



Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Departamento da Engenharia Mecatrônica  
Engenharia Mecatrônica

# **Dimensionamento de Sistemas Elevatórios**

Luiza Gomes de Castro e Sá

Thiago José da Silva

Victor Alves Moraes

Divinópolis

Fevereiro/2022

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Preliminares . . . . .</b>	<b>2</b>
2.1	Perda de cargas . . . . .	2
2.2	Potência de acionamento . . . . .	3
2.3	Curva característica do sistema . . . . .	4
2.4	Verificação de cavitação . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Dimensionamento do Sistema Elevatório . . . . .</b>	<b>6</b>
3.1	Descrição do sistema elevatório . . . . .	6
3.2	Resultados e Discussões . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>14</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>15</b>

# 1 Introdução

Para transportar uma determinada vazão de um líquido de um reservatório inferior para outro reservatório em um nível superior, é utilizado o sistema elevatório. Tal sistema consiste no conjunto de tubulações, motores, acessórios e bombas que realize o transporte de forma eficiente. Em geral, ele é composto pela tubulação de sucção, que liga a bomba ao reservatório inferior, a tubulação de recalque, que liga a bomba ao reservatório superior e o conjunto elevatório, que é formado por uma ou mais bombas respectivos motores.

Bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que fornecem energia mecânica a um fluido incompressível, possibilitando o seu escoamento de um ponto a outro. Para o melhor aproveitamento de um sistema de bombeamento, devemos dimensioná-lo da forma correta, considerando desde a sua bomba até a tubulação e seus acessórios. Neste sentido, o presente relatório, visa estudar o sistema de bombeamento e determinar uma bomba efetivo para o projeto. Além disso, busca-se dimensionar a tubulação a ser utilizada, a altura manométrica e outras características fundamentais para desenvolver o projeto.

Portanto, esse relatório é composto por Introdução, Seção 1, que expõe o assunto e os objetivos almejados; Preliminares, Seção 2, que discorre a respeito dos métodos utilizados; Dimensionamento do Sistema Elevatório; Seção 3, que apresenta o desenvolvimento, discussões e resultados da prática; E, por fim, Seção 4, Conclusão, a qual sintetiza os desfechos do trabalho.

## 1.1 Objetivos

São objetivos desse experimento estudar o sistema de bombeamento, bem como escolher uma bomba o projeto. Além disso, busca-se dimensionar a tubulação a ser utilizada, a altura manométrica e outras características necessárias para o desenvolvimento do projeto.

## 2 Preliminares

Esta Seção apresenta uma revisão dos métodos empregados na realização do experimento.

### 2.1 Perda de cargas

Dada a vazão da bomba,  $Q$ , e determinado o tempo de funcionamento da mesma, pode-se obter o diâmetro das tubulações de sucção e recalque, utilizando a fórmula definida pela ABNT:

$$D = 1,3 \cdot \left( \frac{T}{24} \right) \cdot \sqrt{Q} \quad (2.1)$$

em que  $D_R$  é o diâmetro dimensionado,  $T$  é o tempo de funcionamento da bomba, e  $Q$  é a vazão requerida.

Para determinar o diâmetro da tubulação comercial, deve-se utilizar a Tabela A.6 contida na Apostila Sistemas de Bombeamento (ALé, 2011). Com o valor obtido do diâmetro não comercial e com a tabela, deve-se escolher o valor inferior ao não comercial para ser utilizado como diâmetro da tubulação de recalque, e o valor superior ao não comercial para ser utilizado como diâmetro da tubulação de aspiração.

Definido a vazão do sistema e os diâmetros da tubulação, é possível determinar as velocidades de aspiração e recalque:

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} \\ A &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \\ V &= \frac{4Q}{\pi \cdot D^2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

em que  $V$  é a velocidade de escoamento,  $Q$  é vazão,  $D$  é o diâmetro da tubulação.

Com a Equação (2.2) é possível determinar as velocidades de aspiração e recalque, bastando substituir os valores obtidos para os diâmetros de cada tubulação.

Com as velocidades obtidas, pode-se dimensionar o número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.3)$$

em que  $R_e$  é o número de Reynolds,  $V$  é a velocidade de escoamento,  $D$  é o diâmetro da tubulação e  $\nu$  é a viscosidade cinemática.

