Unisanta Science and Technology, **2018, 3, December**
Published Online 2018 Vol.7 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Utilização de *Software* MATLAB para Cálculo Hidráulico e representação Gráfica da Curva de Sistema de uma Estação de Bombeamento

Edson Fouad Beck Filho e Dorotéa Vilanova Garcia

Unisanta - Universidade Santa Cecília
Programa de Pós-Graduação Mestrado em Engenharia Mecânica – PPGEMEc
Rua Oswaldo Cruz, 266- Santos-SP, Brasil

E-mail*:* ed_ndko@hotmail.com
Received may, 2018

Resumo: Este trabalho teve por objetivo apresentar o cálculo hidráulico e a representação gráfica de uma curva de sistema Altura Manométrica x Vazão de uma estação de bombeamento utilizando o *software* computacional MATLAB® da empresa MathWorks. Foram feitos estudos a partir da bibliografia disponível, e após apresentação das fórmulas necessárias, elas foram inseridas com as devidas variáveis, após confirmação dos resultados, foi verificado a possibilidade de utilização do software como auxiliar aos cálculos de engenharia mecânica hidráulica, em especial sistemas de bombeamento.

Palavras chave: Hidráulica; Curva do Sistema; Bombeamento; Vazão; Altura Manométrica.

Using the Matlab Software for Hydraulic Calculation and Graphic Representation of the System Curve of a Pumping Station

Abstract: The objective of this work was to present the hydraulic calculation and the graphical representation of a system Head x Flow rate curve of a pumping station using MathWorks software MATLAB®. Studies were carried out from the available literature, and after presentation of the necessary formulas, they were inserted with the necessary variables, after confirming the results, it was verified the possibility of using the software as an aid to mechanical hydraulics engineering calculations, especially pumping.

Keywords: Hydraulics; System Curve; Pumping; Flow; Head.

1. Introdução

Na Engenharia Mecânica Hidráulica, um dos problemas mais recorrentes acontece em um sistema de bombeamento convencional, que é muito utilizado nas áreas de saneamento e oleodutos, onde é necessário saber o ponto ótimo de funcionamento de uma bomba.

Este ponto ótimo é também chamado de ponto de trabalho ou ponto de operação, ele é encontrado quando a curva característica da bomba, que é fornecida pelos fabricantes se intersecciona com a chamada "Curva do Sistema" de bombeamento, conforme Figura 1.

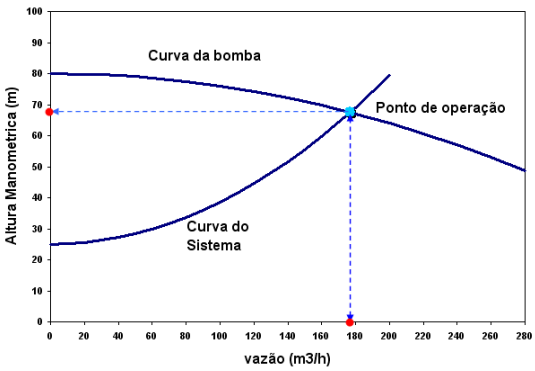

Figura 1. Curva do sistema x curva característica da bomba para encontrar ponto de operação da bomba (Fonte: DARIO, S.I.).

Copyright © 2018 ISESC.

Para chegar a esta curva do sistema, que é o objetivo deste artigo, será descrito uma das formas de cria-la, com as formulações hidráulicas de perda de carga localizada e distribuída, utilizando coeficientes dos materiais das tubulações, e a inserção destas fórmulas e variáveis dentro do *software* proprietário MATLAB® da empresa MathWorks, figura 2.

