



TERCEIRA AULA DE TEORIA DA DISCIPLINA ME5330

Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

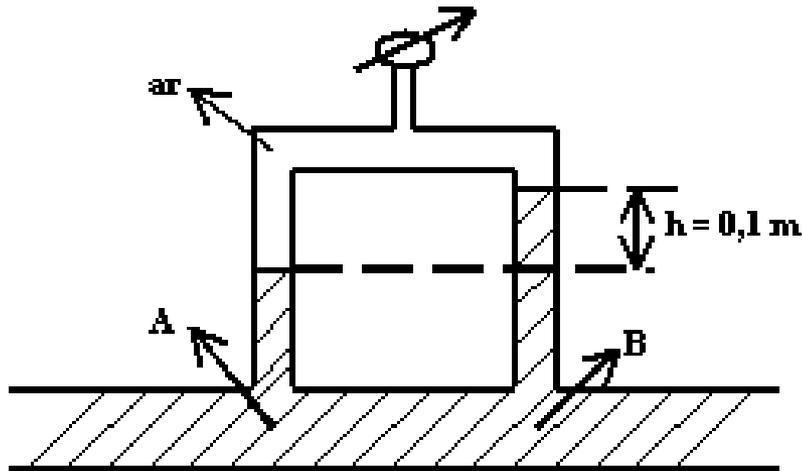
28/08/2013



Vamos resolver mais um problema e este elaborado pelo MEC para avaliação dos cursos de engenharia química.

Ela nos possibilitará desenvolver uma próxima atividade no laboratório.

O dispositivo mostrado na figura abaixo mede o diferencial de pressão entre os pontos A e B de uma tubulação por onde escoava água.



Dados :

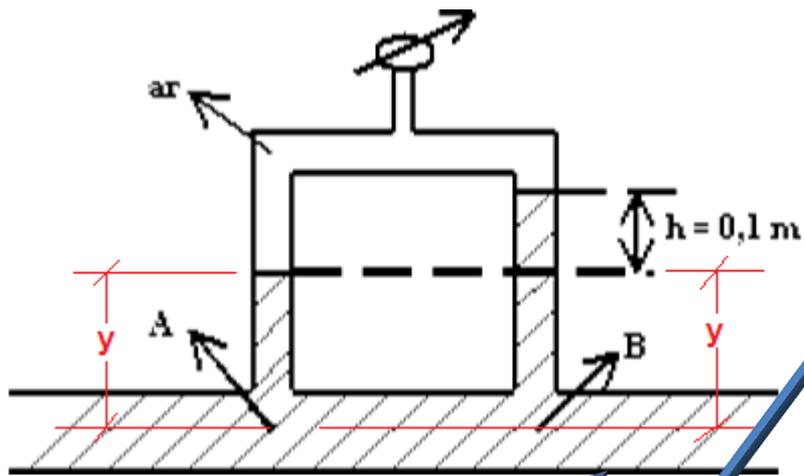
$$\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg / m}^3;$$

$$\rho_{\text{ar}} = 1,2 \text{ kg / m}^3;$$

$$g = 9,8 \text{ m / s}^2$$

Com base nos dados apresentados na figura, pede-se:

1. determine o diferencial de pressão entre os pontos A e B, em Pa; (valor: 2,5 pontos)
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 $P_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$; (valor: 2,5 pontos)
3. responda se é possível utilizar o dispositivo mostrado na figura para medir a vazão de água que escoava através da tubulação, justificando sua resposta; (valor: 2,5 pontos)
4. indique o sentido do escoamento do fluido ao longo da tubulação (A para B ou B para A). (valor: 2,5 pontos)



1

$$p_A = p_{ar} + y \times \gamma$$

$$p_B = p_{ar} + 0,1 \times \gamma + y \times \gamma$$

$$p_B - p_A = 0,1 \times \gamma$$

$$p_B - p_A = 0,1 \times 1000 \times 9,8$$

$$p_B - p_A = 980 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Resolvendo:

2

p_m = pressão efetiva

$$p_m = p_{ar} = 10^4 = 10000\text{Pa}$$

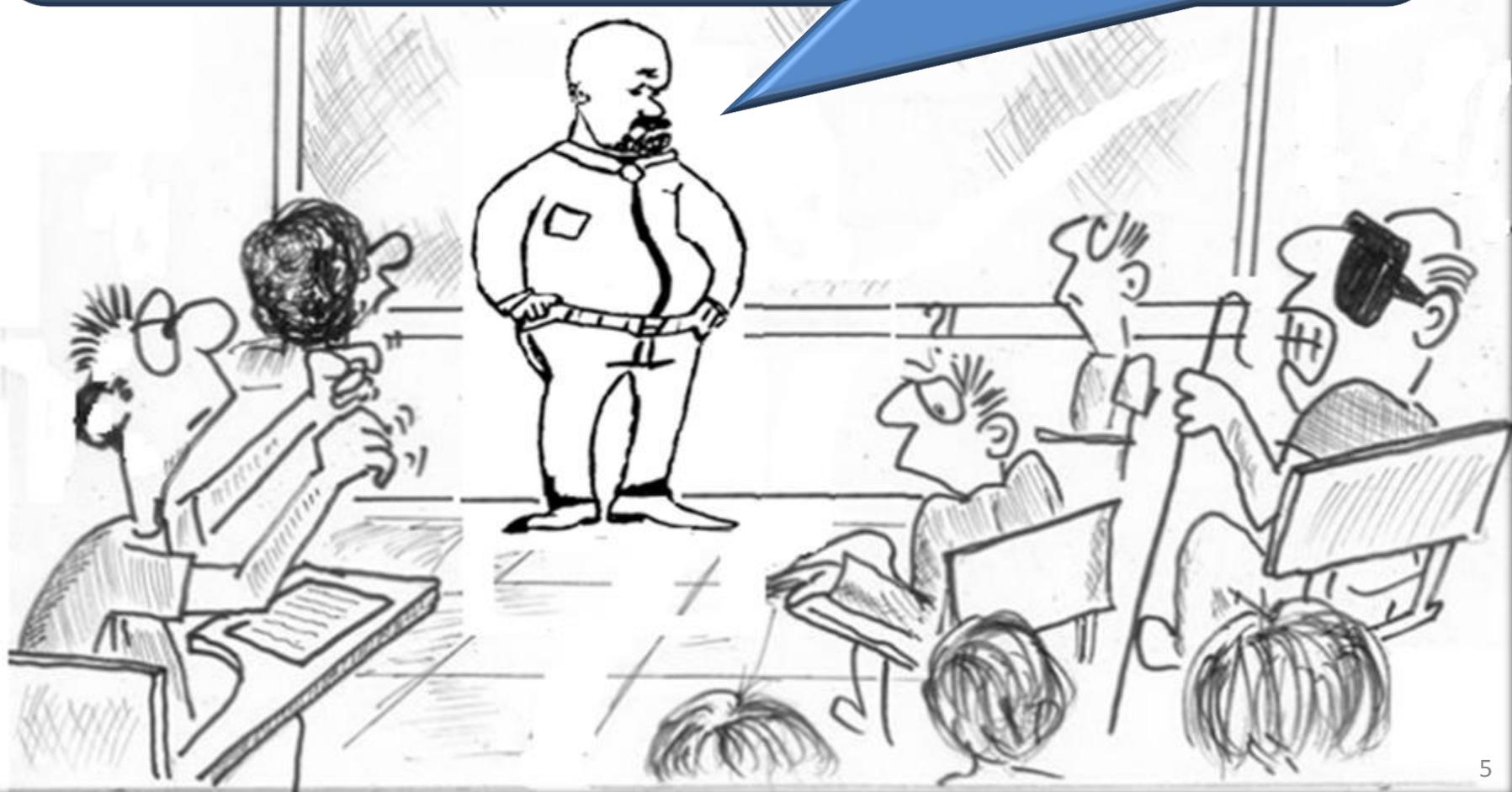
$$p_{arabs} = p_{ar} + p_{atm} = 10000 + 100000$$

$$p_{arabs} = 110000\text{Pa}$$

4

Como p_B é maior que p_A , $z_A = z_B$ e $v_A = v_B$, podemos afirmar que $H_B > H_A$, portanto como é um trecho sem máquina o escoamento é de B para A.