Para determinar a rugosidade relativa, deve-se relacionar a rugosidade com o diâmetro da tubulação.

$$\epsilon_R = \frac{\epsilon}{D} \quad (2.4)$$

em que  $\epsilon$  é a rugosidade e  $D$  é o diâmetro da tubulação.

O próximo passo é determinar o fator de atrito utilizando a Equação Explícita:

$$f = 0,25 \left[ \log \left( \frac{\epsilon}{D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad (2.5)$$

em que  $f$  é o fator de atrito,  $\frac{\epsilon}{D}$  é a rugosidade relativa,  $Re$  é o número de Reynolds.

Ainda é possível determinar a perda de carga da tubulação, dos acessórios e a perda de carga da tubulação + acessórios para a aspiração e recalque:

$$h_{LD} = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.6)$$

em que  $h_L$  é a perda de carga da tubulação,  $f$  é o fator de atrito,  $L$  é o comprimento da tubulação,  $D$  é o diâmetro da tubulação,  $V$  é a velocidade de escoamento e  $g$  é gravidade.

$$h_{LK} = \sum K \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.7)$$

em que  $h_{LK}$  é a perda de carga dos acessórios,  $K$  são os coeficiente dos acessórios utilizados na tubulação,  $V$  é a velocidade de escoamento e  $g$  é a gravidade.

Após isso, pode-se obter a perda de carga total:

$$h_L = h_{LA} + h_{LR} \quad (2.8)$$

em que  $h_L$  é a perda total,  $h_{LA}$  é a perda total da carga na tubulação de aspiração e dos acessórios e  $h_{LR}$  é a perda total da carga na tubulação de recalque e dos acessórios.

## 2.2 Potência de acionamento

Para determinar a altura total de elevação, deve-se somar a altura de aspiração e a altura de recalque. Sendo assim:

$$h_e = h_a + h_r \quad (2.9)$$

em que  $h_e$  é a altura total de elevação,  $h_a$  é a altura de aspiração e  $h_r$  é a altura de recalque.

Obtida a altura total de elevação, torna-se possível obter a altura manométrica para o sistema:

$$H_{man} = h_e + h_L + \frac{V_r^2}{2g} \quad (2.10)$$

em que  $H_{man}$  é a altura manométrica,  $h_e$  é a altura total de elevação,  $h_L$  é a perda de carga total,  $V_r$  é a velocidade de escoamento no recalque e  $g$  é a gravidade.

Para obter o rendimento global do sistema utiliza-se uma equação aproximada que nos retorna o rendimento em porcentagem.

$$\eta_g = 80 - 0,9367H_{man} + 5,46 \cdot 10^{-3}QH_{man} - 1,514 \cdot 10^{-5}Q^2H_{man} + 5,802 \cdot 10^{-3}H_{man}^2 - 3,028 \cdot 10^{-5}QH_{man}^2 + 8,346 \cdot 10^{-8}Q^2H_{man}^2 \quad (2.11)$$

em que  $Q$  é a vazão, dada em  $m^3/h$ , e  $H_{man}$  é altura manométrica dada em metros.

## 2.3 Curva característica do sistema

Para determinar a equação de altura manométrica, faz-se necessário determinar os valores de  $k_1$  e  $k_2$ . Sabe-se que  $k_1 = h_e$ , além disso,  $k_2$  é obtido através da Equação (2.12).

$$k_2 = \frac{H_{man} - k_1}{Q^2} \quad (2.12)$$

É possível ainda determinar a equação da altura manométrica em função da vazão:

$$H_{man} = k_1 - k_2Q^2 \quad (2.13)$$

Com a Equação (2.13) é possível plotar a curva característica do sistema, a qual permite realizar diversas análises.

## 2.4 Verificação de cavitação

Para realizar a análise de cavitação do sistema é necessário determinar o  $NPSH_{Req}$  e o  $NPSH_{Disp}$  da bomba. O  $NPSH_{Req}$  é dado pelo fornecedor da bomba, em seu manual há a curva do NPSH que retorna o valor para cada vazão. Já o  $NPSH_{Disp}$  pode ser obtido por equação matemática:

$$NPSH_{Disp} = P_{atm} - h_a - P_v - h_L \quad (2.14)$$

em que  $P_{atm}$  é a pressão atmosférica,  $h_a$  é a altura de aspiração,  $P_v$  é a pressão de vapor da substância e  $h_L$  é a perda total de cargas.

Para que evite-se a cavitação, fenômeno físico que ocorre pela evaporação de óleo a baixa pressão, interfere na lubrificação e destrói a superfície dos metais, deve-se garantir que  $NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$ .