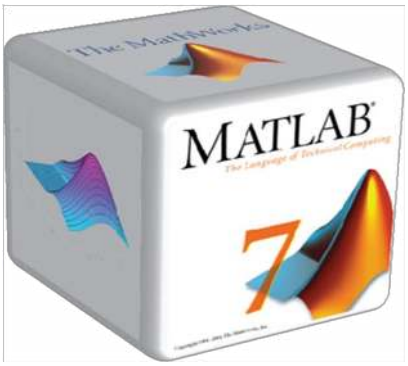

Figura 2. Software MATLAB.
(Fonte: GARCIA, S.I.)

2. Materiais e Métodos

Para chegar ao cálculo hidráulico de um sistema convencional, onde existe um poço de sucção seguido de uma tubulação de sucção até um conjunto moto-bomba que irá recalcar pela tubulação de recalque até um outro tanque, conforme figura 3, são necessárias equações empíricas de mecânica dos fluidos para determinar os parâmetros da curva do sistema de bombeamento.

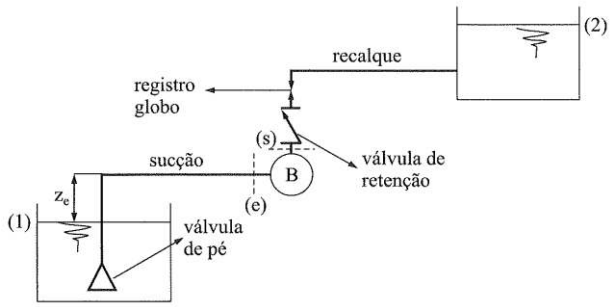

Figura 3. Sistema convencional onde é utilizado o cálculo hidráulico para gerar a curva do sistema (Fonte: BRUNETTI, 2008).

Segundo Barral (S.I.), o transporte de fluidos é feito através de condutos projetados para esta finalidade.

Os condutos podem ser abertos ou fechados, no caso em análise, por se tratar de escoamento provocado por conjuntos moto bomba, iremos tratar de condutos fechados onde a pressão interna é maior que a atmosférica, sendo também denominados, condutos sob pressão.

O escoamento interno em tubulações sofre forte influência das paredes, dissipando energia devido ao atrito. Essa dissipação de energia provoca um abaixamento da pressão total do fluido ao longo do escoamento que é denominada de Perda de Carga.

Para calcular um sistema hidráulico devem ser consideradas as perdas de carga que o sistema sofre, estas perdas podem ser divididas em Perda de Carga Localizada (ou Singular) e Perda de Carga Distribuída.

Estas perdas podem ser definidas da seguinte forma:

> **Perda de Carga Distribuída:** a parede dos dutos retilíneos causa uma perda de pressão distribuída ao longo do comprimento do tubo, fazendo com que a pressão total vá diminuindo gradativamente ao longo do comprimento e por isso é denominada de Perda de Carga Distribuída**.**
>
> **Perda de Carga Localizada:** este tipo de perda de carga é causado pelos acessórios de canalização, isto é, as diversas peças necessárias para a montagem da tubulação e para o controle do fluxo do escoamento, que provocam variação brusca da velocidade, em módulo ou direção, intensificando a perda de energia nos pontos onde estão localizadas, sendo por isso conhecidas como Perdas de Carga Localizadas. O escoamento sofre perturbações em pontos da instalação tais como em válvulas, curvas, reduções, etc. **(BARRAL, S.I.)**

Para determinação destas perdas, existem diversas formulas empíricas, na perda de carga singular, por exemplo, poderia ser adotado o método dos comprimentos equivalentes, porém para o presente trabalho, optou-se por adotar o método de valores constantes para o coeficiente de perda de carga singular (Ks).

Enquanto que para a formula de perda de carga distribuída, poderíamos adotar o método de Moody-Rouse, método de Hazen-Williams e método de Darcy-Weisbachou (fórmula universal). Será utilizado o método de Hazen-Williams, devido a ser o método mais empregado no transporte de água e esgoto em canalizações diversas com diâmetro maior que 50mm.