Conhecendo a perda de carga em um trecho sem máquina, podemos recorrer ao diagrama de Rouse para estimar a vazão e para isto devemos conhecer Reynolds raiz de f e a rugosidade relativa (D_H/K).



$$\text{Re} \sqrt{f} = \frac{D_H}{\nu} \times \sqrt{\frac{h_f \times D_H \times 2g}{L}}$$

$$\frac{D_H}{K}$$

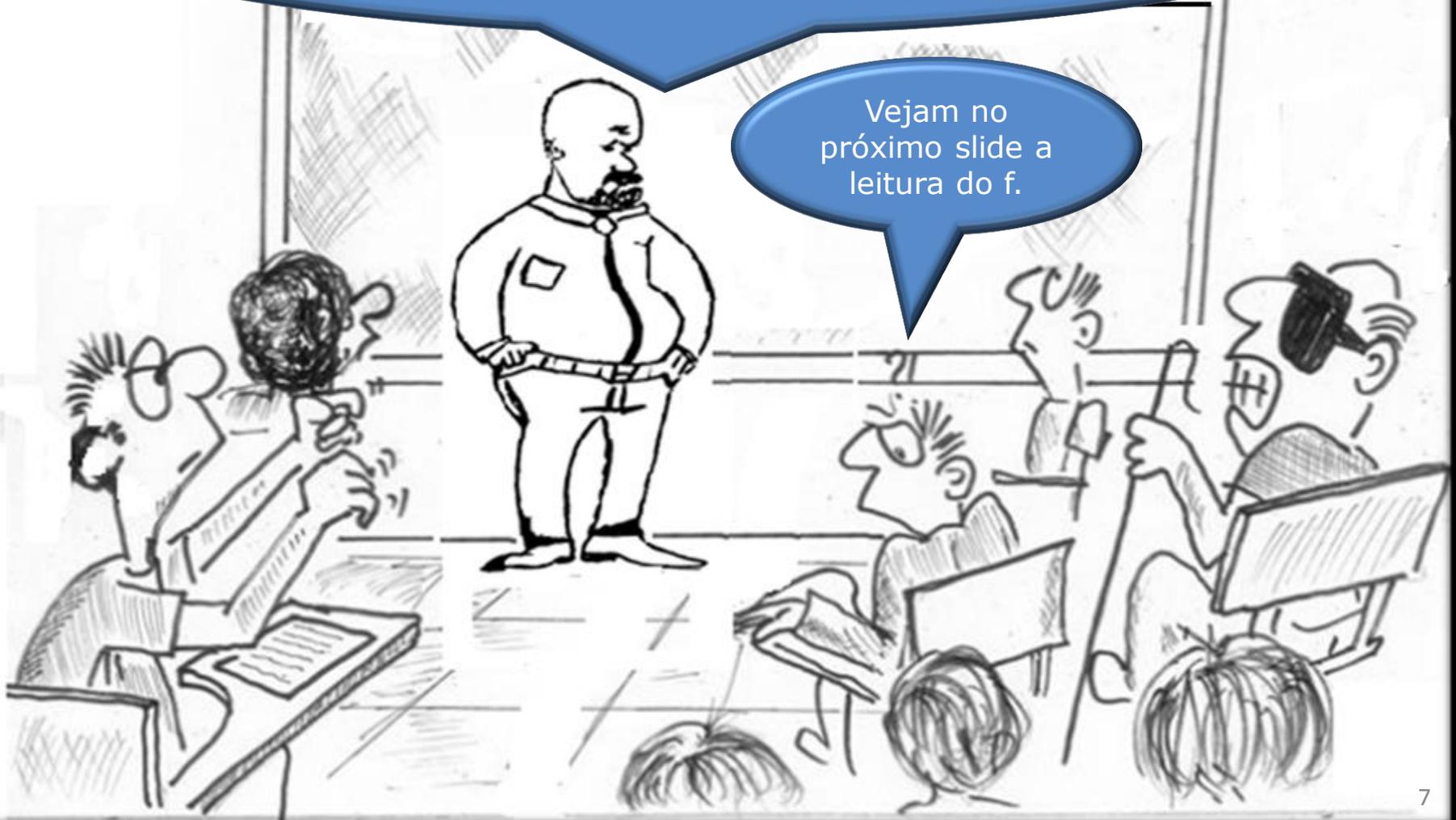
Podemos determinar a perda de carga, no caso distribuída, aplicando a equação da energia de B a A, temos:

$$H_{p_{B-A}} = h_{f_{B-A}} = \frac{980}{9,8 \times 1000} = 0,1\text{m}$$

Obtemos a Q pelo diagrama de Rouse desde que tenhamos o comprimento L; a rugosidade equivalente K; o diâmetro hidráulico DH e a viscosidade cinemática.

No diagrama de Rouse marcamos na abcissa o valor de Reynolds raiz de f e subimos uma vertical, aí marcamos a rugosidade equivalente (D_H/K) e a consideramos até cruzar com o número de Reynolds raiz de f de onde puxamos uma horizontal e lemos o valor de f .

Vejam no próximo slide a leitura do f .



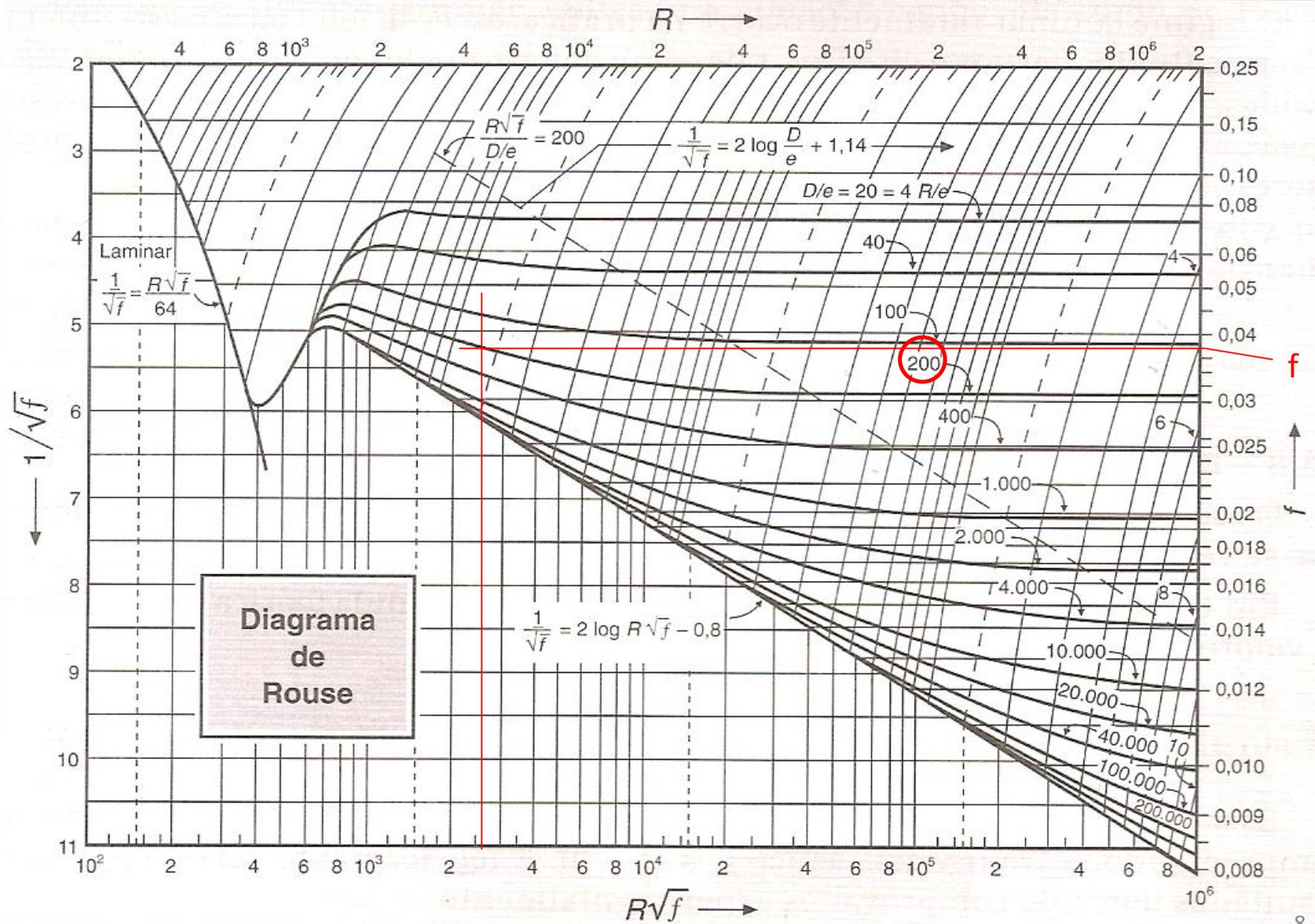


Figura 8.8 - Diagrama de Rouse

Conhecendo f , h_f , L e D_H ,
podemos calcular a vazão Q



$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g}$$

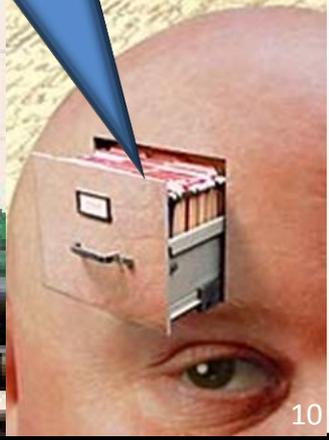
$$v = \sqrt{\frac{h_f \times D_H \times 2g}{f \times L}}$$

$$Q = v \times A = \sqrt{\frac{h_f \times D_H \times 2g}{f \times L}} \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

“Das três classes de indústrias químicas: processamento de sólidos, tipo sólido-fluido e processo fluido, há hoje em dia um predomínio absoluto das que processam fluidos. Mesmo nas indústrias envolvendo sólidos, dá-se preferência a processá-los sob forma fluidizada...”

Reynaldo Gomide

E é por isto que nós estudamos o projeto de uma instalação de bombeamento!