Outro dado importante a ser determinado é altura de aspiração limite para não ocorrer cavitação. Tal dado é obtido pela seguinte equação:

$$h_{a-max} = H_{atm} - (h_{La} + h_{vap} + NPSH_{Req}) \quad (2.15)$$

em que  $H_{atm} = \frac{P_{atm}}{\rho g}$ ,  $h_{vap} = \frac{P_{vap}}{\rho g}$ .

### 3 Dimensionamento do Sistema Elevatório

Nesta Seção é apresentado a descrição do sistema.

#### 3.1 Descrição do sistema elevatório

A Figura 1 apresenta o sistema em estudo.

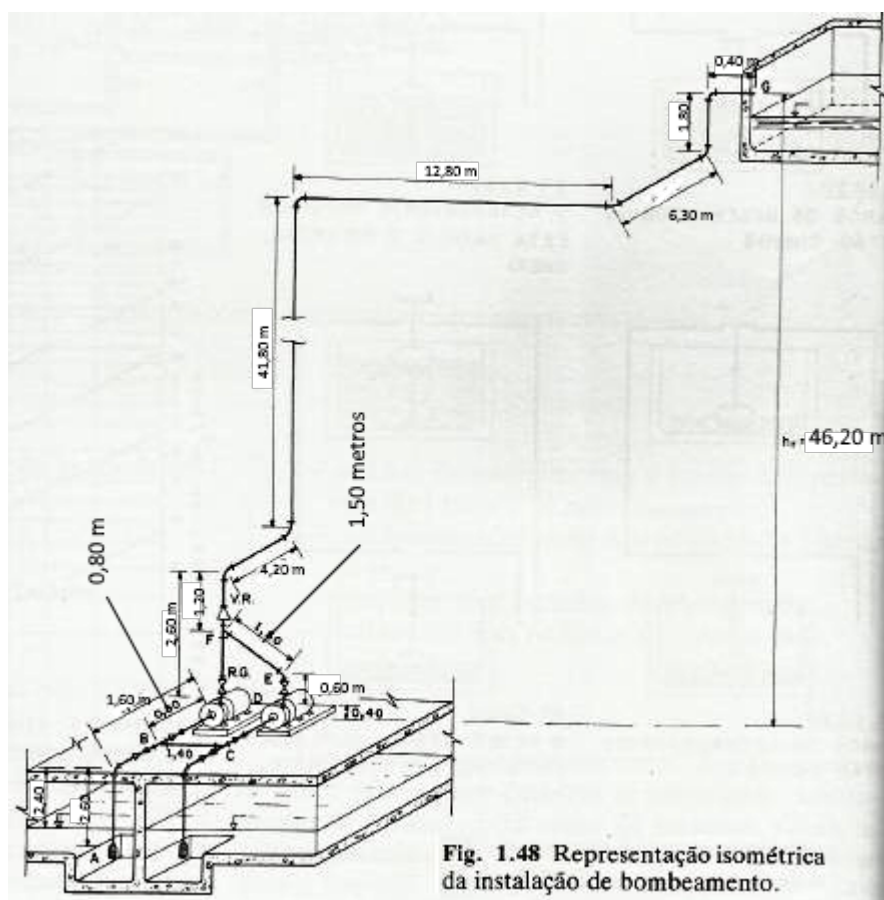


Figura 1 – Sistema elevatório para o dimensionamento

Para o projeto, foi determinado que a bomba a ser utilizada é a KSB Megaline 032-032-160, uma vez que ela atende todos os requisitos necessário para o sistema, além disso não faz-se necessário a utilização de duas bombas para realizar o transporte de água, já que a bomba escolhida consegue operar para tal vazão e alturas necessárias.



**Dados de operação****Características operacionais**

Parâmetro		Valor
Vazão	Q [m³/h]	≤ 600
	Q [l/s]	≤ 167
Altura manométrica	H [m]	≤ 135
Temperatura do fluido bombeado	t [°C]	0 até +90
Pressão de serviço	p [bar]	≤ 16

Figura 2 – Dados de Operação

Ademais, foi determinado os acessórios a serem utilizados para a confecção do projeto:

Quantidade	Tipo
1	Curva 90° Raio Longo
1	Registro tipo Gaveta
1	Válvula pé com crivo

Tabela 1 – Acessórios - Aspiração

Quantidade	Tipo
6	Curva 90° Raio Longo
1	Registro tipo Gaveta
1	Válvula de retenção
1	Saída de Canalização

Tabela 2 – Acessórios - Recalque

Sabe-se que a bomba apresenta vazão igual a  $20\text{m}^3/\text{h}$ , um funcionamento intermitente de 12 horas de funcionamento por dia.

