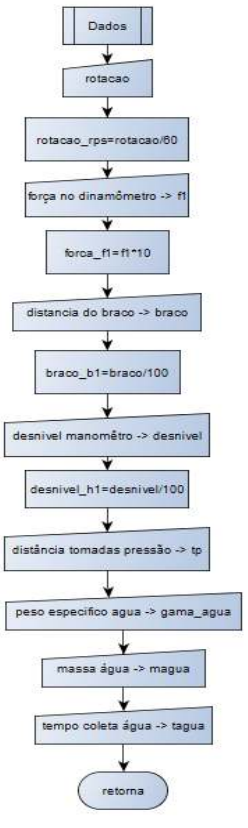


Figura 1. Sistemática de dados a serem inseridos pelo usuário.

Copyright © 2015 ISESC

Para receber os dados inseridos pelo usuário, o script foi construído de forma a apenas serem inseridos dados válidos, como mostra a figura 2. No *layout* do programa, apenas os dados numéricos são inseridos pelo usuário de maneira sistemática sendo solicitados pelo próprio script, conforme demonstra o ensaio 1 na figura 3. Caso o usuário insira um dado inválido, o programa acusará o valor inválido impedindo o cálculo do rendimento com valores irreais ou não numéricos.

Após inserido os dados pelo usuário, ao qual dependem também os fatores de medição no protótipo experimental, o programa realiza uma sequência de cálculos de acordo com dados bibliográficos [3]. Como resultado o programa retorna os valores referentes à vazão volumétrica, altura manométrica, potência no eixo da bomba fornecida pelo motor, potência útil e finalmente o rendimento da bomba, conforme demonstra o esquema da figura 4.

```
%recebe os dados e consiste as informações
rotacao=input('Forneça a rotação da bomba (rpm): ');
while rotacao <=0
   disp('Valor errado... digite novamente!');
   rotacao=input('Forneça a rotação da bomba (rpm): ');
end
rotacao_rps=rotacao/60;
f1=input('Forneça a força medida no dinamômetro (daN): ');
while f1<0
   disp('Valor errado... digite novamente!');
   f1=input('Forneça a força medida no dinamômetro (daN): ');
end
forca_f1=f1*10;
braco=input('Forneça a distância do braço (cm): ');
while braco<0
    disp('Valor errado... digite novamente!');
    braco=input('Forneça a distância do braço (cm): ');
end
braco_b1=braco/100;
desnivel=input('Forneça o desnível no manômetro em "U" (cm): ');
while desnivel<0
    disp('Valor errado... digite novamente!');
    desnivel=input('Forneça o desnível no manômetro em "U" (cm): ');
end
desnivel_h1=desnivel/100;
tp=input('Forneça a distância entre as tomadas de pressão (m): ');
while tp<0
   disp('Valor errado... digite novamente!');
   tp=input('Forneça a distância entre as tomadas de pressão (m): ');
end
gama_agua=input('Forneça o peso específico da água (kg/m³): ');
while gama_agua<=0
    disp('Valor errado... digite novamente!');
    gama_agua=input('Forneça o peso específico da água (kg/m³): ');
end
magua=input('Forneça a massa de água coletada para medir a vazão (g): ');
while magua<0
   disp('Valor errado... digite novamente!');
   magua=input('Forneça a massa de água coletada para medir a vazão (g): ');
end
tagua=input('Forneça o tempo de coleta de água (s): ');
while tagua<0
   disp('Valor errado... digite novamente!');
   tagua=input('Forneça o tempo de coleta de água (s): ');
end
disp(' ');
```

Figura 2. *Script* da inserção de dados pelo usuário.