Neste intuito, estudamos como escrever a equação da Curva Característica da Instalação (CCI), sendo a instalação de bombeamento uma das maneiras utilizada para o seu transporte.

Mas a equação da CCI não era a 1^a etapa a ser desenvolvida!

Isto significa que algumas etapas do projeto já foram desenvolvidas?



Sim, na realidade já desenvolvemos três etapas antes de chegar na determinação da equação da CCI.

E quais seriam elas?

1ª Etapa do projeto:
dados iniciais



Conhecemos o fluido e a sua temperatura de escoamento.

Com estas informações calculamos a massa específica, a viscosidade e a viscosidade cinemática do fluido!

Para água com $0 \leq t \leq 100^\circ\text{C}$

$$\rho_{\text{água}} = 1000 - 0,0178 \times |t_c - 4|^{1,7} \pm 0,2\%$$

$$[\rho_{\text{água}}] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} \cong -1,704 - 5,306 \times z + 7,003 \times z^2$$

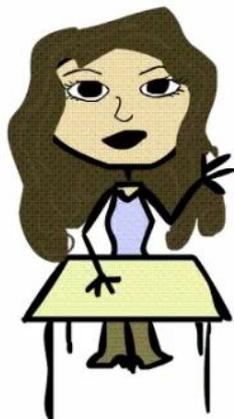
$$\rightarrow \mu_0 = 1,788 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}} \quad \text{Com} \quad z = \frac{273(\text{K})}{T(\text{K})}$$



As equações anteriores para determinação da massa específica e da viscosidade foram extraídas do livro “Mecânica dos fluidos” escrito por Frank M. White – 4ª ed. – MCGRAWHILL

