

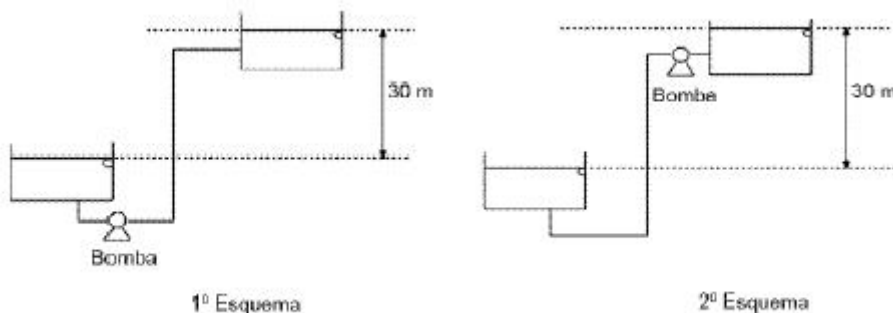
Quarta aula 1_2007

Vamos iniciar resolvendo os exercícios propostos na aula anterior e que foram entregues no início desta aula.

Água é transferida de um reservatório para outro, cujo nível de referência encontra-se 30m acima do primeiro. Essa transferência é efetuada através de uma tubulação com diâmetro interno igual a 0,254 m e comprimento total de 450 m. Ambos os reservatórios encontram-se sob pressão atmosférica.

Como o número de conexões é pequeno, a perda de carga localizada (em virtude dessas conexões) pode ser atribuída somente a uma válvula globo (posicionada no recalque da bomba centrífuga) utilizada para regular a vazão transferida entre os reservatórios. A Equação de Bernoulli, modificada para fluidos reais, aplicada entre dois pontos localizados nas superfícies dos reservatórios, leva à obtenção da chamada curva de carga do sistema, que, para a condição de válvula totalmente aberta e variação desprezível dos níveis no interior dos reservatórios, apresenta a seguinte forma: $H_s = 30 + 1.055 Q^2 + 99 Q^2$, na qual H_s é a carga que deve ser desenvolvida pela bomba para que escoe uma vazão volumétrica Q através da tubulação. Nesta equação, $[H_s] = \text{m}$ de coluna de fluido escoando e $[Q] = \text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Dentre os termos em Q^2 , o de maior coeficiente responde pela perda de carga distribuída (efeitos viscosos na região de escoamento estabelecido). A curva característica da bomba centrífuga utilizada no sistema pode ser aproximada por: $H_b = 150 - 4.050 Q^2$, na qual H_b é a carga desenvolvida pela bomba quando ela bombeia uma vazão volumétrica Q . Também neste caso, $[H_b] = \text{m}$ de coluna de fluido escoando e $[Q] = \text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

Abaixo são mostrados dois esquemas com duas alternativas de posição para a bomba do sistema. Note que esta posição não tem influência nos cálculos realizados nos itens anteriores. Porém, ela é de fundamental importância para o bom funcionamento do sistema de bombeamento e, conseqüentemente, para o êxito da transferência da água, na vazão desejada, de um reservatório para o outro.



Com base nestas informações e admitindo que se esteja operando em uma faixa de números de Reynolds, na qual o fator de atrito se mantenha constante (escoamento totalmente

turbulento), determine: a) vazão transferida do reservatório inferior para o superior, estando à válvula totalmente aberta; b) nova vazão com a válvula fechada em 50%. Considere que a constante da válvula aberta (K_{ab}) é igual a 5,0 e que, para válvulas globo 50% fechadas, $K = 5 K_{ab}$; c) Indique qual das duas alternativas você escolheria e justifique a sua escolha.

Dados: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 10^{-3} \text{ kg/(m*s)}$ e $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

(Provão do MEC)

Resolução

- a. No ponto de trabalho se tem a igualdade da CCB com a CCI, para o exercício isto resulta:

$$150 - 4050 \times Q^2 = 30 + 1055 \times Q^2 + 99 \times Q^2$$

$$120 = 5204 \times Q^2 \therefore Q = 1000 \times \sqrt{\frac{120}{5204}} \cong 151,85 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- b. No caso do fechamento da válvula, tem-se:

$$h_s = K_s \times \frac{v^2}{2g} = K_{ab} \times \frac{1}{2g \times A^2} \times Q^2$$

$$h_{s_{\text{válvula fechada}}} = 5 \times K_{ab} \times \frac{1}{2g \times A^2} \times Q^2$$

Como pelos dados do exercício, tem-se: $99 = k_{ab} \times \frac{1}{2g \times A^2}$, pode-

se escrever que: $h_{s_{\text{válvula fechada}}} = 5 \times 99 \times Q^2 = 495 \times Q^2$

Daí pode-se novamente determinar a vazão no novo ponto de

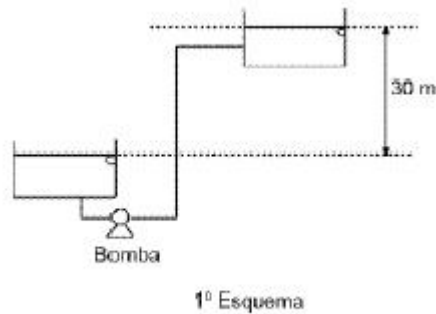
trabalho, ou seja:

$$150 - 4050 \times Q^2 = 30 + 1055 \times Q^2 + 495 \times Q^2$$

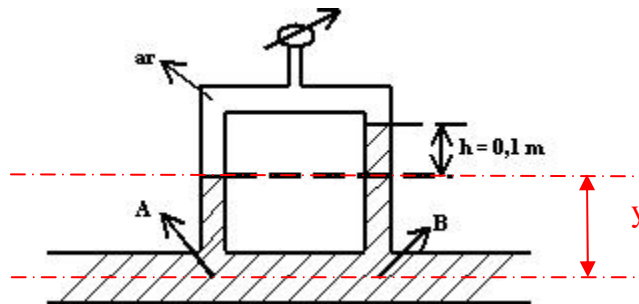
$$120 = 5600 \times Q^2 \therefore Q = 1000 \times \sqrt{\frac{120}{5600}} \cong 146,39 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- c. para se selecionar o melhor esquema para o funcionamento, basta lembrar que a medida que se aumenta o desnível para entrada da

bomba, mas difícil se torna transportar o fluido até ela e maior a probabilidade de se ocorrer o fenômeno de cavitação, daí o fato de se optar pelo 1º esquema



O dispositivo mostrado na figura abaixo mede o diferencial de pressão entre os pontos A e B de uma tubulação por onde escoava água. Considere $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, a tubulação de PVC com diâmetro interno igual a 22 mm, o comprimento igual a 3,5 m e $v_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$.



Sabendo-se que a massa específica da água e do ar são respectivamente 1000 kg/m^3 e $1,2 \text{ kg/m}^3$ pede-se:

1. determinar o diferencial de pressão entre os pontos A e B, em Pa;
2. calcule a pressão absoluta no interior da camada de ar, sendo a leitura do Manômetro de Bourdon $P_{\text{man}} = 10^4 \text{ Pa}$, e a pressão atmosférica local $P_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$;
3. indicar o sentido de escoamento do fluido, justificando adequadamente;
4. determinar a perda de carga entre as seções A e B;
5. calcular o coeficiente de perda de carga distribuída.

Resolução:

1.

$$P_A = P_{\text{par}} + \gamma \times \gamma_{H_2O}$$

$$P_B = P_{\text{par}} + \gamma \times \gamma_{H_2O} + 0,1 \times \gamma_{H_2O}$$

$$\therefore P_B = P_A + 0,1 \times \gamma_{H_2O} \Rightarrow P_B - P_A = 0,1 \times 1000 \times 9,8 = 980 \text{ Pa}$$

2.

$$P_{\text{par}_{\text{abs}}} = P_{\text{par}} + P_{\text{atm}_{\text{local}}}$$

$$\therefore P_{\text{par}_{\text{abs}}} = 10^4 + 10^5 = 110000 \text{ Pa}$$

3. O sentido do escoamento em um trecho sem máquina hidráulica é sempre da maior carga para a menor carga, no caso, tem-se que a carga potencial e cinética são constantes, portanto o escoamento vai da maior carga de pressão para a menor carga de pressão, ou seja, da maior pressão para a menor pressão, como: $P_B = P_A + 0,1 \times \gamma_{H_2O}$, pode-se afirmar que o escoamento ocorre de B para A.