Copyright © 2015 ISESC
Unisanta Science and Technology (64-70) p.p. ISSN 2317-1316

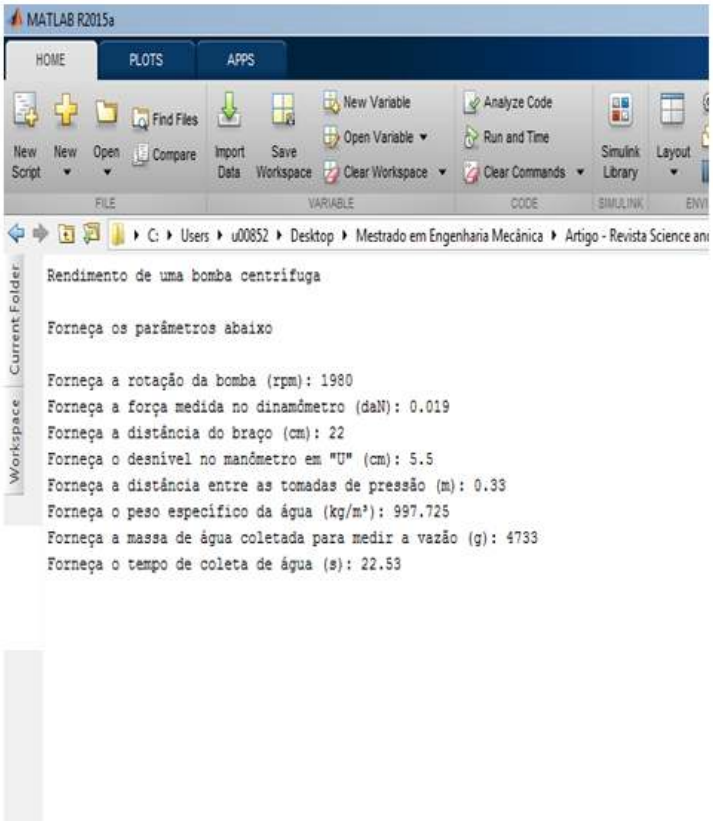


Figura 3. Layout do programa para inserção de dados pelo usuário.

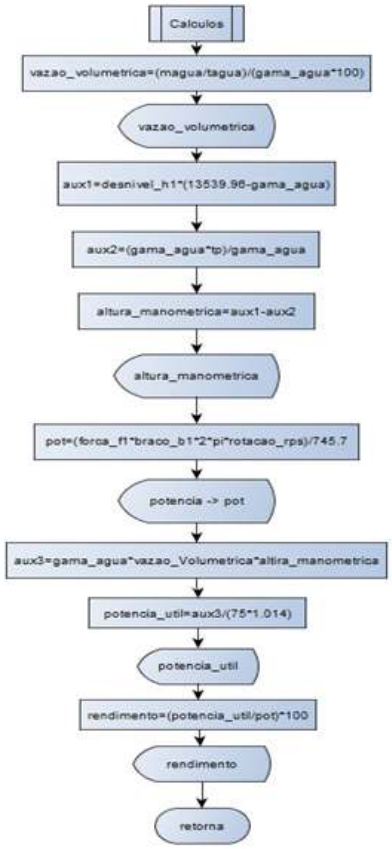


Figura 4. Cálculos realizados pelo programa e retorno dos resultados.

Dessa forma, os cálculos são efetuados de maneira sequenciada pelo programa através das equações transformadas em scripts, como demonstra a figura 5. Para o cálculo da potência útil, é necessário multiplicar o peso específico da água pela vazão de massa de água coletada e altura manométrica determinada pela aplicação da Lei de Stevin nos pontos de mesma pressão no manômetro [3].

O resultado da potência útil será fornecido pelo *script* em "horse-power" (hp), conforme figura 6.

```
% efetua os cálculos e exibe os resultados
disp('Resultados processados');
disp(' ');
vazao_volumetrica=(magua/tagua)/(gama_agua*1000);
fprintf('Vazão volumétrica (m³/s): %10.6f \n',vazao_volumetrica);
altura_manometrica=(desnivel_h1*(13539.96-gama_agua)-(gama_agua*tp))/gama_agua;
fprintf('Altura manométrica (m.c.a): %10.6f \n',altura_manometrica);
pot=(forca_f1*braco_b1*2*pi*rotacao_rps)/745.7;
fprintf('Potência no eixo da bomba fornecida pelo motor (hp): %10.6f \n',pot);
potencia_util=(gama_agua*vazao_volumetrica*altura_manometrica)/(75*1.014);
fprintf('Potência útil (hp): %10.6f \n',potencia_util);
rendimento=(potencia_util/pot)*100;
fprintf('Rendimento da bomba centrífuga (porcentagemaltura): %10.6f \n',rendimento);
disp(' ');
```

Figura 5. *Script* dos cálculos para o rendimento da bomba efetuado pelo programa.

