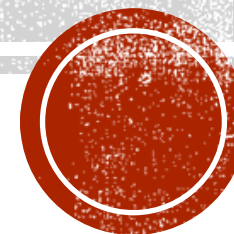


SISTEMA DE BOMBEAMENTO

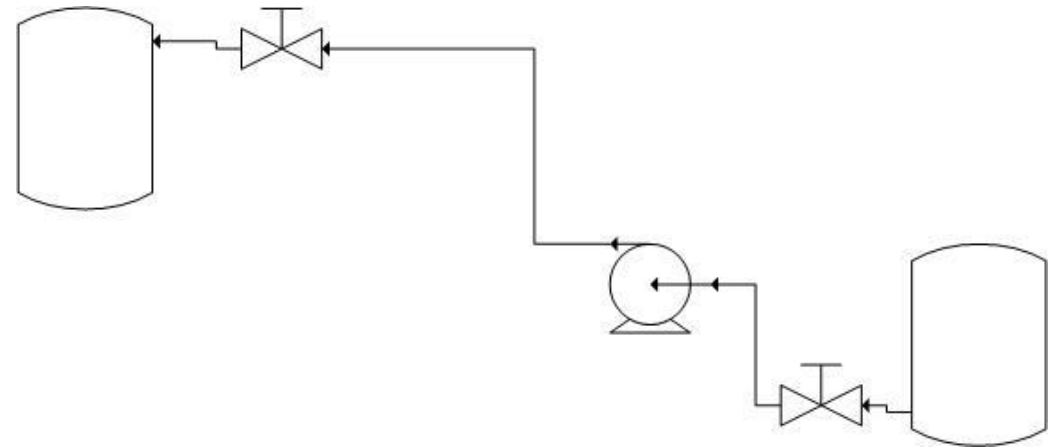
Aluno: José André de Amorim

Disciplina: Instrumentação Industrial



APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

- O sistema simplificado ao lado apresenta a ideia geral e inicial da problemática apresentada.



CONSIDERAÇÕES

- O fluido transportado será água;
- Os tanques estão a uma distancia de 15 metros um do outro;
- A água transportada estará na temperatura ambiente com salinidade e pH corrigidos;
- A tubulação será do material PVC;
- A tubulação terá o diâmetro 60 mm;
- As conexões serão do mesmo material da tubulação