Para determinação do diâmetro, será utilizado o recomendado pela norma brasileira, segundo a norma brasileira "NBR 12208 – Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário", onde se tem:

Copyright © 2018 ISESC

4.2.2 Dimensionamento dos condutos. São recomendados os seguintes limites de velocidade:

a) Na sucção: 0,60 – v – 1,50 m/s;

b) No recalque: 0,60 – v – 3,00 m/s.

(ABNT, 1992)

Para o exemplo do artigo, como a tubulação de sucção é praticamente inexistente, serão adotados os limites velocidade no conduto de 0,60 – 3,00 m/s. Desta forma para se chegar ao diâmetro requerido, deverá ser alterado o valor do diâmetro até ele entrar no alcance das 2 extremidades.

3. Desenvolvimento

Variando a pressão pela válvula de controle de fluxo e a temperatura pela resistência elétrica, é possível induzir vários níveis de cavitação e, assim, submeter a amostra a várias condições de teste. O teste do equipamento protótipo mostrou sua vocação ajudando a realizar importantes pesquisas sobre a quantificação da resistência à cavitação oferecida por diferentes materiais.
O cálculo de perda de carga localizada é dado por:

$$h_L = \Sigma k * \frac{v^2}{2*g} \quad (1)$$

onde:

$$Q = v * A \quad (2)$$

e:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3)$$

Onde:

hL é a perda de carga localizada no sistema, m;

Σk é somatória dos coeficientes de perda de carga localizada;

g é a aceleração da gravidade, geralmente adotada como 9,8 m²/s.

Q é a vazão, m³/s.

v é a velocidade do conduto, m/s.

A é a área do conduto, m².

D é o diâmetro, m.

Os valores para os coeficientes de perda de carga localizada, são baseados nas singularidades ao longo do caminho do conduto, desta forma, geralmente podemos ter as singularidades apresentadas no quadro 1.

Quadro 1. Coeficiente K: Perda de Carga Localizada para acessórios da Tubulação.

Peça	**Coeficiente de Perda Localizada (K)**
Ampliação / Redução Gradual	0,30
Crivo	0,75
Curva de 90°	0,4
Curva de 45°	0,2
Curva de 22,5°	0,1
Curva de 11,15°	0,05
Entrada Normal em Canalização	0,5
Junção	0,4
Registro de Gaveta	0,2
Saída de Canalização	1
Tê de Passagem Direta	0,6
Tê de Saída de Lado	1,3
Válvula de Pé	1,75
Válvula de Retenção	2,5

Após a determinação desta perda localizada, podemos proceder ao Cálculo da perda de carga distribuída, que pode ser d

$$h_d = 10{,}65 * \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} * D^{4,87}} * L \quad (4)$$

Onde:

hd é a perda de carga distribuída no sistema, m;

Q é a vazão, m³/s.

C é o coeficiente que depende da natureza do material empregado na fabricação dos tubos e das condições de suas paredes internas, adimensional.

D é o diâmetro, m.

L é o comprimento da tubulação, m.

Segundo Barral (S.I.), o coeficiente experimental denotado C, assume valores entre 70 e 140 crescendo à medida que o tubo fica mais liso.

Conforme a Quadro 2, para tubos mais usuais, como o tubo de ferro fundido o valor do coeficiente C é de 100 em um tubo de ferro fundido com até 15 anos de uso.

Copyright © 2018 ISESC *Unisanta Science and Technology* **(82-88) p.p. ISSN 2317-1316**

Quadro 2. Coeficiente C de Hazen Williams para vários tipos de materiais. (Fonte: BARRAL, S.I.)