## 3.2 Resultados e Discussões

A partir dos dados obtidos pela imagem, e pelos dados para a execução dos projetos, pode-se definir alguns dados iniciais:

Significado	Variável	Valor
Vazão	Q	$0,334 m^3/s$
Altura estática de aspiração	$h_a$	2,4 m
Altura estática de recalque	$h_r$	46,2 m
Comprimento da tubulação de aspiração	$L_a$	4,2 m
Comprimento da tubulação de recalque	$L_r$	69,9 m
Rugosidade	$\epsilon$	0,046 mm
Temperatura	T	20 °C
Massa específica	$\rho$	$998,2 \text{ Kg}/m^3$
Viscosidade cinemática ( $\mu\rho$ )	$\nu$	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/s$

Tabela 3 – Parâmetros do sistema

Com os dados obtidos na tabela, faz-se possível determinar os parâmetros trabalhados na Seção 2.1. Inicialmente, determina-se o diâmetro comercial para as tubulações de aspiração e de recalque. Para tanto, utiliza-se a Equação (2.1).

$$D = 1,3 \cdot \left( \frac{12}{24} \right) \cdot \sqrt{0,334} \quad (3.1)$$

$$D = 631,77 \text{ mm}$$

Utilizando a Tabela A.6 (ALé, 2011), determina-se que o diâmetro da tubulação de aspiração é de  $D_a = 660,4 \text{ mm}(26'')$  e para a tubulação de recalque é  $D_r = 609,6 \text{ mm}(24'')$ .

Determinando desta vez a velocidade de aspiração e recalque, através da Equação (2.2), tem-se:

$$V_a = \frac{4 \cdot 0,334}{\pi \cdot 0,6604} \quad (3.2)$$

$$V_a = 0,9751 \text{ m/s}$$

$$V_r = \frac{4 \cdot 0,334}{\pi \cdot 0,6096} \quad (3.3)$$

$$V_r = 1,1444 \text{ m/s}$$

Obtida a velocidade e diâmetro das tubulações, torna-se possível determinar o número de Reynolds, utilizando a Equação (2.3):

$$R_{ea} = \frac{0,9751 \cdot 0,6604}{1 \cdot 10^{-6}} \quad (3.4)$$

$$R_{ea} = 641380,58$$

$$R_{er} = \frac{1,1444 \cdot 0,6096}{1 \cdot 10^{-6}} \quad (3.5)$$

$$R_{er} = 694828,96$$

Para determinar o fator de atrito, faz-se necessário determinar antes a rugosidade relativa, através da Equação (2.4), sendo assim:

$$\begin{aligned}\epsilon_{Ra} &= \frac{0,046}{660,4} \\ \epsilon_{Ra} &= 6,96548 \cdot 10^{-5}\end{aligned}\tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{Ra} &= \frac{0,046}{609,6} \\ \epsilon_{Rr} &= 7,54593 \cdot 10^{-5}\end{aligned}\tag{3.7}$$

Determinado a rugosidade relativa para a aspiração e para o recalque, respectivamente, pode-se finalmente determinar o valor do fator de atrito, para tanto utiliza-se a Equação (2.5).

$$\begin{aligned}f_a &= 0,25 \left[ \log \left( \frac{6,9654 \cdot 10^{-5}}{3,7} + \frac{5,74}{641380,58^{0,9}} \right) \right]^{-2} \\ f_a &= 0,25 \left[ \log \left( 1,8825 \cdot 10^{-5} + 3,4080 \cdot 10^{-5} \right) \right]^{-2} \\ f_a &= 0,25 \left[ \log \left( 5,2906 \cdot 10^{-5} \right) \right]^{-2} \\ f_a &= 0,25 \left[ \right]^{-2} \\ f_a &= 0,25 \cdot 1,30654 \\ f_a &= 0,0137\end{aligned}\tag{3.8}$$

$$\begin{aligned}f_r &= 0,25 \left[ \log \left( \frac{7,5459 \cdot 10^{-5}}{3,7} + \frac{5,74}{694828,96^{0,9}} \right) \right]^{-2} \\ f_r &= 0,25 \left[ \log \left( 2,0394 \cdot 10^{-5} + 3,1712 \cdot 10^{-5} \right) \right]^{-2} \\ f_r &= 0,25 \left[ \log \left( 5,2106 \cdot 10^{-5} \right) \right]^{-2} \\ f_r &= 0,25 \left[ -4,2831 \right]^{-2} \\ f_r &= 0,25 \cdot 0,0545 \\ f_r &= 0,0136\end{aligned}\tag{3.9}$$