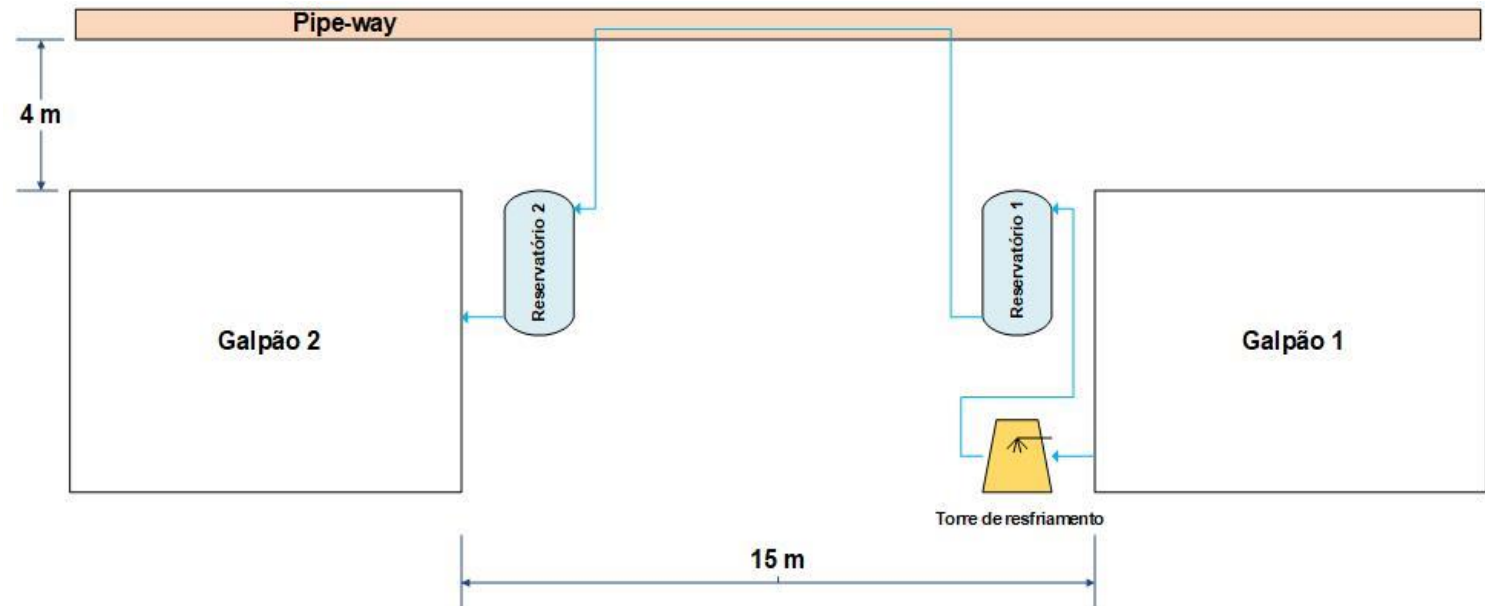
RESERVATÓRIOS

- Será considerado que o volume de água produzido será de procedência de condensação, obtido através de uma torre de resfriamento, onde a água obtida foi retirada de um processo e por motivos de economia interna resolveu-se reutilizar esta água para demais processos da indústria.
- Será tomada uma vazão de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ para este projeto e como os equipamentos tanto de condensação quanto de armazenamento de água serão alocados fora do galpão.
- Para a água ser transportada para o segundo galpão a tubulação deve seguir pelo pipe-way



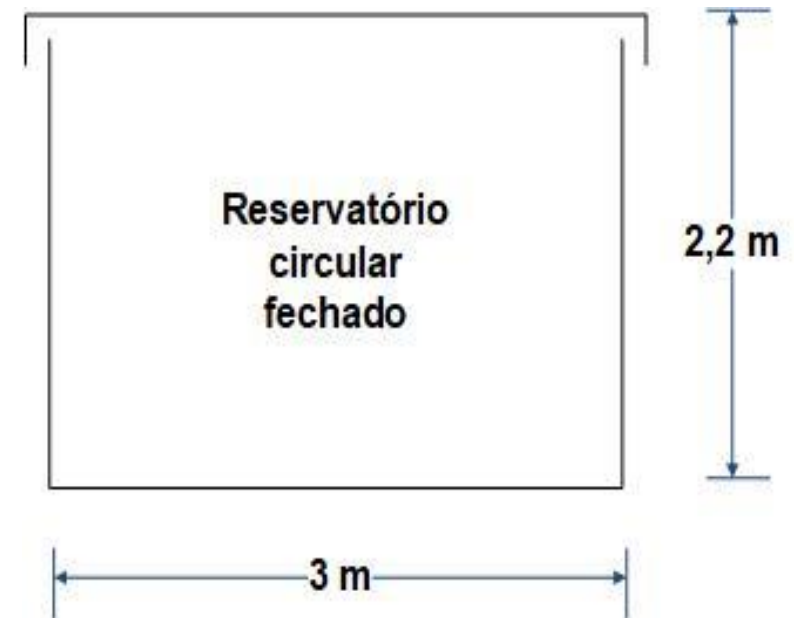
RESERVATÓRIOS

- Como também representado, os galpões estarão localizados a uma distancia de 4 metros do pipe-way, esse dado será importante na determinação do comprimento de tubulação necessária para o projeto.



RESERVATÓRIOS

- Nossos reservatórios deverão possuir uma capacidade de 15 mil litros e suas dimensões serão apresentadas ao lado:
- Os reservatórios serão construídos de alvenaria para redução de custos.