Tipo de Tubo	C
Aço soldado com 30 anos de uso	75
Aço soldado com 20 anos de uso	90
Ferro fundido, usado.	90
Ferro fundido, com 15 anos de uso	100
Aço galvanizado, usado.	100
Aço galvanizado com costura.	125
Aço galvanizado sem costura, novo.	130
Cobre e latão.	130
Plástico PVC, até 75mm	125
Plástico PVC, até 100mm	135
Plástico PVC, mais de 100mm	140

E sabendo-se que a energia de um sistema pode ser determinada através da seguinte equação deduzida:

$$H = Z1 + HL \quad (5)$$

Onde:

H é a Altura Manométrica do sistema, m;

$Z1$ é a diferença de cotas do sistema, m;

HL é a perda de carga total do sistema (Somatória de hl+hd), m.

Com a apresentação destas formulações, é possível montar o quadro 3, e determinar através de variados valores de vazão baseados no ponto de vazão escolhido, que geram diferentes valores de perdas de carga distribuída e localizada, formando valores de altura manométrica para a curva de um sistema de bombeamento.

A Curva de um sistema de bombeamento é o traçado dos valores das colunas de vazão e altura manométrica dispostos em um gráfico cartesiano, onde a altura manométrica é o eixo vertical e a vazão é o eixo horizontal.

Quadro 3. Série de dados para determinação do sistema de bombeamento.

Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	H_d (mca)	H_L (mca)	Perda de Carga (mca)	Altura Manométrica (mca)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6
3,7	0,1	0,1	0,0	0,1	4,7
7,4	0,2	0,3	0,0	0,4	4,9
11,1	0,4	0,7	0,1	0,7	5,3
14,8	0,5	1,2	0,1	1,3	5,9
18,5	0,6	1,8	0,2	1,9	6,5
22,2	0,7	2,5	0,2	2,7	7,3
25,9	0,8	3,3	0,3	3,6	8,2
29,6	0,9	4,2	0,4	4,6	9,2
33,3	1,1	5,2	0,6	5,8	10,4
37	1,2	6,4	0,7	7,0	11,6
31	**1,0**	**4,6**	**0,5**	**5,1**	**9,7**

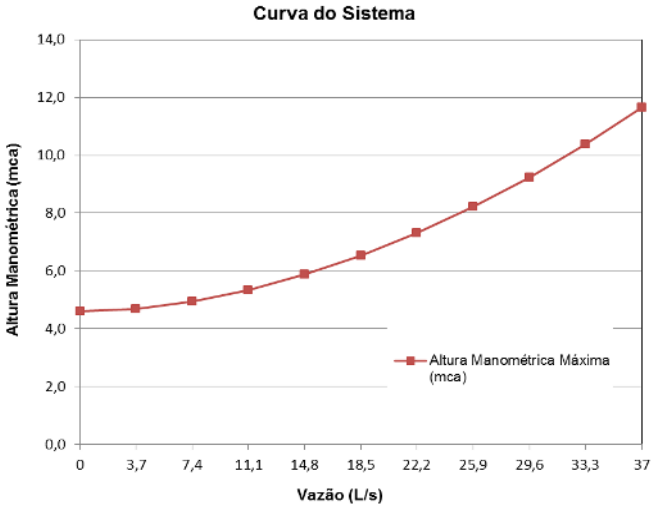

Figura 4. Curva de um sistema de bombeamento.

Copyright © 2018 ISESC

Desta forma, foi utilizado o *software* da empresa MathWorks, MATLAB®, que pode ser definido como:

> ***O Matlab (abreviatura de MATrix LABoratory - Laboratório de Matrizes) é um software de simulação matemática que realiza operações matriciais, constrói gráficos em duas ou três dimensões, auxilia no processamento de sinais, além de manipular outras funções especializadas.***
> ***Ele trabalha com uma linguagem de programação de alto-nível, em um ambiente interativo, para o desenvolvimento de algoritmos, análise e visualização de dados e computação numérica. Próprio para as áreas técnicas e científicas, o software tem funções de tratamento numérico de alto desempenho, capazes de resolver problemas computacionais técnicos de forma mais eficiente do que as tradicionais linguagens de programação.***
> ***Além do ambiente interativo, outra facilidade do Matlab é a possibilidade de execução de arquivos texto contendo uma seqüência de instruções definidas pelo usuário. Esses arquivos texto, que têm extensão '.m', podem ser criados e editados dentro ou fora do seu ambiente.*** **(GARCIA, S.I.)**

Utilizando-se deste *software* foi criado uma sub-rotina de programação onde através de um *menu* intuitivo, é solicitado ao usuário que forneça os dados básicos para a formação da curva de um sistema.