Para determinar as perdas de cargas do sistema, faz-se necessário utilizar as Equações (2.6), (2.7) e (2.8). Desse modo:

$$\begin{aligned}h_{LDa} &= 0,0137 \cdot \frac{4,2}{0,6604} \cdot \frac{0,9751^2}{2 \cdot 9,81} \\ h_{LDa} &= 0,0137 \cdot 6,3598 \cdot 0,0485 \\ h_{LDa} &= 0,0042 \text{ m}\end{aligned}\tag{3.10}$$

$$\begin{aligned}
h_{LDr} &= 0,0136 \cdot \frac{69,9}{0,6096} \cdot \frac{1,1444^2}{2 \cdot 9,81} \\
h_{LDr} &= 0,0136 \cdot 114,6653 \cdot 0,0667 \\
h_{LDr} &= 0,1043 \text{ m}
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Para determinar a perda de carga dos acessórios, faz-se necessário determinar o valor de  $\sum K$ , para tanto, deve-se montar a Tabela 7.3, que apresenta os coeficientes de perda de carga de acessórios. Sendo assim:

Item	Elementos (acessórios)	Coefficiente K	Quantidade Aspiração	Total aspiração ( $\sum K0$ )	Quantidade Recalque	Total Recalque ( $\sum Kf$ )
1	Curva 90° raio longo	0,4	1	0,4	6	2,4
2	Registro tipo Gaveta	0,2	1	0,2	1	0,2
3	Válvula Pé com Crivo	1,75	1	1,75	0	0
4	Válvula de Retenção	2,5	0	0	1	2,5
5	Saída de Canalização	1	0	0	1	1
Total			3	2,35	9	6,1

Tabela 4 – Perda de Carga dos Acessórios

Obtido os valores do somatório de K, é possível determinar a perda de carga dos acessórios, para isso utiliza-se a Equação (2.7):

$$\begin{aligned}
h_{LKa} &= 2,35 \cdot \frac{0,9751^2}{2 \cdot 9,81} \\
h_{LKa} &= 2,35 \cdot 0,0485 \\
h_{LKa} &= 0,1139 \text{ m}
\end{aligned} \tag{3.12}$$

$$\begin{aligned}
h_{LKr} &= 6,1 \cdot \frac{1,1444^2}{2 \cdot 9,81} \\
h_{LKr} &= 6,1 \cdot 0,0667 \\
h_{LKr} &= 0,4072 \text{ m}
\end{aligned} \tag{3.13}$$

Determinando a perda total para cada tubulação, tem-se que:

$$\begin{aligned}
h_{La} &= h_{LDa} + h_{LKa} \\
h_{La} &= 0,0042 + 0,1139 \\
h_{La} &= 0,1181 \text{ m}
\end{aligned} \tag{3.14}$$

$$\begin{aligned}
h_{Lr} &= h_{LDr} + h_{LKr} \\
h_{Lr} &= 0,1043 + 0,4072 \\
h_{Lr} &= 0,5115 \text{ m}
\end{aligned} \tag{3.15}$$

Determinando, agora, a perda de carga total para o sistema, utilizando a Equação (2.8):

$$\begin{aligned} h_L &= 0,1181 + 0,5115 \\ h_L &= 0,6296 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Com os dados obtidos na Tabela 3 e os valores já calculados, torna-se possível determinar as variáveis trabalhadas na Seção 2.2. Utilizando a Equação (2.9), é possível determinar o valor referente à altura total do sistema de bombeamento.

$$\begin{aligned} h_e &= 2,4 + 46,2 \\ h_e &= 48,6 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Com o objetivo de determinar a altura manométrica do sistema em estudo, deve-se fazer uso da Equação (2.10).