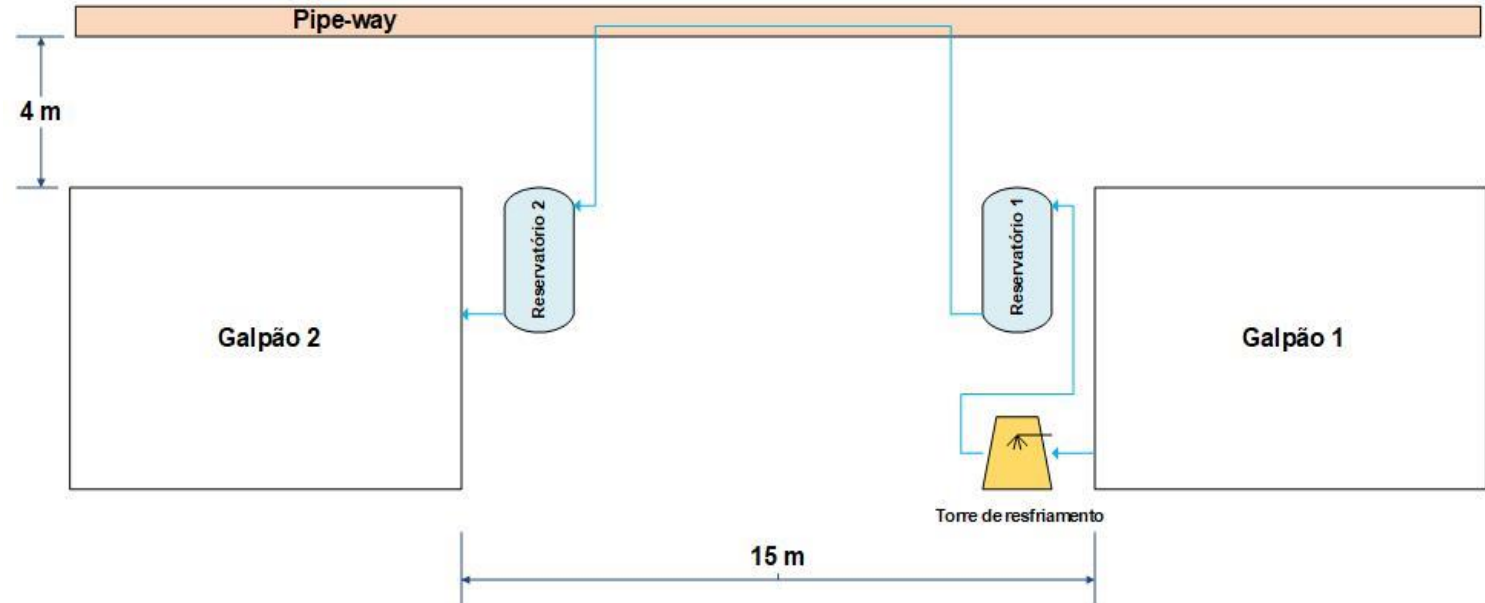


TUBULAÇÃO

■ COMPRIMENTO DE TUBULAÇÃO

- nossa tubulação até a base do segundo reservatório deverá possuir um comprimento de 23 metros, considerando as duas partes de 4 metros somadas a de 15 metros, além de um comprimento adicional de 2 metros para que a tubulação chegue ao topo do reservatório 2, totalizando assim:

- $L_{total} = 15\text{ m} + 4\text{ m} + 4\text{ m} + 2\text{ m} = 25\text{ m}$



PERDA DE CARGA - CÁLCULO DA VELOCIDADE

- Para se determinar o fator de atrito será necessário se obter a velocidade que o fluido se desloca dentro dos tubos, para isso utilizaremos os dados de fluxo e diâmetro da tubulação, a seguir apresentamos os cálculos:

$$Q = v \cdot A = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

- Reorganizando a equação para isolar a velocidade, teremos:

$$v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{10 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot 0.060^2} = 0,9824 \cong 1.0 \text{ m/s}$$



PERDA DE CARGA - CÁLCULO DO NÚMERO DE REYNOLDS

Como nosso processo exige que o fluido seja condensado através da torre de resfriamento e armazenado em um reservatório, a temperatura do fluido tende a se estabilizar com a do ambiente, logo possuirá as seguintes características para a temperatura de 25°C:

- $\mu - 0,8903 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$;
- $\rho - 997,05 \text{ kg/m}^3$.

Logo teremos:

$$Re = \rho * V * D / \mu . : Re = 997,05 . 1,0 . 0.060 / 0,8903 \times 10^{-3} = \mathbf{6,7194 \times 10^5}$$

Como o número de Reynolds é superior a 2400, podemos concluir que o nosso escoamento é turbulento.