4. aplicando a equação da energia da seção B a seção A, tem-se:

$$H_B = H_A + H_{p_{B-A}}$$

$$Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + H_{p_{B-A}}, \text{ como a área é constante, o}$$

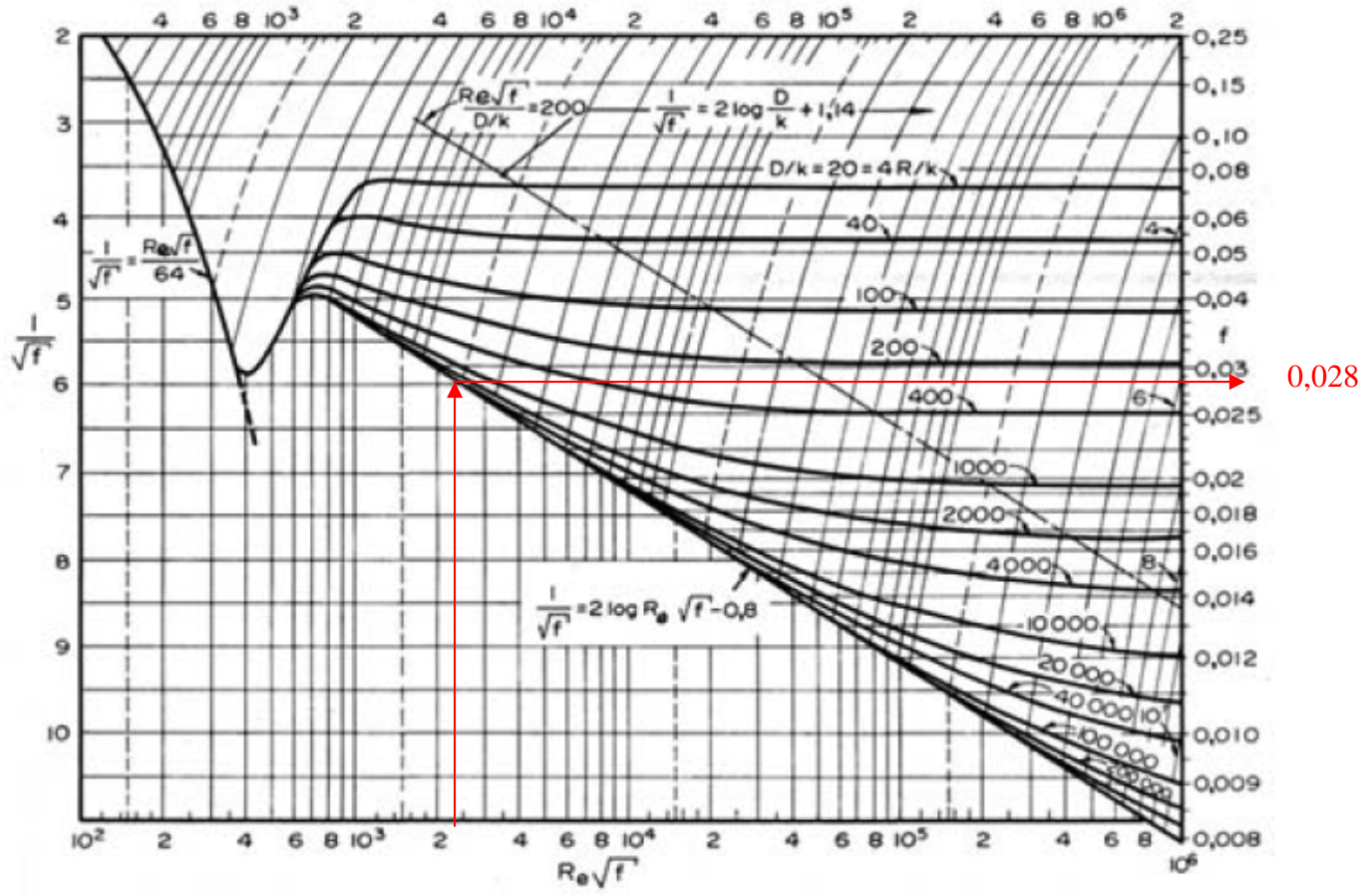
comprimento entre as seções não é desprezível, $Z_B = Z_A$ e

$$v_B = v_A, \text{ tem-se; } h_{f_{B-A}} = \frac{P_B - P_A}{\gamma} = \frac{980}{9,8 \times 1000} = 0,1 \text{ m}$$

$$5. \text{Re} \sqrt{f} = \frac{D}{v} \times \sqrt{\frac{h_f \times D_H \times 2g}{L}} = \frac{0,022}{10^{-6}} \times \sqrt{\frac{0,1 \times 0,022 \times 2 \times 9,8}{3,5}} \approx 2442$$

DIAGRAMA DE ROUSE

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$



Etapas de um projeto de uma instalação hidráulica básica.



Entendendo o fenômeno de cavitação

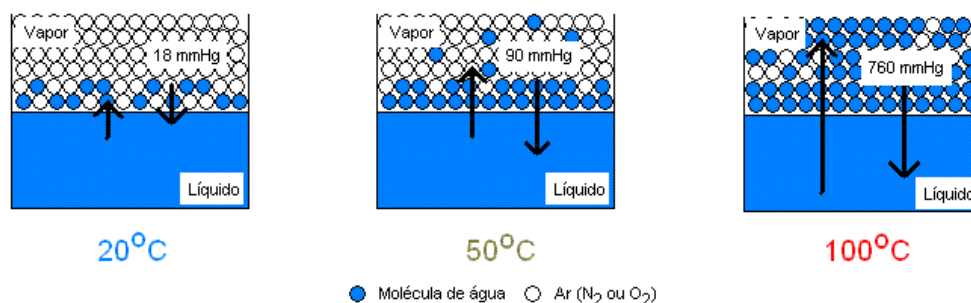
No caso de uma instalação hidráulica seria a mudança total, ou parcial, da fase líquida para a fase vapor na própria temperatura de escoamento devido à existência de uma pressão menor ou igual à pressão de vapor.

Considerando a referência <http://pt.wikipedia.org> tem-se que:

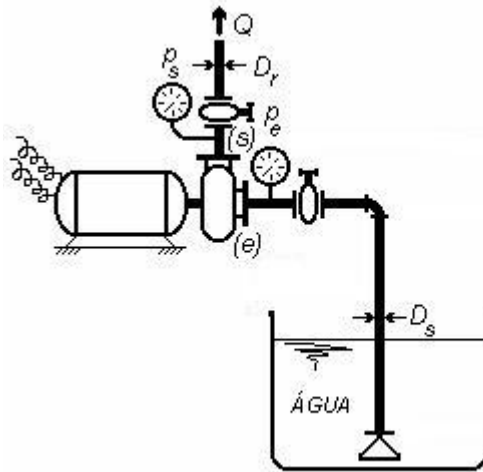
Pressão de vapor é a pressão exercida por um vapor quando este está em equilíbrio com o líquido que lhe deu origem. A pressão de vapor é uma medida da tendência de evaporação de um líquido. Quanto maior a sua pressão de vapor maior é essa tendência e mais volátil é o líquido.

É uma propriedade física que depende intimamente do valor da temperatura. Qualquer que seja a temperatura, a tendência é de o líquido se vaporizar até atingir equilíbrio termodinâmico com o vapor; em termos cinéticos, esse equilíbrio se manifesta quando a taxa de líquido vaporizado é igual à taxa de vapor condensado. Uma substância líquida entra em ebulição quando a pressão do sistema ao qual faz parte atinge a pressão de vapor dessa substância. Esse ponto recebe o nome de ponto de ebulição ou temperatura de ebulição. O ponto de ebulição normal é a temperatura de ebulição da substância à pressão de uma atmosfera.