$$\begin{aligned} H_{man} &= 48,6 + 0,6296 + \frac{1,1444^2}{2 \cdot 9,81} \\ H_{man} &= 48,6 + 0,6296 + 0,0667 \\ H_{man} &= 49,2963 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Além do mais, utilizando a Equação (2.11), é possível determinar o rendimento global do sistema em estudo:

$$\begin{aligned} \eta_g &= 80 - (0,9367 \cdot 49,2963) + (5,46 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 49,2963) - (1,514 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 49,2963) + \\ &\quad (5,802 \cdot 10^{-3} \cdot 49,2963^2) - (3,028 \cdot 10^{-5} \cdot 20^2 \cdot 49,2963^2) + (8,346 \cdot 10^{-8} \cdot 20^2 \cdot 49,2963^2) \\ \eta_g &= 80 - 46,1758 + 5,3831 - 0,2985 + 14,0996 - 1,4717 + 0,0811 \\ \eta_g &= 51,62\% \end{aligned}$$

Para determinar a Equação da altura manométrica, faz-se necessário determinar as constantes  $k_1$  e  $k_2$ . Como  $k_1 = h_e$ , então pode-se afirmar que  $k_1 = 48,6$ . Para obter o valor de  $k_2$ , utiliza-se a Equação (2.12), no entanto a vazão da bomba ser considerada, deve estar em  $m^3/h$ , sendo assim  $Q = 20 \text{ m}^3/h$ .

$$\begin{aligned} k_2 &= \frac{49,2963 - 48,6}{400} \\ k_2 &= 0,001740762 \end{aligned} \quad (3.19)$$

Obtido as constantes, pode-se determinar a equação da altura manométrica, utilizando a Equação (2.13).

$$H_{man} = 48,6 - 0,001740762Q^2 \quad (3.20)$$

Utilizando a linguagem Python, e o software Visual Studio Code, plotou-se a curva gerda pela equação característica do sistema, a qual pode ser visualizada na Figura 3.

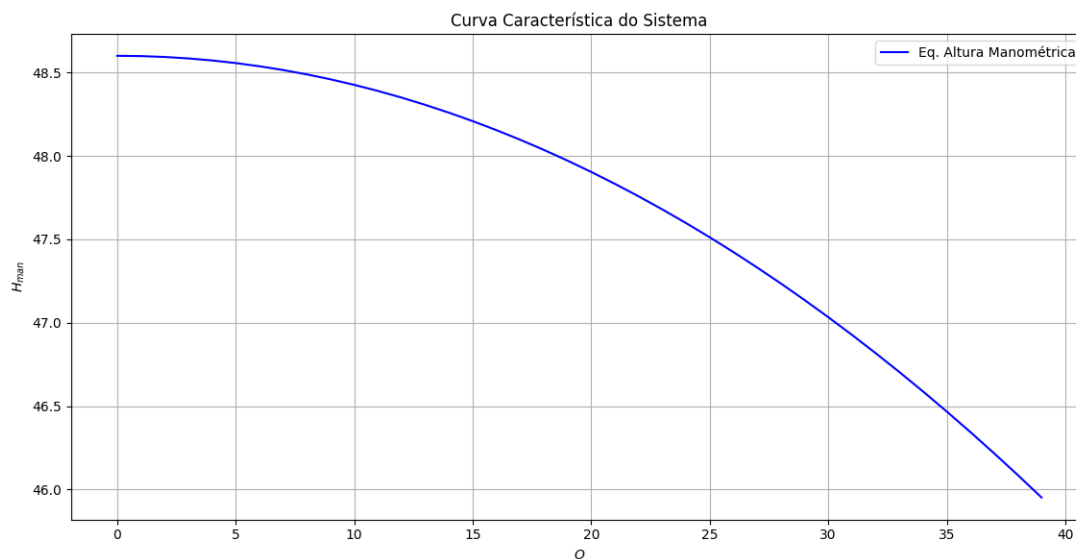


Figura 3 – Curva gerada pela Equação Característica do Sistema

Utilizando o manual técnico da bomba KSB Megaline 032-032-160, é possível obter as curvas características da bomba para diferentes diâmetros do motor, tais curvas podem ser observadas na Figura 4.