Já a viscosidade cinemática, seria:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$



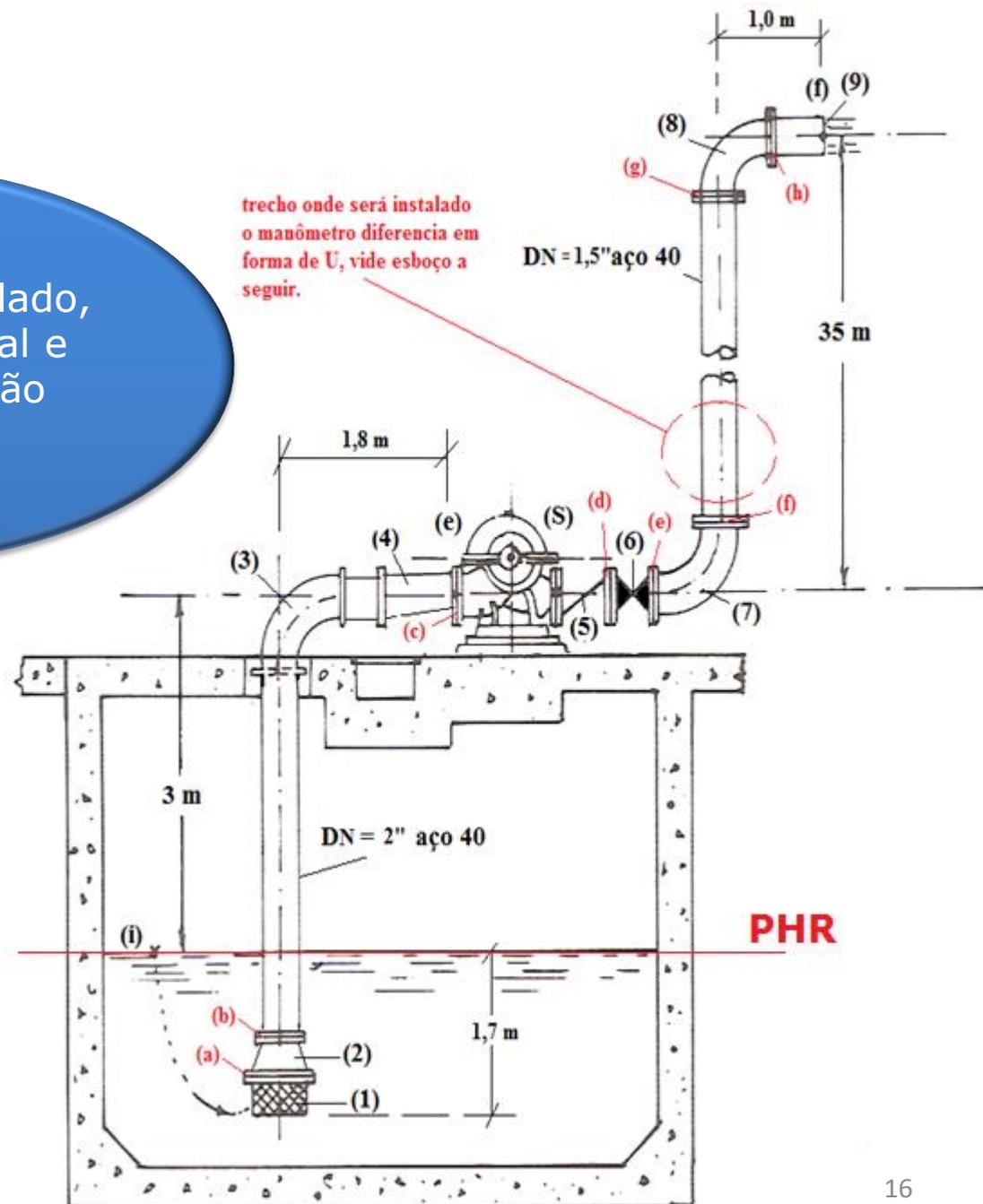
Ainda na primeira etapa, conhecemos as condições de captação e distribuição!