Em locais com maior altitude, onde a pressão atmosférica é menor, a temperatura de ebulição das substâncias líquidas são mais baixas já que sua pressão de vapor precisa se igualar a um valor menor (considerando que o sistema é aberto).



Inicialmente se considerou que em uma instalação de recalque tradicional a menor pressão ocorria na seção de entrada da bomba, vide figura a seguir.



$$H_{\text{nível de captação}} = H_e + H_{\text{pantes da bomba}}$$

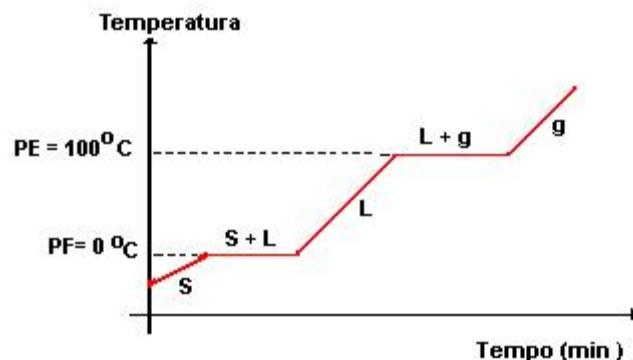
$$0 = Z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} + f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eqaB})}{D_H} \times \frac{v_{aB}^2}{2g}$$

$$0 = Z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2} + f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eqaB})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2}$$

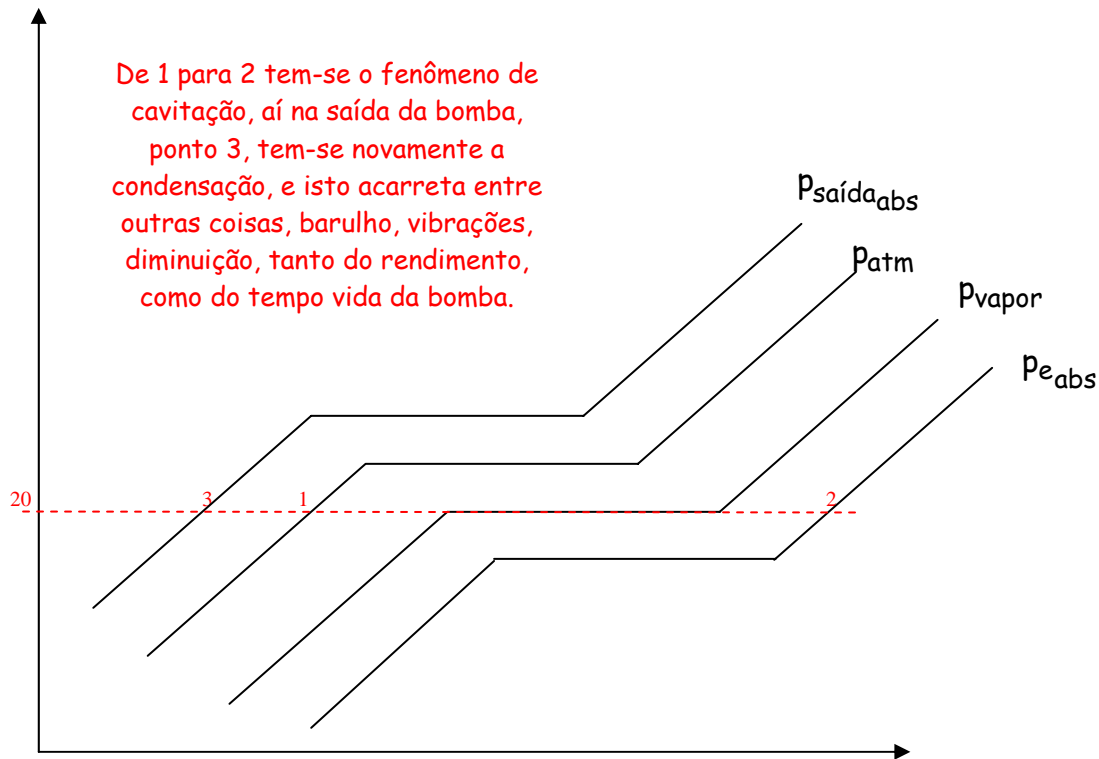
$$p_e = -\gamma \times \left[Z_e + \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2} + f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eqaB})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2} \right]$$

$$p_{e_{abs}} = p_e + p_{atm_{local}}$$

Para cada pressão, representam-se as diversas mudanças de fase, a figura a seguir é para água ao nível do mar, ou seja, para a pressão igual a 1 atm



Supondo que a temperatura de escoamento de água (fluido a ser transportado) é igual a 20°C, que a instalação encontra-se ao nível do mar, que a pressão de entrada da bomba na escala absoluta é menor que a pressão de vapor e que a pressão de saída é maior que a pressão atmosférica, tem-se a situação representada a seguir:



$$p_e = -\gamma \times \left[Z_e + \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2} + f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eqaB})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2} \right]$$

Supondo que esteja ocorrendo o fenômeno de cavitação na entrada da bomba, que é chamado de supercavitação, procura-se eliminá-lo aumentando-se a pressão de entrada da mesma, ou seja, diminuindo-se a soma que se encontra dentro dos colchetes, para isto, deve-se¹:

¹ serão mencionados os cuidados preliminares que devem ser adotados em um projeto na tentativa de se diminuir a probabilidade de ocorrer o fenômeno de cavitação

1. instalar a bomba o mais perto possível do nível do reservatório de captação, ou até mesmo, abaixo do mesmo (bomba afogada);
2. o comprimento da tubulação antes da bomba deve ser o menor possível;
3. na tubulação antes da bomba se utiliza as singularidades estritamente necessárias (somatória dos comprimentos equivalentes deve ser a menor possível);
4. deve-se dimensionar a tubulação após a bomba e adotar para a tubulação antes da mesma um diâmetro comercial imediatamente superior, se possível no final do projeto, deve-se reduzir este diâmetro.

Portanto para não se ter o fenômeno de supercavitação tem-se que:

$$P_{e_{abs}} > P_{vapor\ do\ fluido\ transportado}$$

A condição anterior, apesar de ser necessária não é suficiente para se evitar o fenômeno de cavitação, para isto deve-se introduzir o NPSH = Net Positive Suction Head, onde é importante notar que se tem o requerido, que é fornecido pelo fabricante da bomba e o disponível que é calculado pelo projetista da instalação.

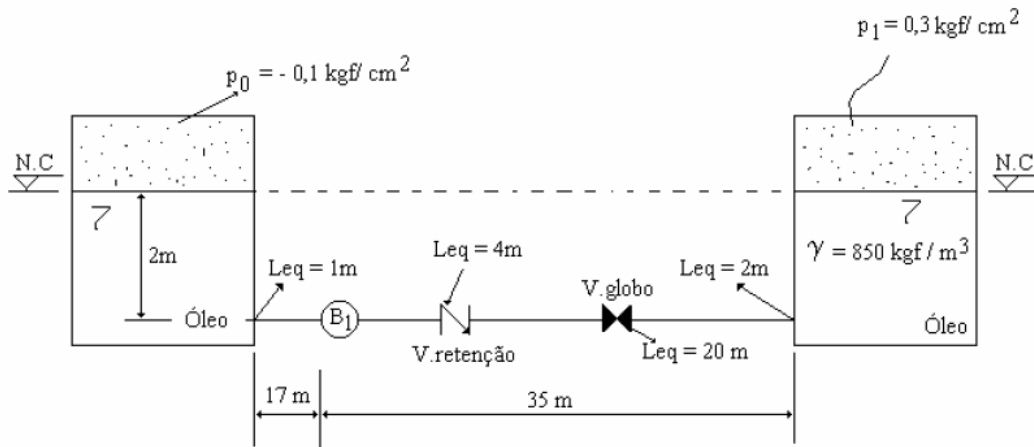
$$NPSH = H_{e_{abs}} - \frac{P_{vapor}}{\gamma}$$