Para o exemplo apresentado neste artigo, tem-se um sistema, onde existe um poço preenchido com água, e o seu nível mínimo de água de 5,38m. Neste poço irá ser instalado um conjunto moto-bomba que succionará a água, cuja vazão necessária é estimada em 37 L/s, temos a linha de recalque, com extensão de 525,6m, feita em ferro fundido, onde o ponto mais alto é na cota 9,98m. Ao longo da tubulação temos 1 ampliação gradual, 5 curvas 90º, 1 curva de 11°15', ' Registro de Gaveta, 1 saída de canalização, 4 tê de passagem direta, 1 tê de saída de lado e 1 válvula de retenção, a chegada desta tubulação será em outro poço vazio. Necessita-se determinar o ponto ótimo de funcionamento, onde para isso será necessário traçar inicialmente a curva do sistema. Desta forma, foi rodado o programa criado dentro do MATLAB®, com a tela inicial solicitando ao usuário a escolha dos passos, figura 5.

Após a Inserção dos dados básicos é possível calcular a perda de carga localizada, conforme figura 6.

```
+-----------------------------------------+
|                   MENU                  |
|                                         |
|  1. Inserção de Dados                   |
|  2. Cálculo da Perda de Carga Localizada |
|  3. Tabela e Gráfico do Sistema         |
|                                         |
+-----------------------------------------+

Insira sua opção:
```

Figura 5. Inserção de dados no *software*.

```
+-----------------------------------------------------+
|              Perda de Carga Localizada              |
|                                                     |
+-----------------------------------------------------+
Quantos "Ampliação / Redução Gradual" existem no Sistema? 1
Quantos "Crivo" existem no Sistema? 0
Quantos "Curva de 90°" existem no Sistema? 5
Quantos "Curva de 45°" existem no Sistema? 0
Quantos "Curva de 22,5°" existem no Sistema? 0
Quantos "Curva de 11,15°" existem no Sistema? 1
Quantos "Entrada Normal em Canalização" existem no Sistema? 0
Quantos "Junção" existem no Sistema? 0
Quantos "Registro de Gaveta" existem no Sistema? 1
Quantos "Saída de Canalização" existem no Sistema? 1
Quantos "Tê de Passagem Direta" existem no Sistema? 4
Quantos "Tê de Saída de Lado" existem no Sistema? 1
Quantos "Válvula de Pé" existem no Sistema? 0
Quantos "Válvula de Retenção" existem no Sistema? 1

Coeficiente de Perda de Carga localizada do Sistema(m) =    9.750000
```

Figura 6. Cálculo da Perda de Carga Localizada dento do *software*.

Copyright © 2018 ISESC

Com os valores da tabela para diversos pontos de um sistema, e por fim, ela gera a seleção de pontos que formam a curva de um sistema de bombeamento, conforme mostrada na figura 7.

Com os dados gerados pela figura 6, podemos simplesmente interligar os pontos e desta forma conseguimos a "Curva do Sistema de Bombeamento" para o sistema proposto no presente trabalho, figura 8.