**Megaline, n = 3500 rpm**

**Megaline 032-032-160, n = 3500 rpm**

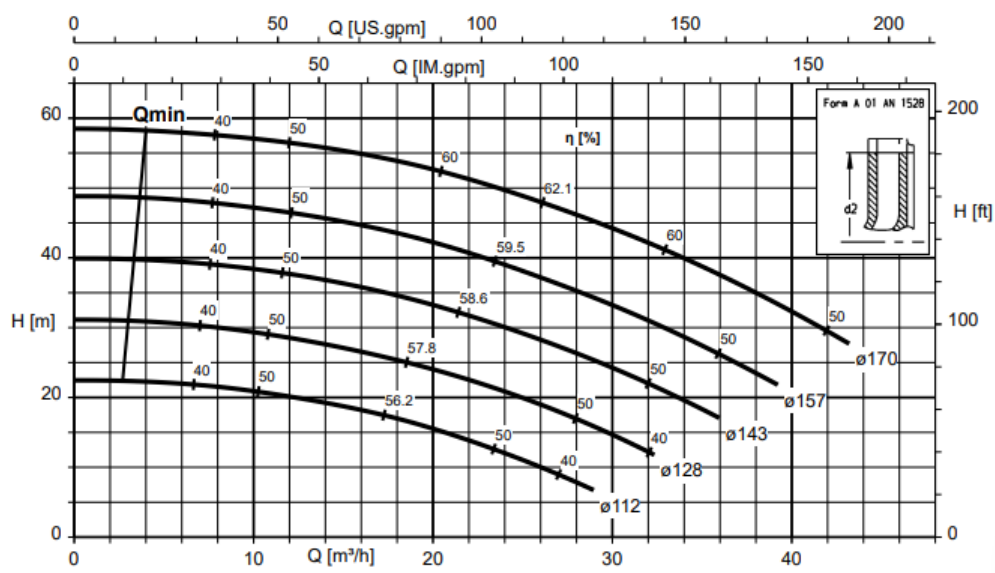


Figura 4 – Curvas para diferentes diâmetros do motor

Utilizando novamente o manual técnico, obteve-se o  $NPSH_{Req}$ , que é disponibilizado pelo fabricante. Para uma vazão de  $20 \text{ m}^3/h$ , o  $NPSH_{Req}$  equivale à 3,929 m.

Afim de obter o  $NPSH_{Disp}$ , utilizou-se a Equação (2.14) e obteve o seguinte valor:

$$\begin{aligned} NPSH_{Disp} &= 10,3325 - 2,4 - 0,24 - 0,6296 \\ NPSH_{Disp} &= 7,0629 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Como  $NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$ , garante que o sistema não sofrerá cavitação. Com a finalidade de obter a altura de aspiração limite para não ocorrer cavitação, utiliza-se a Equação (2.15).

$$\begin{aligned} h_{a-max} &= \frac{101325}{998,2 \cdot 9,81} - (0,1181 + \frac{2350}{998,2 \cdot 9,81} + 3,929) \\ h_{a-max} &= 10,3474 - (0,1181 + 0,24 + 3,929) \\ h_{a-max} &= 10,3474 - 4,2871 \\ h_{a-max} &= 6,0603 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.22)$$

## 4 Conclusão

Conclui-se, após finalizar o trabalho, que estudando o sistema de bombeamento foi possível escolher uma bomba que atendesse todos os requisitos necessários do sistema, a KSB Megaline 032-032-160. Além disso, viu-se que não fez-se necessário a utilização de duas bombas para realizar o transporte de água, uma vez que a bomba selecionada consegue operar para tal vazão e alturas necessárias. Além disso, determinou-se os acessórios a serem utilizados para a confecção do projeto.

A partir disso, dimensionou-se os parâmetros trabalhados na seção 2.1. O diâmetro da tubulação de aspiração e da tubulação de recalque foram devidamente identificados, com eles e com as respectivas velocidade, determinou-se o número de Reynolds. Ademais, encontrada a rugosidade relativa para a aspiração e para o recalque, pôde-se determinar o valor do fator de atrito. Por fim, achou-se as perdas de cargas dos acessórios, de cada tubulação e, posteriormente, a perda total para o sistema.

Ademais, as variáveis trabalhadas na seção 2.2, também foram calculadas como altura total do sistema de bombeamento, a altura manométrica e o rendimento da bomba. Finalmente, fez-se a verificação de cavitação e uma vez que o NPSH Disponível, referente à pressão absoluta exercida pelo sistema na entrada da bomba mostrou-se maior que o NPSH Requerido, sendo a pressão mínima exigida na entrada da bomba para evitar a cavitação, garante-se que o sistema não sofrerá cavitação.



## Referências

ALé, J. a.Vilar. *Sistemas Fluidomecânicos*. [S.l.]: PUCRS, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 8.