Este será um assunto abordado na próxima aula, sugiro que antes da mesma seja dado um passeio no sítio:

<http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/supercavitacao.htm>

Exercícios

7.12.10 Considerando a instalação hidráulica esquematizada abaixo, determine a equação da CCI.

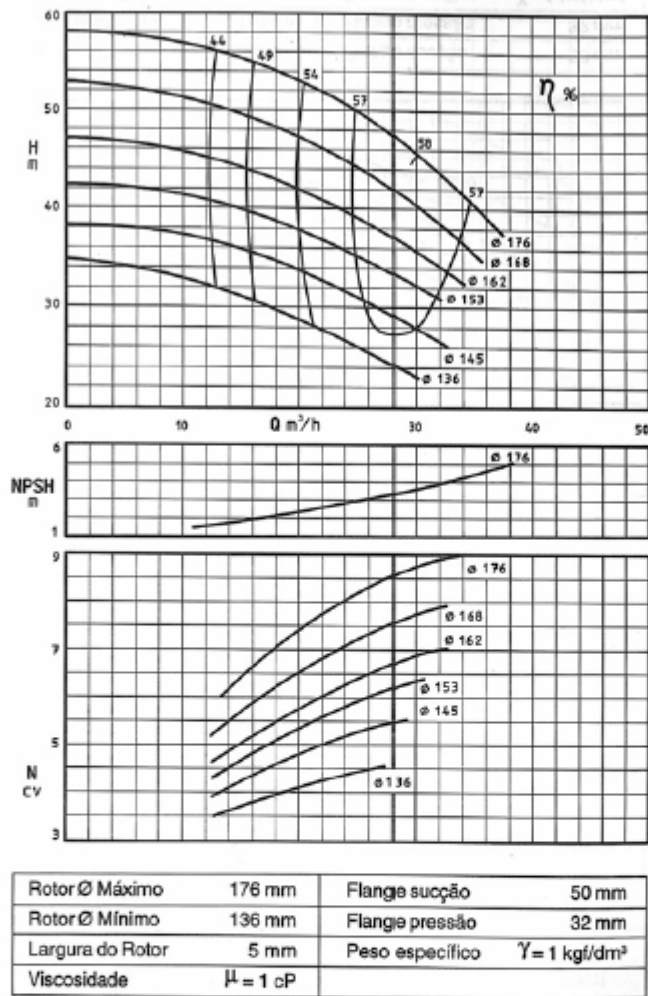


Tubo de Dint = 78 mm e $f \approx 0,02$

7.12.11 As curvas características fornecidas pelos fabricantes de bomba são válidas geralmente para a água ($\gamma_{H_2O} = 1 \frac{\text{Kgf}}{\text{litro}}$) e para certos limites de viscosidade (por exemplo $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ máxima). Considerando as curvas a seguir e sabendo-se que a bomba será utilizada para recalcar óleo, com peso específico igual a 850 kgf/m^3 , corrija as curvas características fornecidas pelo fabricante.



**Não podemos pensar em
construir um mundo
melhor sem eliminar as
injustiças sociais.**



Dados: $\rightarrow 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$.

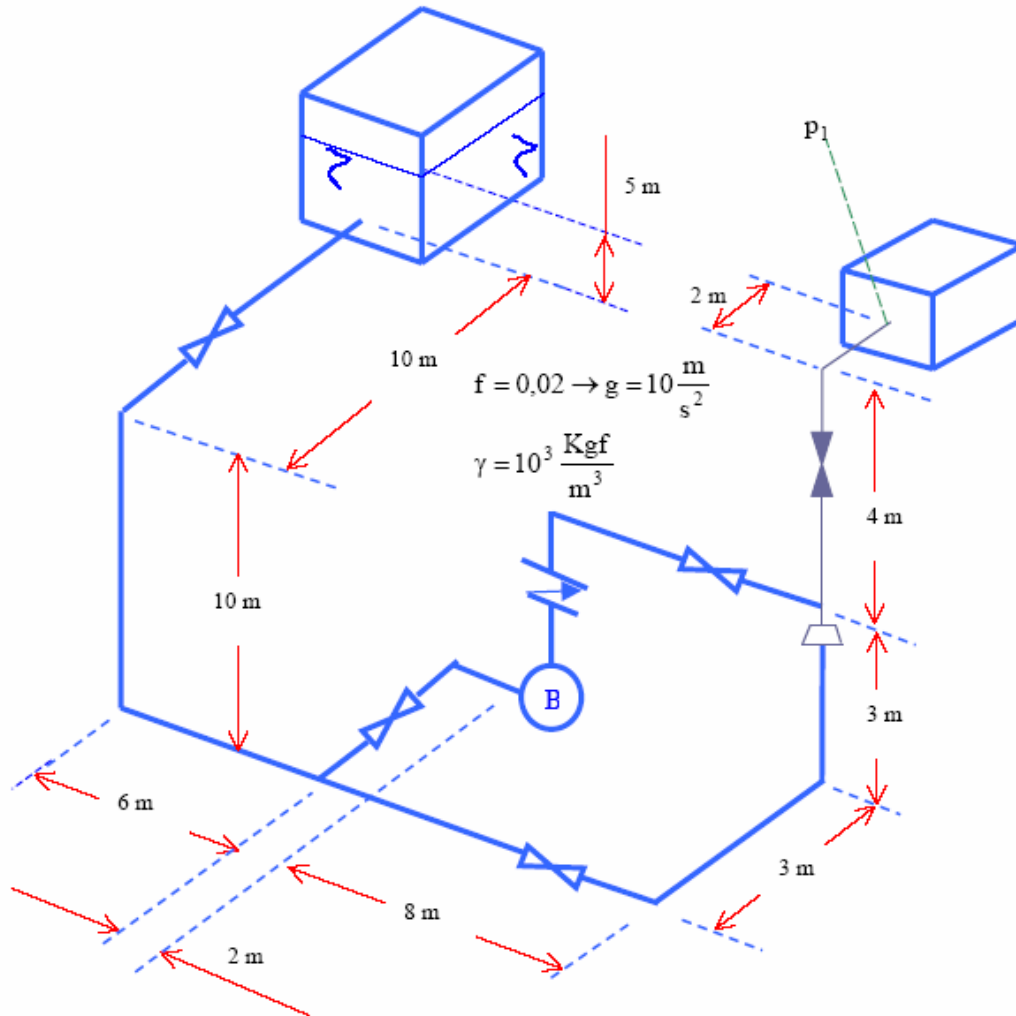
\rightarrow o óleo em questão apresenta a viscosidade cinemática dentro do limite especificado, ou seja o efeito da viscosidade é desprezível, o que equivale a dizer que os adimensionais característicos do fenômeno são:

$$\psi = \frac{g H_B}{n^2 D r^2} \rightarrow \text{coeficiente manométrico}; \quad \phi = \frac{Q}{n D r^3} \rightarrow \text{coeficiente de vazão.}$$

$$\chi = \frac{N_B}{\rho n^3 D r^5} \rightarrow \text{coeficiente de potência.}$$