Copyright © 2015 ISESC

Para determinação da potência no eixo fornecida pelo motor é necessária a multiplicação da força medida no dinamômetro pela distância do braço, pelo dobro do número π e finalmente pela rotação da bomba [3]. Essas equações foram desenvolvidas no *script* do MATLAB, indicados na figura 7.

O resultado da potência no eixo será fornecido pelo script em "horse-power" (hp).

O peso específico da água depende da temperatura em que a mesma apresenta, no caso experimental foi de 22,2ºC [3].

Os dados coletados foram obtidos de uma bomba centrífuga sem voluta e o rotor adaptado para transporte hidráulico de sólidos [3]. Para a validação da ferramenta necessária ao cálculo é preciso dados reais aos quais se podem obter certeza de que o programa construído é válido. Para isso foram realizados dois ensaios obtidos na bibliografia [3]. Os dados necessários para o cálculo do rendimento da bomba centrífuga são fornecidos pelo usuário, pois dependem de dados experimentais. Os dados dos ensaios para a modelagem são fornecidos pela tabela 1. Esses ensaios foram efetuados de modo a exemplificar o conceito de influência da rotação nas curvas da bomba centrífuga.

```
potencia_util=(gama_agua*vazao_volumetrica*altura_manometrica)/(75*1.014);
fprintf('Potência útil (hp): %10.6f \n',potencia util);
```

Figura 6. *Script* desenvolvido para determinação da potência útil.

```
pot=(forca_f1*braco_b1*2*pi*rotacao_rps)/745.7;
fprintf('Potência no eixo da bomba fornecida pelo motor (hp): %10.6f \n',pot);
```

Figura 7. *Script* desenvolvido para determinação da potência no eixo fornecida pelo motor.

Tabela 1 - Dados necessários para o cálculo do rendimento da bomba centrífuga.

Valores experimentais	Ensaio 1	Ensaio 2
Rotação (rpm)	1980	2552
Força no dinamômetro (daN)	0,019	0,029
Distância do braço (distância do centro do eixo ao ponto de tração do dinamômetro) (cm)	22,0	22,0
Desnível do mercúrio no manômetro em U (cm)	5,5	9,0
Distância na vertical entre as tomadas de pressão do centro do tubo horizontal de sucção até a tomada no tubo de recalque (m)	0,33	0,33
Massa de água coletada (g)	4733	4420
Tempo de coleta de água (s)	22,53	15,79
Peso específico da água (kgf/m³)	997,725	997,725

Legenda: rpm: rotações por minuto; daN: deca-Newnton; cm: centímetros; m: metros; g: gramas; s: segundos; kgf/m³: quilogramas-força por metro cúbico.

O rendimento da bomba centrífuga é determinado pela relação da potência útil, ou seja, a energia recebida pelo líquido que sai da bomba pela potência no eixo fornecida pelo motor [3]. O *script* desenvolvido para o cálculo do rendimento da bomba centrífuga é ilustrado na figura 8.

```
rendimento=(potencia_util/pot)*100;
fprintf('Rendimento da bomba centrífuga (porcentagemaltura): %10.6f \n',rendimento);
```

Figura 8. O *script* desenvolvido irá mostrar ao usuário o rendimento da bomba centrífuga.

Copyright © 2015 ISESC *Unisanta Science and Technology* **(64-70) p.p. ISSN 2317-1316**

3. Resultados e discussões

Como teste para o programa, foram efetuados dois ensaios com os dados retirados da tabela 1 acima.

Na figura 9 é demonstrado os cálculos para o ensaio 1.