PERDA DE CARGA - CÁLCULO DA RUGOSIDADE

- **Rugosidade Relativa = ϵ / D**

Vamos considerar a $\epsilon = 0,08$ utilizando A PNB 591/77(ABNT, 1977).

Logo a rugosidade relativa será:

- **Rugosidade relativa = $0.08 / 60 = 0,0013$**

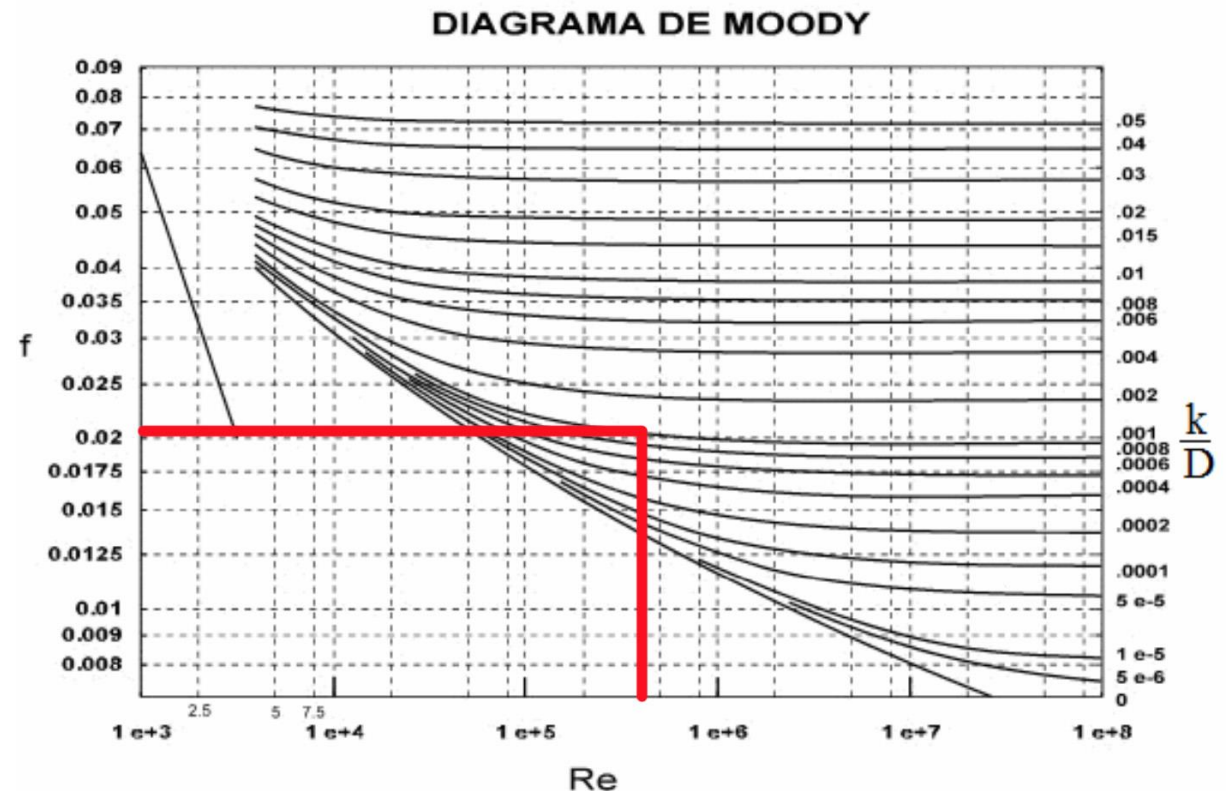
Tabela 1 - Valores referenciais de rugosidades absolutas para tubos de PVC, segundo diferentes autores.

Rugosidade absoluta - ϵ (mm)	Fonte
0,0015-0,010	Porto (2000)
0,01-0,06	Marques & Souza (2011)
0,08-0,12	PNB 591/77 (ABNT, 1977)
0,1	Azevedo Netto & Alvarez (1982)
0,0015	Rossmann (2000)
0,0015-0,12	Faixa resultante



PERDA DE CARGA - CÁLCULO DO FATOR DE ATRITO

- Pelo diagrama de Moody temos:
- Pela área destacada em vermelho temos que o nosso fator de atrito é $f = 0,021$.