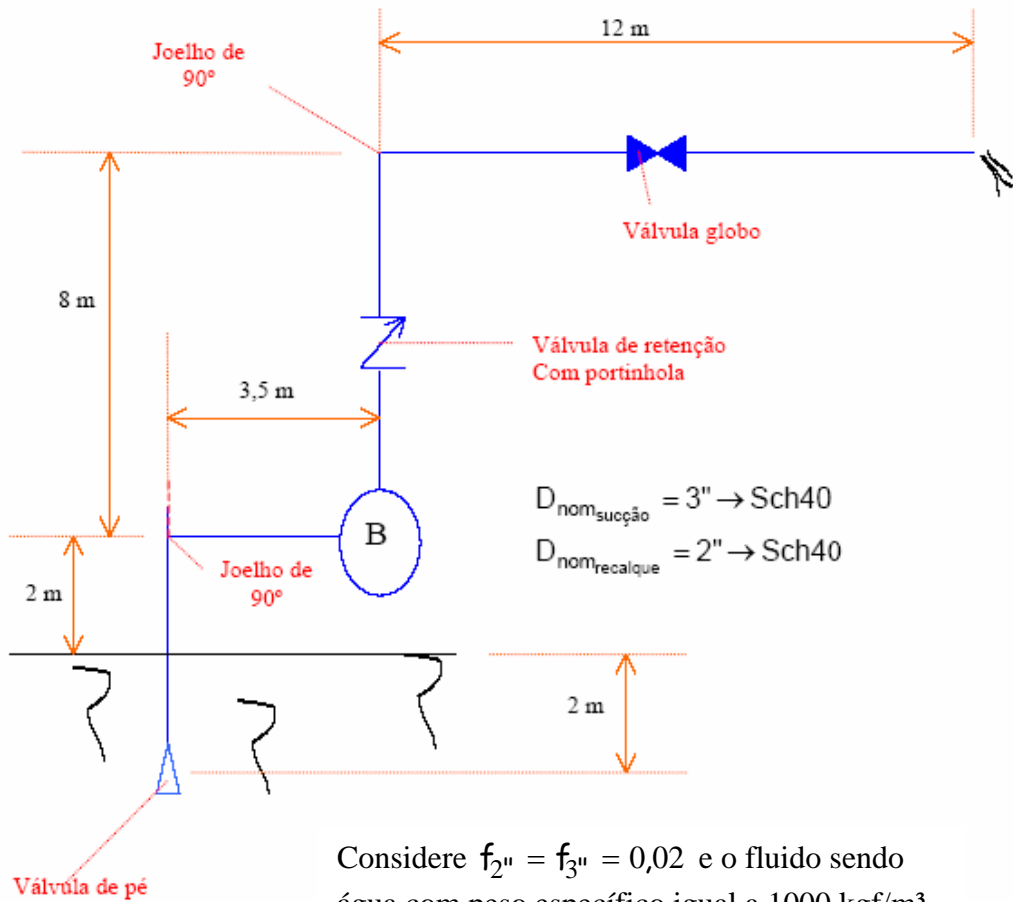
7.12.15 A instalação da figura deve atender um tanque de processo e a pressão na entrada deste tanque (1) deve ser $p_1 = 1,5 \text{ kgf/cm}^2$, se o escoamento for por gravidade (2 - fechada). A bomba H 50 - C com diâmetro de rotor igual a 214 mm será acionada sempre que o processo exigir uma pressão $p_1 = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$ (G_1 - fechada). Pede-se:

- a equação da CCI para as duas possibilidades mencionadas acima;
- o ponto de trabalho para as possibilidades de funcionamento da instalação.



7.12.16 Dada a instalação abaixo, pede-se:

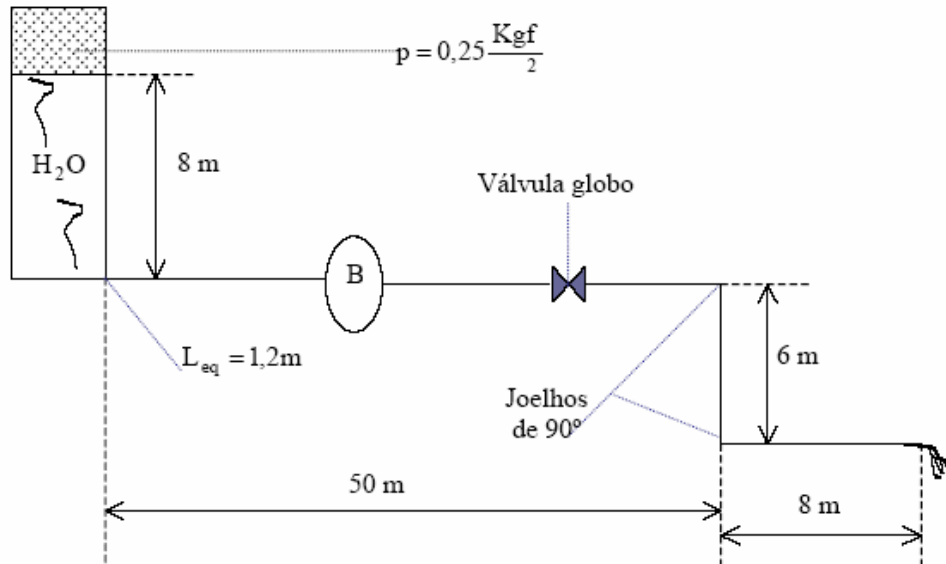
- Determinar a equação $H_B = f(Q)$ da instalação (CCI);
- O ponto de funcionamento da bomba para máxima vazão;
- A potência da bomba quando colocada nesta instalação;
- O K_S da válvula, se a válvula for fechada até que a vazão caia à metade.



$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$H_B \text{ (m)}$	38	38	38	38	37,5	37	36,3	34	32,5	30	27
$\eta_B \text{ (%)}$	-	-	35	48	57,5	67	70	74	72	67	60

7.12.17 Dada a instalação abaixo (SCH 40 - 2" (D_{nom}) - aço), determine:

- A vazão sem bomba (graficamente);
- O ponto de funcionamento, caso seja colocada à mesma bomba do exercício anterior.



$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$H_B (\text{m})$	38	38	38	38	37,5	36	35	34	32,5	30

Considere $f = 0,02$ constante e o peso específico da água igual a 1000 kgf/m^3

Para a resolução dos exercícios, caso não sejam fornecidos os comprimentos equivalentes e os diâmetros internos, devem ser utilizadas as informações e tabelas fornecidas a seguir.

6.2 Tubos Industriais

Devemos salientar que não é nosso objetivo nos deter em demasia neste tópico, mas simplesmente mencionar que os tubos industriais são aqueles encontrados no mercado à disposição do projetista. Para a sua escolha, devemos levar em conta:

- pressão e temperatura de trabalho;
- fluido a ser transportado;
- nível de tensões no material;
- natureza dos esforços mecânicos;
- diâmetro do tubo;
- sistema de ligações;
- custo do material;
- segurança;
- experiência prévia;
- facilidade de fabricação e montagem;
- velocidade do fluido;
- perdas de carga;
- facilidade de obtenção do material;
- tempo de vida previsto.

Uma boa fonte de consulta para este assunto é o livro Tubulações Industriais, escrito por Pedro C. Silva Telles e editado por Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Considerando que os tubos de aço-carbono são uns dos mais difundidos em instalações industriais, vamos utilizá-los como exemplo de tubos industriais. Os diâmetros comerciais de aço-carbono estão definidos pela norma americana ANSI B 36.10 e B 36.19.

Todos esses tubos são designados por um número chamado "Diâmetro Nominal" ou "Bitola Nominal", onde o diâmetro nominal de $\frac{1}{8}$ até 12" não corresponde a nenhuma dimensão física dos tubos; de 14 até 36", o diâmetro nominal coincide com o diâmetro externo dos tubos.

Para cada diâmetro nominal fabricam-se tubos com várias espessuras de parede, porém sempre com o mesmo diâmetro externo.

A seguir, fornecemos a tabela como exemplo de tubos de aço - dimensões normalizadas de acordo com as Normas ANSI B.36.10 (para tubos de aço-carbono e aços de baixa liga), e B.36.19 (para tubos de aços inoxidáveis).

Notas:

1. A norma ANSI B.36.19 só abrange tubos até o diâmetro nominal de 12".
2. As designações "Std", "XS" e "XXS" correspondem às espessuras denominadas "normal", "extra-forte", e "duplo extra-forte" da norma ANSI B.36.10. As designações 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 160 são "números de série" (schedule number) dessa mesma norma. As designações 5S, 10S, 40S e 80S são da norma ANSI B.36.19.
3. As espessuras em mm indicadas na tabela são os valores nominais; as espessuras mínimas correspondentes dependerão das tolerâncias de fabricação, que variam com o processo de fabricação do tubo. Para os tubos sem costura a tolerância usual é $\pm 12,5\%$ do valor nominal.
4. Nesta tabela estão omitidos alguns diâmetros e espessuras não usuais na prática. Para a tabela completa, contendo todos os diâmetros e espessuras, consulte as normas ANSI B 36.10 e B 36.19.
5. Os pesos indicados nesta tabela correspondem aos tubos de aço-carbono ou de aços de baixa liga. Os tubos de aços inoxidáveis ferríticos pesam cerca de 5% menos, e os de inoxidáveis austeníticos cerca de 2% mais.

Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm ²)	Área da seção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)			
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água						
1/4 -- 13,7	10S	1,65	10,4	0,85	0,62	0,043	0,49	0,085	0,116	0,160	0,430			
	Std. 40, 40S	2,23	9,2	0,67	0,81		0,62	0,067				0,138	0,202	0,413
	XS. 80, 80S	3,02	7,7	0,46	1,01		0,79	0,046				0,157	0,229	0,393
1/8 -- 17,1	10S	1,65	13,8	1,50	0,81	0,054	0,63	0,150	0,236	0,285	0,551			
	Std. 40, 40S	2,31	12,5	1,23	1,08		0,84	0,123				0,304	0,354	0,531
	XS. 80, 80S	3,20	10,7	0,91	1,40		1,10	0,090				0,359	0,419	0,506
1/2 -- 21	Std. 40, 40S	2,77	15,8	1,96	1,61	0,071	0,42	0,20	0,71	0,67	0,66			
	XS. 80, 80S	3,73	13,8	1,51	2,06		1,62	0,15				0,84	0,78	0,64
	160	4,75	11,8	1,10	2,47		1,94	0,11				0,92	0,86	0,61
	XXS	7,47	6,4	0,32	3,52		2,55	0,03				1,01	0,95	0,56
3/4 -- 27	Std. 40, 40S	2,87	20,9	3,44	2,15	0,083	1,68	0,34	1,54	1,16	0,85			
	XS. 80, 80S	3,91	18,8	2,79	2,80		2,19	0,28				1,86	1,40	0,82
	160	5,54	15,6	1,91	3,68		2,88	0,19				2,19	1,65	0,77
	XXS	7,82	11,0	0,95	4,63		3,63	0,10				2,41	1,81	0,72
1 -- 33	Std. 40, 40S	3,37	26,6	5,57	3,19	0,105	2,50	0,56	2,64	2,18	1,07			
	XS. 80, 80S	4,55	24,3	4,64	4,12		3,23	0,46				4,40	2,63	1,03
	160	6,35	20,7	3,37	5,39		4,23	0,34				5,21	3,12	0,98
	XXS	9,09	15,2	1,82	6,94		5,44	0,18				5,85	3,50	0,92
1 1/4 -- 42	Std. 40, 40S	3,56	35	9,65	4,32	0,132	3,38	0,96	8,11	3,85	1,37			
	XS. 80, 80S	4,85	32,5	8,28	5,68		4,46	0,83				10,06	4,77	1,33
	160	6,35	29,4	6,82	7,14		5,60	0,68				11,82	5,61	1,29
	XXS	9,70	22,7	4,07	9,90		7,76	0,41				14,19	6,74	1,20
1 1/2 -- 48	Std. 40, 40S	3,68	40,8	13,1	5,15	0,151	4,04	1,31	12,90	5,34	1,58			
	XS. 80, 80S	5,08	38,1	11,4	6,89		5,40	1,14				16,27	6,75	1,54
	160	7,14	33,9	9,07	9,22		7,23	0,91				20,10	8,33	1,48
	XXS	10,16	27,9	6,13	12,2		9,53	0,61				23,64	9,80	1,39
2 -- 60	Std. 40, 40S	3,91	52,5	21,7	6,93	0,196	5,44	2,17	27,72	9,20	2,00			
	XS. 80, 80S	5,54	49,2	19,0	9,53		7,47	1,90				36,13	11,98	1,95
	160	8,71	42,9	14,4	14,1		11,08	1,44				48,41	16,05	1,85
	XXS	11,07	38,2	11,4	17,1		13,44	1,14				54,61	18,10	1,79
2 1/4 -- 73	Std. 40, 40S	5,16	62,7	30,9	11,0	0,235	8,62	3,09	63,68	17,44	2,41			
	XS. 80, 80S	7,01	59,0	27,3	14,5		11,40	2,73				80,12	21,95	2,35
	160	9,52	54,0	22,9	19,0		14,89	2,29				97,94	26,83	2,27
	XXS	14,0	44,9	15,9	26,0		20,39	1,59				119,5	32,75	2,14
3 -- 89	10S	3,05	82,8	53,9	8,22	0,282	6,44	5,39	75,84	17,06	3,04			
	Std. 40, 40S	5,48	77,9	47,7	14,4		11,28	4,77				125,70	28,26	2,96
	XS. 80, 80S	7,62	73,6	42,6	19,5		15,25	4,26				162,33	36,48	2,89
	160	11,1	66,7	34,9	27,2		21,31	3,49				209,36	47,14	2,78
	XXS	15,2	58,4	26,8	35,3		27,65	2,68				249,32	56,22	2,66

Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm ²)	Área da seção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)	
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água				
4	10S	3,05	108,2	91,9	10,6	0,361	8,35	9,19	164,83	28,88	3,93	
	Std. 40, 40S	6,02	102,3	82,1	20,4		16,06	8,21	300,93	52,61	3,84	
	XS, 80, 80S	8,56	97,2	74,2	28,4		22,29	7,42	399,99	69,99	3,75	
	160	13,5	87,3	59,9	42,7		33,49	5,99	552,34	96,70	3,60	
	XXS	17,1	80,1	50,3	52,3		40,98	5,03	636,42	111,29	3,49	
6	10S	3,40	161,4	204,5	17,6	0,535	13,82	20,45	599,37	71,30	5,83	
	Std. 40, 40S	7,11	154,0	186,4	36,0		28,23	18,64	1171,3	139,32	5,70	
	XS, 80, 80S	10,97	146,3	168,2	54,2		42,51	16,82	1685,7	200,45	5,58	
	120	14,3	139,7	153,4	69,0		54,15	15,34	2064,5	245,52	5,47	
	160	18,2	131,8	136,4	86,0		67,41	13,64	2455,8	291,91	5,34	
168	XXS	21,9	124,4	121,5	100,9	79,10	12,15	2759,6	328,29	5,23		
8	10S	3,76	211,5	351,6	25,4	0,692	19,93	35,16	1473,4	134,56	7,62	
	Std. 40, 40S	8,18	202,7	322,6	54,2		42,48	32,26	3017,7	275,52	7,46	
	60	10,3	198,4	309,1	67,6		53,03	30,91	3696,1	337,31	7,39	
	XS, 80, 80S	12,7	193,7	294,8	82,3		64,56	29,48	4399,5	401,88	7,31	
	120	18,2	182,6	261,9	115,1		90,22	26,19	5852,2	534,31	7,13	
219	XXS	22,2	174,6	239,4	137,4	107,8	23,94	6742,9	616,26	7,00		
	160	23,0	173,1	235,5	141,7	111,1	23,55	6905,3	631,02	6,98		
	10	5S	3,40	266,2	556,8	29,2	0,858	22,54	55,68	2651,4	194,22	9,53
		10S	4,19	264,7	550,3	35,4		27,83	55,03	3200,8	234,38	9,50
		Std. 40, 40S	9,27	254,5	509,1	76,8		60,23	50,91	6692,9	490,06	9,32
XS, 60, 80S		12,7	247,6	481,9	103,9	81,45		48,19	8824,1	645,77	9,22	
80		15,1	242,9	463,2	122,1	95,72		46,32	10193	747,38	9,14	
273	120	21,4	230,2	416,1	169,3	132,7	41,61	13486	988,32	8,94		
	160	28,6	215,9	365,8	219,4	172,1	36,58	16607	1217,8	8,71		
	12	5S	4,19	315,5	782,0	42,1	1,018	29,11	78,20	5377,7	332,23	11,30
		10S	4,57	314,7	778,1	45,9		36,00	77,81	5848,0	361,07	11,28
		20	6,35	311,1	760,7	63,5		57,10	76,07	7987,5	493,34	11,23
Std. 40S		9,52	304,8	729,6	94,1	73,74		72,96	11675	717,88	11,13	
40		10,3	303,2	722,0	101,5	79,65		72,20	12487	771,97	11,10	
324	XS, 80S	12,7	298,4	699,4	124,1	97,34	69,94	15067	929,31	11,00		
	60	14,3	295,3	685,2	138,8	108,8	68,52	16691	1029,3	10,95		
	80	17,4	288,9	655,5	168,0	131,7	65,55	19771	1221,1	10,85		
	120	25,4	273,0	585,8	238,1	186,7	58,58	26722	1650,5	10,59		
	14	10	6,35	342,9	923,3	69,7	1,118	54,62	92,33	10630	598,24	12,34
Std. 30		9,52	336,5	889,7	103,5	81,20		88,97	15525	873,59	12,24	
40		11,1	333,4	872,9	120,1	94,29		87,29	17856	1003,1	12,19	
XS		12,7	330,2	856,2	136,8	107,3		85,62	20145	1132,5	12,14	
60		15,1	325,5	832,3	161,2	126,3		83,23	23392	1316,1	12,04	
356	80	19,0	317,5	791,7	201,3	157,9	79,17	28595	1609,5	11,91		
	100	23,8	308,0	745,2	248,4	194,5	74,52	34339	1930,7	11,76		
	16	10	6,35	393,7	1217,5	79,8	1,277	62,57	121,7	15983	786,72	14,15
		Std. 30	9,52	387,3	1178,1	118,8		93,12	117,8	23392	1152,2	14,05
		XS, 40	12,7	381,0	1140,1	157,1		123,2	114,0	30468	1499,7	13,92
60		16,6	373,1	1093,0	203,9	159,9		109,3	38834	1911,1	13,79	
80		21,4	363,6	1038,1	258,7	203,0		103,8	48158	2370,0	13,64	
406	100	26,2	354,0	984,6	312,9	245,3	98,46	56815	2796,1	13,46		
18	10	6,35	444,5	1551,7	89,9	1,436	70,52	155,2	22851	999,79	15,95	
	Std. 30	9,52	438,1	1507,8	133,9		105,0	150,8	33589	1468,5	15,82	
	XS	12,7	431,8	1464,6	177,4		139,0	146,5	43829	1917,6	15,72	
	40	14,3	428,6	1443,3	198,7		155,9	144,3	48782	2133,9	15,67	
	60	19,0	419,1	1379,4	261,9		205,6	137,9	63059	2758,4	15,49	
457	80	23,8	409,6	1317,5	323,9	254,1	131,7	76337	3340,3	15,34		
	100	29,4	398,5	1247,2	394,8	309,4	124,7	90738	3969,7	15,16		
	20	10	6,35	495,3	1926,6	100,1	1,597	78,46	192,7	31509	1240,7	17,73
		Std. 20	9,52	488,9	1877,5	149,2		116,9	187,7	46368	1825,8	17,63
		XS, 30	12,7	482,6	1829,1	197,4		154,9	182,9	60645	2388,0	17,53
40		15,1	477,9	1793,6	233,5	182,9		179,4	70926	2792,9	17,42	
60		20,6	466,7	1711,1	315,5	247,6		171,1	93943	3699,2	17,25	
508	80	26,2	455,6	1630,4	396,1	310,8	163,0	115379	4543,3	17,07		
	100	32,5	442,9	1540,7	485,8	381,1	154,1	138188	5441,5	16,84		

Para conexões e registros (em metros de tubulação). Os dados em cor azul se referem a tubulações de aço galvanizado e os em cor vermelha, a tubulações de PVC ou cobre.

































Diam (galv - pol)	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Diam (PVC - mm)	15	20	25	32	40	50	60	75	100	125	150
 Joelho 90°	0,4 1,1	0,6 1,2	0,7 1,5	0,9 2,0	1,1 3,2	1,4 3,4	1,7 3,7	2,1 3,9	2,8 4,3	3,7 4,9	4,3 5,4
 Joelho 45°	0,2 0,4	0,3 0,5	0,4 0,7	0,5 1,0	0,6 1,3	0,8 1,5	0,9 1,7	1,2 1,8	1,5 1,9	1,9 2,4	2,3 2,6
 Curva 90°	0,2 0,4	0,3 0,5	0,3 0,6	0,4 0,7	0,5 1,2	0,6 1,3	0,8 1,4	1,0 1,5	1,3 1,6	1,6 1,9	1,9 2,1
 Curva 45°	0,2 0,2	0,2 0,3	0,2 0,4	0,3 0,5	0,3 0,6	0,4 0,7	0,5 0,8	0,6 0,9	0,7 1,0	0,9 1,1	1,1 1,2
 Tê fluxo direto	0,3 0,7	0,4 0,8	0,5 0,9	0,7 1,5	0,9 2,2	1,1 2,3	1,3 2,4	1,6 2,5	2,1 2,6	2,7 3,3	3,4 3,8
 Tê fluxo lateral	1,0 2,3	1,4 2,4	1,7 3,1	2,3 4,6	2,8 7,3	3,5 7,6	4,3 7,8	5,2 8,0	6,7 8,3	8,4 10,0	10,0 11,1
 Tê fluxo bilateral	1,0 2,3	1,4 2,4	1,7 3,1	2,3 4,6	2,8 7,3	3,5 7,6	4,3 7,8	5,2 8,0	6,7 8,3	8,4 10,0	10,0 11,1
 Saída de tubulação	0,4 0,8	0,5 0,9	0,7 1,3	0,9 1,4	1,0 3,2	1,5 3,3	1,9 3,5	2,2 3,7	3,2 3,9	4,0 4,9	5,0 5,5
 Entrada de tanque s/ borda	0,2 0,3	0,2 0,4	0,3 0,5	0,4 0,6	0,5 1,0	0,7 1,5	0,9 1,6	1,1 2,0	1,6 2,2	2,0 2,5	2,5 2,8
 Entrada de tanque c/ borda	0,4 0,9	0,5 1,0	0,7 1,2	0,9 1,8	1,0 2,3	1,5 2,8	1,9 3,3	2,2 3,7	3,2 4,0	4,0 5,0	5,0 5,6
 Registro gaveta aberto	0,1 0,1	0,1 0,2	0,2 0,3	0,2 0,4	0,3 0,7	0,4 0,8	0,4 0,9	0,5 0,9	0,7 1,0	0,9 1,1	1,1 1,2
 Registro globo aberto	4,9 11,1	6,7 11,4	8,2 15,0	11,3 22,0	13,4 35,8	17,4 37,9	21,0 38,0	26,0 40,0	34,0 42,3	43,0 50,9	51,0 56,7
 Registro angular	2,6 5,9	3,6 6,1	4,6 8,4	5,6 10,5	6,7 17,0	8,5 18,5	10,0 19,0	13,0 20,0	17,0 22,1	21,0 26,2	26,0 28,9
 Válvula de pé e crivo	3,6 8,1	5,6 9,5	7,3 13,3	10,0 15,5	11,6 18,3	14,0 23,7	17,0 25,0	20,0 26,8	23,0 28,6	30,0 37,4	39,0 43,4
 Válvula de retenção leve	1,1 2,5	1,6 2,7	2,1 3,8	2,7 4,9	3,2 6,8	4,2 7,1	5,2 8,2	6,3 9,3	8,4 10,4	10,4 12,5	12,5 13,9
 Válvula de retenção pesada	1,6 3,6	2,4 4,1	3,2 5,8	4,0 7,4	4,8 9,1	6,4 10,8	8,1 12,5	9,7 14,2	12,9 16,0	16,1 19,2	19,3 21,4
Diam (galv - pol)	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Diam (PVC - mm)	15	20	25	32	40	50	60	75	100	125	150

TABELA 7 - PERDA DE CARGA EM ACESSÓRIOS											
Tabela de perdas de cargas localizadas em conexões, considerando-se os comprimentos equivalentes em metros de canalização											
CONEXÃO	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização										
	MATERIAL	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	
Curva 90° 	PVC	0,6	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9	
	Metal	0,4	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1	
Curva 45° 	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	
	Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	
Joelho 90° 	PVC	1,2	1,6	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9	
	Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2	
Joelho 45° 	PVC	0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5	
	Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9	
Tê de passagem direta 	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3	
	Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	
Tê de saída lateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0	
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	
Tê de saída bilateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0	
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	
União 	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	
	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	
Saída de canalização 	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9	
	Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	
Luva de redução (*) 	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2	
	Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07	
Registro de gaveta ou esfera aberto 	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	
	Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	
Registro de globo aberto 	Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0	
Registro de ângulo aberto 	Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0	
Válvula de pé com crivo 	PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4	
	Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0	
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
	Vertical 	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

OBSERVAÇÕES:

a - Os valores acima estão de acordo com a NBR 5626/82 e Tabela de Perda de Targa da Tigre para PVC rígido e cobre, e NBR 92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão.

b - (*) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concêntricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor.