O MATLAB forneceu resultados que coincidem com os da bibliografia [3] para vazão volumétrica, altura manométrica, as potências no eixo da bomba, potência útil e finalmente o rendimento da bomba centrífuga.

O programa foi novamente testado com o ensaio 2 retirado da tabela 1 e demonstrado pela figura 10.

Assim como no ensaio 1, o ensaio 2 teve como resultado os mesmos valores que estão na bibliografia [3].

Após o término dos cálculos, o programa executa um script perguntando ao usuário se ele deseja realizar um novo ensaio. Se sim, o programa é reiniciado. Caso contrário, o mesmo é encerrado.

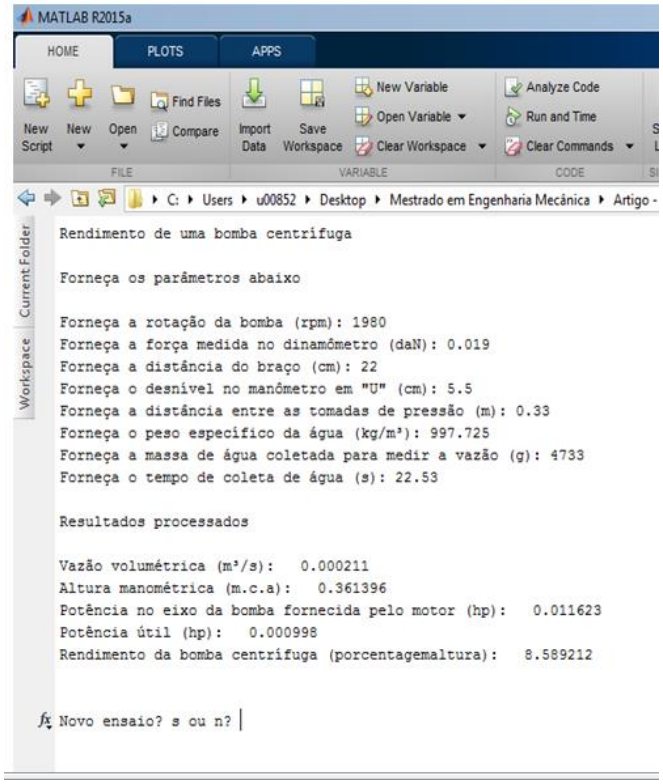


Figura 9. Modelagem do ensaio 1 com os resultados necessários para o rendimento da bomba centrífuga.

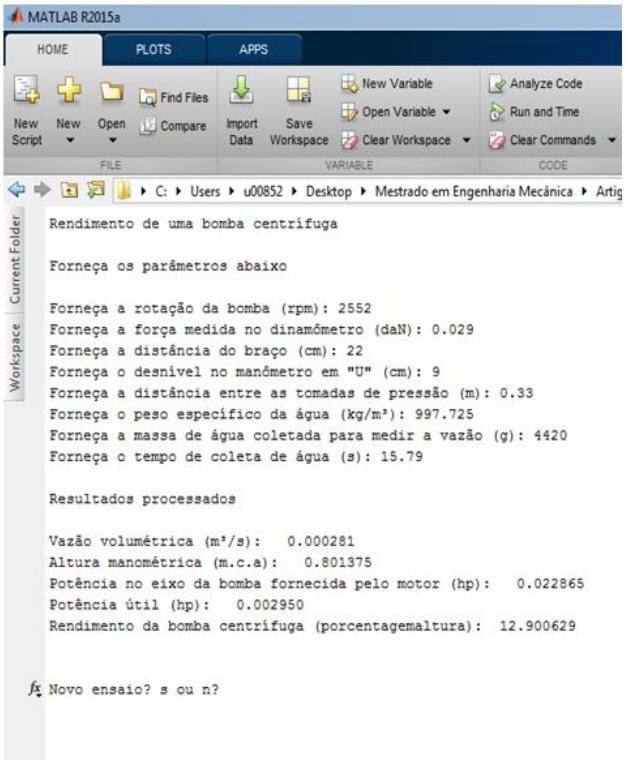


Figura 10. Modelagem do ensaio 2.