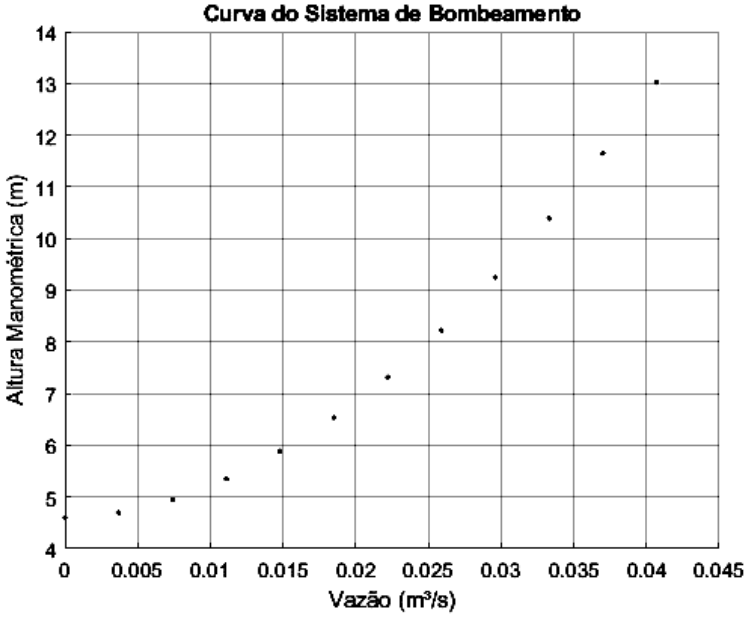

Figura 7. Pontos demarcando a curva do sistema de bombeamento, coincidentes com os valores da tabela no *software***.**

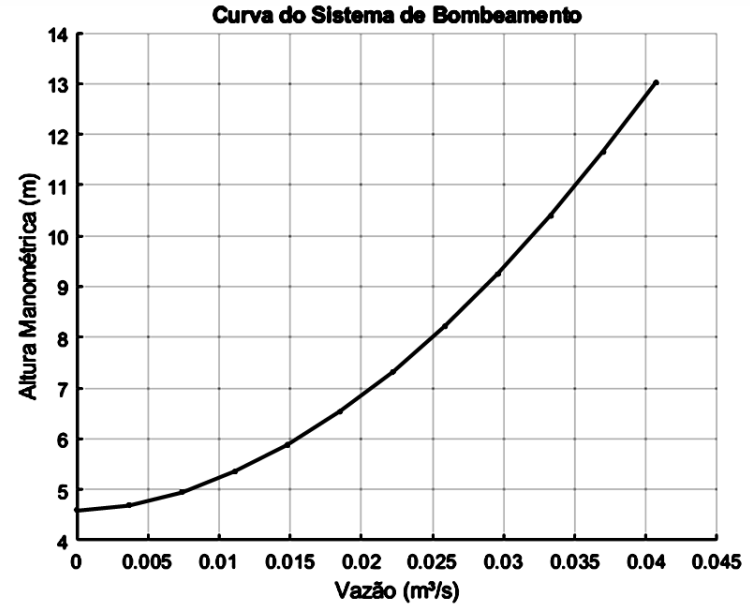

Figura 8. Curva do sistema de bombeamento com base no**s pontos gerados pelo *software*.**

Copyright © 2018 ISESC

4. Conclusões

Com os resultados apresentados conclui-se que seria possível adotar o software MATLAB® para criação da curva do sistema e expandir sua programação inicial para receber dados da curva característica do sistema moto-bomba e localizar seu ponto ótimo de trabalho. Também deve-se levar em conta que devido à natureza matricial do *software*, é possível gerar equações que em outros *softwares* não seriam possíveis, ficando o presente trabalho como base para desenvolvimento de cálculos mais amplos envolvendo a área de engenharia mecânica hidráulica.

Referências

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 12208 – Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro,1992

BRUNETTI, F. Mecânica dos Fluidos. Pearson. 2008.

DARIO, E. Material didático Curvas Operacionais de Sistemas de Bombeamento. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/> Acesso em: 10 jul. 2018.

GARCIA, D V. Material didático Noções de Matlab. – Universidade Santa Cecilia. Santos. S.I.

SIMÕES, J G F. Material didático Mecânica dos Fluidos – Universidade Santa Cecilia. Santos. S.I.

Copyright © 2018 ISESC