PERDA DE CARGA - PERDAS LOCALIZADAS

- As perdas localizadas são as que ocorrem por meio de conectores ou alterações nos diâmetros da tubulação, como no nosso caso nos tratamos apenas de joelhos, pelo catálogo da Tigre.
- Como destacado em amarelo na imagem, a perda localizada causada por cada joelho é de 3,4 m, totalizando 13,6 m para os quatro joelhos.

DE (mm)	D. ref. (pol.)	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Passagem Direita	Tê 90° Saída de lado	Tê 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Borda	Saída de Canalização	Válvula de Pê e Crivo	Válvula de Retenção Tipo Leve	Válvula de Retenção Tipo Pesado	Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro de Ângulo Aberto
20	½"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
25	¾"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
32	1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
40	1¼"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
50	1½"	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
60	2"	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
75	2½"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
85	3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
110	4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1



PERDA DE CARGA - PERDAS DISTRIBUÍDAS

Pela expressão geral da perda de carga de Darcy e Weisbach termos:

$$J = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Como já possuímos todos os dados necessários para a equação, basta substituímos os valores.

$$J = 0,021 \cdot \frac{25}{0,060} \cdot \frac{1,0^2}{2 \cdot 9,81} = 0,4460 \text{ m}$$

Logo é notável que nosso sistema possui uma baixa perda de carga distribuída, portanto as perdas conjuntas será de:

$$J_{total} = J_{distribuída} + J_{localizada} = 0,4460 + 13,60 = 14,0460 \text{ m}$$



CURVA DA INSTALAÇÃO

O cálculo da altura manométrica nos proporciona a possibilidade de desenhar a curva da instalação e facilitar a seleção da bomba adequada para o projeto.

$$H = h_e + J - \frac{v_3^2}{2g} + H_b - H_r$$

Logo, teremos ao aplicar os valores:

$$H = 2 + 14,0460 - \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 16,00 \text{ m. c. a}$$



CURVA DA INSTALAÇÃO

Com a altura manométrica definida, podemos encontrar a curva da instalação, para que, por fim, possamos cruzar com a curva da bomba. A curva da bomba pode ser definida por:

$$H = h_e + K \cdot Q^2$$

Determinando o valor de K:

$$K = \frac{H - h_e}{Q^2} = \frac{16,00 - 2,00}{10,00^2} = 0,14$$

Portanto a curva da instalação irá obedecer a seguinte expressão:

$$H = 2,00 + 0,14 \cdot Q^2$$



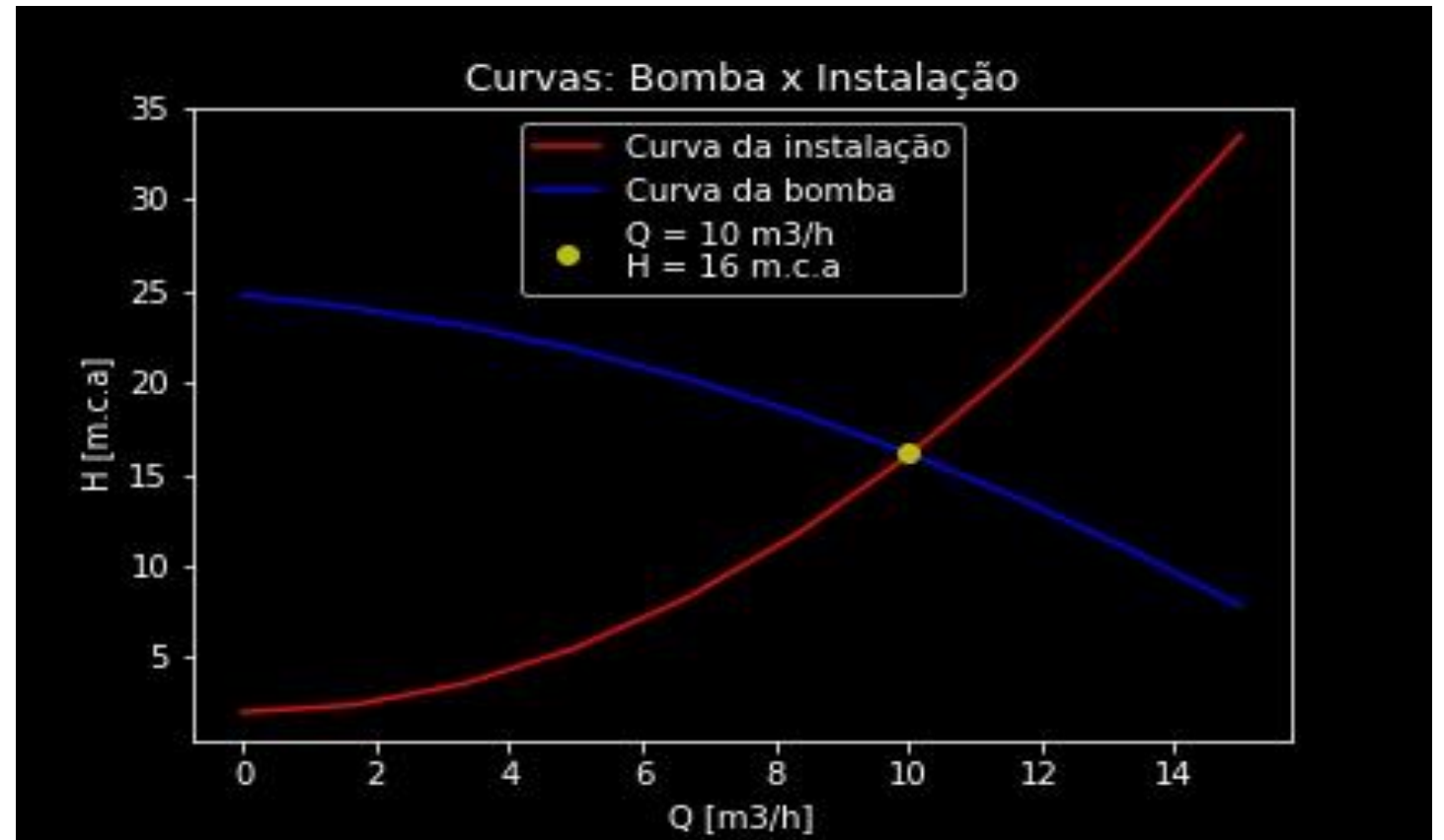
- Para determinar a bomba utilizaremos os dados de altura manométrica e vazão já apresentados, $H = 16 \text{ m.c.a}$ e $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Como apresentado na figura, foi selecionada uma bomba com motor elétrico de 1cv com altura de 16 m.c.a e vazão de $10,1 \text{ m}^3/\text{h}$, modelo BC-92 S/T HB.

MODELO	Potência (cv)	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de sucção (m c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS											
							ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m c.a.)											
							5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
							VAZÃO EM m³/h VÁLIDA PARA SUÇÃO DE 0 m c.a.											
BC-92 S/T HB	3/4	1 1/2	1 1/4	21	8	110	14,5	13,9	12,7	11,4	10,0	8,5	6,7					
	1	1 1/2	1 1/4	24	8	120	16,4	15,9	14,9	13,8	12,7	11,5	10,1	8,6	6,9			
	1,5	1 1/2	1 1/4	30	8	130	*	*	16,9	16,1	15,3	14,4	13,5	12,5	11,5	10,3	9,0	7,4
	2	1 1/2	1 1/4	37	8	140	*	*	*	*	*	16,8	16,0	15,2	14,3	13,3	12,3	11,2
	3	1 1/2	1 1/4	43	8	150	*	*	*	*	*	*	*	*	17,3	16,6	15,8	15,0



CURVA DA BOMBA EM FUNÇÃO DA CURVA DO SISTEMA

Para determinarmos a curva da bomba utilizamos dados fornecidos pelo fabricante da mesma bomba para diferentes vazões e com ajuda de um script na linguagem Python traçamos a curva e obtemos a equação da curva da bomba a seguir:



ANÁLISE DA PRESSÃO QUE O FLUIDO EXERCE NA TUBULAÇÃO

Por Bernoulli determinamos a pressão máxima do sistema

$$\left(\frac{P_1}{997,05 \times 9,81} \right) - \left(\frac{235 \cdot 2 \cdot 10^3}{997,05 \times 9,81} \right) = 16$$

A partir daí, teremos $P_1 = 391,6970$ kPa, como mencionado no catálogo da Tigre os tubos utilizados nesse projeto suportam até 750 kPa, portanto sabemos que a tubulação irá suportar a pressão exercida pelo fluido.