3.1 Discussão

O modo interativo e preciso com que o MATLAB auxilia na resolução de problemas complexos permite com que a precisão dos resultados possa demonstrar diversos parâmetros para os engenheiros como a performance de um sistema ou projetos de melhoria. No caso estudado, pode-se perceber rendimentos bem abaixo do que se costuma determinar em unidades de bombeamento industrial. Isso ocorre porque os cálculos determinados são efetuados para casos reais. Nos ensaios estudados, foi utilizado uma bomba centrífuga adaptada, inclusive com rotor artesanal adaptado.

Observando os resultados, pode-se observar forte influência na relação entre a rotação da bomba, no aumento da vazão e o rendimento da bomba. Isso é validado pelos valores demonstrados nos dois exemplos adotados para os valores de rotação. Com o auxílio da ferramenta MATLAB foi determinada o rendimento em duas situações de rotações fornecidas.

A rotação da bomba influencia na vazão de água, fator importante para aumento da potência útil da bomba, aumentando significativamente esse valor e dessa forma o mesmo é diretamente proporcional ao rendimento da bomba.

Copyright © 2015 ISESC

Importante notar no caso estudado é que os *scripts* foram construídos seguindo uma programação estruturada. A programação estruturada é uma técnica para o projeto de programas em que uma hierarquia de módulos é utilizada, cada um tendo uma entrada e um único ponto de saída, e em que o controle é passado de cima para baixo através de estruturas sem ramificações incondicionais com níveis altos [7]. Nesse caso, esses módulos tiveram funções definidas pelo usuário através da inserção de dados. No ensaio experimental com o programa, ao aumentar em 572 rotações por minuto o valor do rendimento aumentou em torno de 4%, demonstrando a influência desse fator no rendimento, conforme demonstrado pela ferramenta. Com esses dados, a tendência natural é que se aumente a rotação para um aumento no rendimento, embora conforme esse fator é aumentado há maior consumo de energia elétrica.

O programa demonstra também, através dos seus resultados, que as potências útil e do motor também são influenciadas pela rotação da bomba aos quais são obtidos valores para cada uma das rotações fornecidas e medidas pelo usuário. Com esse parâmetro, o engenheiro tem condições de determinar qual é a capacidade hidráulica da bomba para que ela possa deslocar fluídos em diferentes viscosidades.

4. Conclusões

O MATLAB se mostrou eficaz determinando resultados precisos para o cálculo do rendimento da bomba. Os *scripts* determinaram fatores sistemáticos que contribuíram com o valor de cada uma das variáveis o mais próximo possível da realidade com os parâmetros calculados e os respectivos valores das rotações de bomba fornecidos. A metodologia de programação estruturada é a mais indicada para o estudo do caso, visto que é necessário que os cálculos executados pelo programa sejam efetuados de maneira ordenada e sistemática.

5. Referências Bibliográficas

1. SEGALLA, W, "Simulação Numérica do Escoamento Monofásico no Primeiro Estágio de uma Bomba Centrífuga de Duplo Estágio", Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

2. SANTOS, S. L., "Bombas & Instalações Hidráulicas"**.** 1ª ed. São Paulo: LCTE Editora, 2007. p 27-33.

3. MORAES Jr., D.; MORAES, M. S., "Laboratório de operações unitárias I: exemplos de projetos, problemas resolvidos, questões resolvidas de concursos públicos,ensaios de bancada de unidades industriais". 1ª ed. Santos, 2011. p 44-49.

4. GILAT, A, "MATLAB com Aplicações em Engenharia", 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. p 63.

5. COELHO, L. S., "Ensino de Modelagem e Identificação de Processos Usando Ambiente Computacional Matlab/Simulink", 29th Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Porto Alegre, 19-22 dezembro 2001. p 02.

6. MULLER, J. F., "Simulação para a Análise e Projeto de Controladores em Processos da Indústria Petroquímica", 2003.

7. PALM III, W. J., "Introdução ao MATLAB para Engenheiros". 3ª ed. Minas Gerais: AMGH Editora Ltda, 2011. p 147-149.

Copyright © 2015 ISESC