Ex.: 1.1/4" x 1" - 1.1/2" x 1.1/4"

TABELA 6 - PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES

Tabelas de perdas de carga em 100 metros de tubos novos de ferro fundido ou aço galvanizado e PVC (valores em %)

Vazão m ³ /h	PVC		F°F°		PVC		F°F°		PVC		F°F°		PVC		F°F°		PVC		F°F°	
	3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"		2 1/2"		3"		4"		5"			
0,5	1,5	1,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1												
1,0	4,9	4,8	1,6	1,6	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1										
1,5	10,0	10,1	3,3	3,4	0,9	0,9	0,5	0,4	0,1	0,1										
2,0	16,5	17,2	5,4	5,8	1,4	1,5	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1	0,1								
2,5	24,4	26,1	8,0	8,8	2,1	2,3	1,2	1,1	0,4	0,3	0,1	0,1								
3,0	33,6	36,5	11,0	12,3	2,9	3,2	1,6	1,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1						
3,5	44,0	48,6	14,4	16,4	3,8	4,2	2,1	2,0	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1						
4,0	55,6	62,2	18,2	21,0	4,8	5,4	2,7	2,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1						
4,5	68,3	77,3	22,3	26,1	6,0	6,7	3,3	3,2	1,0	1,0	0,3	0,3	0,1	0,1						
5,0	82,2	94,0	26,8	31,7	7,2	8,1	4,0	3,9	1,2	1,2	0,3	0,3	0,1	0,2						
5,5	97,1		31,7	37,8	8,5	9,7	4,7	4,6	1,4	1,4	0,4	0,4	0,2	0,2					0,1	
6,0			36,9	44,4	9,9	11,4	5,4	5,4	1,6	1,7	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1				
6,5			42,5	51,5	11,3	13,2	6,3	6,3	1,9	2,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1				
7,0			48,4	59,1	12,9	15,2	7,1	7,2	2,1	2,3	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1				
7,5			54,6	67,1	14,6	17,2	8,0	8,2	2,4	2,6	0,7	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1				
8,0			61,1	75,6	16,3	19,4	9,0	9,2	2,7	2,9	0,8	0,8	0,3	0,4	0,1	0,1				
8,5			67,9	84,6	18,1	21,7	10,0	10,3	3,0	3,2	0,8	0,9	0,4	0,4	0,1	0,1				
9,0			75,1	94,0	20,0	24,1	11,1	11,5	3,3	3,6	0,9	1,0	0,4	0,5	0,1	0,1				
9,5			82,5		22,0	26,7	12,2	12,7	3,6	4,0	1,0	1,1	0,4	0,5	0,1	0,1				
10			90,3		24,1	29,3	13,3	13,9	4,0	4,4	1,1	1,2	0,5	0,5	0,1	0,2				0,1
12					33,1	41,1	18,3	19,5	5,4	6,1	1,5	1,7	0,7	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1		
14					43,4	54,6	24,0	25,9	7,1	8,1	2,0	2,3	0,9	1,0	0,2	0,3	0,1	0,1		
16					54,8	69,9	30,3	33,2	9,0	10,4	2,6	2,9	1,1	1,3	0,3	0,4	0,1	0,1		
18					67,4	87,0	37,2	41,3	11,1	12,9	3,1	3,6	1,4	1,6	0,4	0,4	0,1	0,2		
20					81,0		44,8	50,2	13,3	15,7	3,7	4,4	1,6	2,0	0,5	0,5	0,2	0,2		
25							66,2	75,8	19,7	23,7	5,5	6,6	2,4	3,0	0,7	0,8	0,2	0,3		
30							91,1		27,1	33,3	7,6	9,3	3,3	4,2	0,9	1,2	0,3	0,4		
35									35,6	44,3	10,0	12,4	4,4	5,6	1,2	1,5	0,4	0,6		
40									44,8	56,7	12,6	15,8	5,5	7,1	1,5	2,0	0,5	0,7		
45									55,1	70,4	15,5	19,7	6,8	8,9	1,9	2,4	0,7	0,9		
50									66,2	86,6	18,6	23,9	8,1	10,8	2,3	3,0	0,8	1,1		
55									78,2		22,0	28,5	9,6	12,9	2,7	3,5	0,9	1,3		
60									91,1		25,6	33,5	11,2	15,1	3,1	4,2	1,1	1,5		
65											29,5	38,9	12,9	17,5	3,6	4,8	1,3	1,7		
70											33,5	44,6	14,6	20,1	4,1	5,5	1,4	2,0		
75											37,8	50,7	16,5	22,8	4,6	6,3	1,6	2,3		
80											42,4	57,1	18,5	25,7	5,1	7,1	1,8	2,6		
85											47,1	63,8	20,6	28,8	5,7	7,9	2,0	2,9		
90											52,1	71,0	22,7	32,0	6,3	8,8	2,2	3,2		
95											57,2	78,4	25,0	35,3	6,9	9,7	2,5	3,5		
100											62,6	86,2	27,3	38,9	7,6	10,7	2,7	3,9		
120											86,1		37,6	54,5	10,4	15,0	3,7	5,4		
150													55,6	82,3	15,4	22,7	5,5	8,2		
200													91,9		25,5	38,6	9,0	14,0		
250															37,7	58,3	13,3	21,1		
300															51,8	81,7	18,3	29,6		
350															67,9		24,0	39,4		
400															86,7		30,3	50,4		

- Valores de Perda de Carga para PVC obtidos através da Fórmula de Flamant:
 $J = 4 \times 0,000135 \times \frac{4 \sqrt{Q/\pi D^3}}{4} \times D$

- Valores de Perda de Carga para aço galvanizado e ferro fundido obtidos através da equação de Hasen-Williams:
 $J = \frac{10,643 \times Q^{1,85}}{125^{1,85} \times D^{4,97}}$

Onde: J – Perda de carga em m/m
 Q – Vazão em m³/s
 D – Diâmetro em m

OBSERVAÇÕES:

a - Em se tratando de tubos galvanizados ou ferro fundido, deve-se acrescentar 3% aos valores acima para cada ano de uso da tubulação;

b - 1,0m³/hora ÷ 3.600 = 0,277 litros/segundo;

c - Considerar que a pressão nominal dos tubos de PVC classe 15 é de 75mca;

d - Conforme aplicação, para pressões de serviço acima destes valores, recomenda-se o uso de tubos de FoFo ou Galvanizados; Evitar o uso dos valores abaixo da linha grifada para não ocasionar excesso de perdas de carga, principalmente na tubulação de sucção, onde a velocidade máxima do líquido bombeado deve ser inferior a 2,0m/s;

e - Para tubulação de irrigação PN 40 (DN 35, DN 50, DN 75, DN 100, DN 125, DN 150), PN 60 (DN 50, DN 75, DN 100), PN 125 (DN 100, DN 150, DN 200, DN 250, DN 300) e PN 60 (DN 250, DN 300) consultar respectiva tabela de perda de carga do fabricante.