ANÁLISE DO NPSH

Pela equação do número característico de rotações por minuto:

$$nq = \frac{n * \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_u^3}}$$

$$nq = \frac{3600 * \sqrt{0,002778}}{\sqrt[4]{16^3}} = 23,7180 \text{ rpm}$$

Logo, para esse valor de nq obtemos a velocidade específica real da bomba:

$$ns = 3,65 * 23,7180 \therefore \mathbf{ns = 86,5708 \text{ rpm}}$$

Verifica-se que a bomba será do tipo centrífuga lenta pois $ns < 90$.

$$NPSH_{req} = \sigma H$$

De forma que:

- σ = Fator de cavitação de Thoma
- H = Altura manométrica

Sendo uma bomba centrífuga, teremos $\varphi = 0,0011$, temos um fator de correção sigma como sendo: .

$$\sigma = \varphi * \sqrt[3]{n_q^4}$$

$$\sigma = 0,0011 * \sqrt[3]{23,7180^4} = 0,07496$$

Assim o $NPSH_{req}$ pode ser determinado como:

$$NPSH_{req} = 0,07496 * 16,00 \therefore \mathbf{NPSH_{req} = 1,2 \text{ m}}$$

$$NPSH_{disp} = \frac{Pa}{\gamma} - ha - Ja - hv$$

$$\begin{aligned} NPSH_{disp} &= \frac{101,32 * 10^3}{997,05 * 9,81} - \frac{3,1698 * 10^3}{997,05 * 9,81} \therefore \mathbf{NPSH_{disp} = 10,0052 \text{ m}} \end{aligned}$$

Como o $NPSH_{disp} > NPSH_{req}$, a bomba não sofrerá cavitação



MOTOR ELÉTRICO

Como a bomba selecionada foi do tipo motobomba (bombas que por padrão já vem incluso um motor), algumas de suas características já são apontadas no próprio catálogo de bombas. A seguir apresentamos algumas das características que nos foram fornecidas:

- Potência de 1 cv;
- 2 Polos;
- Monofásico ou trifásico.



INSTUMENTAÇÃO - SENSORES DE NÍVEL

Serão utilizados 4 sensores de nível, o reservatório 1 conterá 2, um de nível baixo e outro de nível alto, o mesmo se aplicará para o reservatório 2. Ambos os sensores serão o mesmo modelo.

Este componente é incluso horizontalmente no reservatório, onde por se tratar de uma chave on/off será utilizado apenas para verificar se um determinado nível foi atingido ou não.



INSTUMENTAÇÃO - SENSORES DE NÍVEL

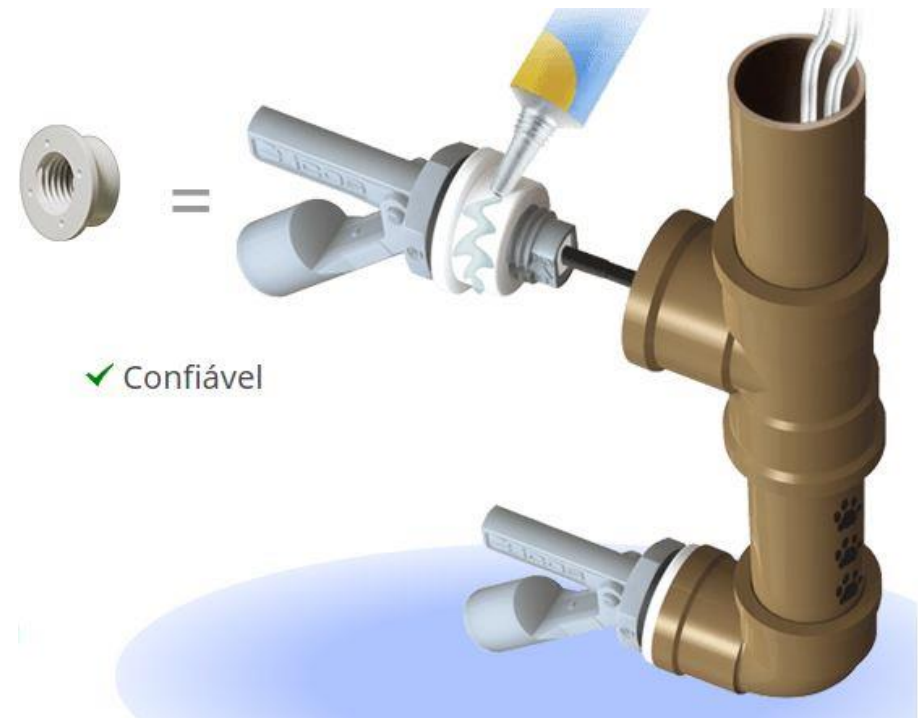
Algumas especificações do produto:

- Pressão máxima de trabalho: 2 bar;
- Temp. de trabalho: -10°C a 100°C;
- Espessura máx. parede reservatório: 9mm
- Densidade mín. do líquido: 0,76;
- Saída: contato on/off;
- Tensão de trabalho: 110V, 220V (ac) ou 5V, 12V, 24V (dc).



INSTUMENTAÇÃO - SENSORES DE NÍVEL

- Como a espessura dos nossos reservatórios por serem feitos de alvenaria excedem a espessura máxima permitida para o sensor, será utilizado um tubo de PVC com adaptadores para o encaixe dos sensores, para que assim possa ser implantado no projeto sem perturbações.



ORÇAMENTO

Produtos	Valor unitário	Quantidade	Total
Bomba	R\$ 971,00	1	R\$ 971,00
Encanamento PVC 60mm	RS 135,70	5	RS 678,50
Chave de nível	R\$ 52,00	4	R\$ 156,00
Joelhos 90° de 60mm	R\$ 27,49	4	R\$ 109,96
Adaptador	R\$ 3,50	3	R\$ 10,50
Registro 60mm	R\$ 57,68	2	R\$ 115,36
Total			R\$ 2.093,32



PRODUTOS



Bomba Schneider BC-92S 1A 1,0CV - 127/220V Monofásica

☆☆☆☆☆ (Avalie agora!)

Pontos Fidelidade: 4,00

Tipo de Indução

127/220V Monofásica

De: R\$ 1.214,00

Por: R\$ 971,00

ou 6x de R\$ 161,83

Ou **922,45** à vista (5% de desconto)

Economia de R\$ 243,00

Confira as Condições de Parcelamento

COMPRAR

Sensor de Nível LA16M-40
para água, óleo, combustíveis e lubrificantes



1 — 19 pçs.

R\$ 52,00 pç

20 — 99 pçs.

R\$ 29,75 pç
pagto. antecipado

+ 100 pçs.

R\$ 25,50 pç
pagto. antecipado

R\$ 35,00 pç
a prazo ou cartão

R\$ 30,00 pç
a prazo ou cartão

Formas de Pagto. e Frete

Venda mínima: R\$500,00

Cotar / Comprar

Captura Retangular

Adaptador PVC M16x25



1 peça

R\$ 3,50 pç

Formas de Pagto. e Frete

Venda mínima: R\$500,00

Cotar / Comprar

TIGRE

Tubo de PVC Marrom Soldável 60mm com 6 Metros - 10120608 - TIGRE

☆☆☆☆☆ (Avalie agora!)

Código Copafre: 51861



24% OFF

DE R\$ 178,56

R\$ 135,70

ou 3x de R\$ 45,23 sem juros

COMPRAR >

Garantimos sua segurança

TIGRE

Joelho 90° Graus Soldável 60mm - 22150600 - TIGRE

☆☆☆☆☆ (Avalie agora!)

Código Copafre: 134228



24% OFF

DE R\$ 36,18

R\$ 27,49

ou 1x de R\$ 27,49 sem juros

COMPRAR >

Garantimos sua segurança

Mais informações do produto

TIGRE

Registro Esfera VS Compacto Soldável 60mm - 27950353 - Tigre

☆☆☆☆☆ (Avalie agora!)

Código Copafre: 796212



24% OFF

DE R\$ 76,30

R\$ 57,68

ou 1x de R\$ 57,68 sem juros

COMPRAR >

Garantimos sua segurança

Mais informações do produto