E aí calculamos H_i e H_f

Vamos considerar o exemplo a seguir



Para a instalação ao lado,
calcule a carga inicial e
final para uma vazão
desejada Q .

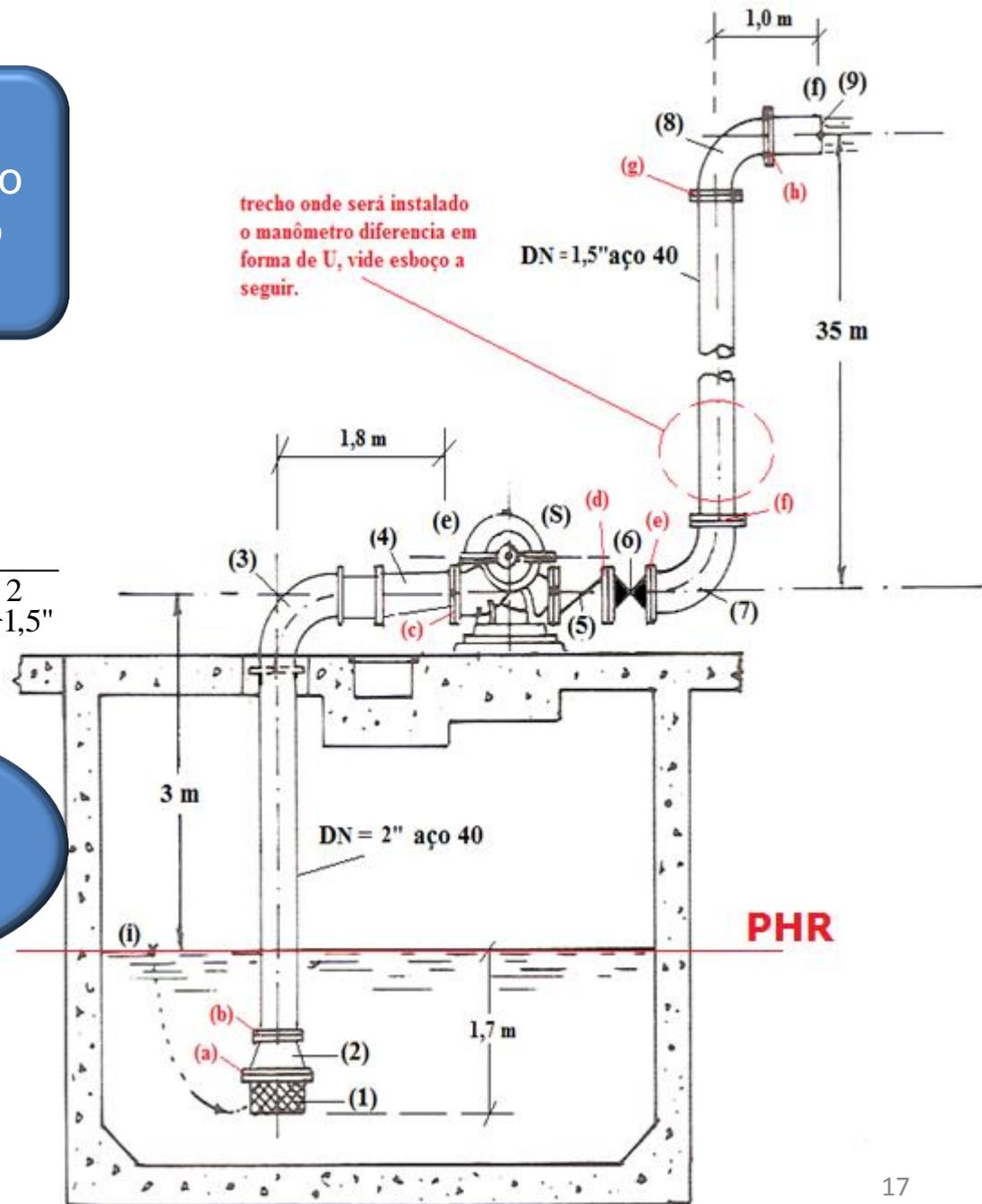


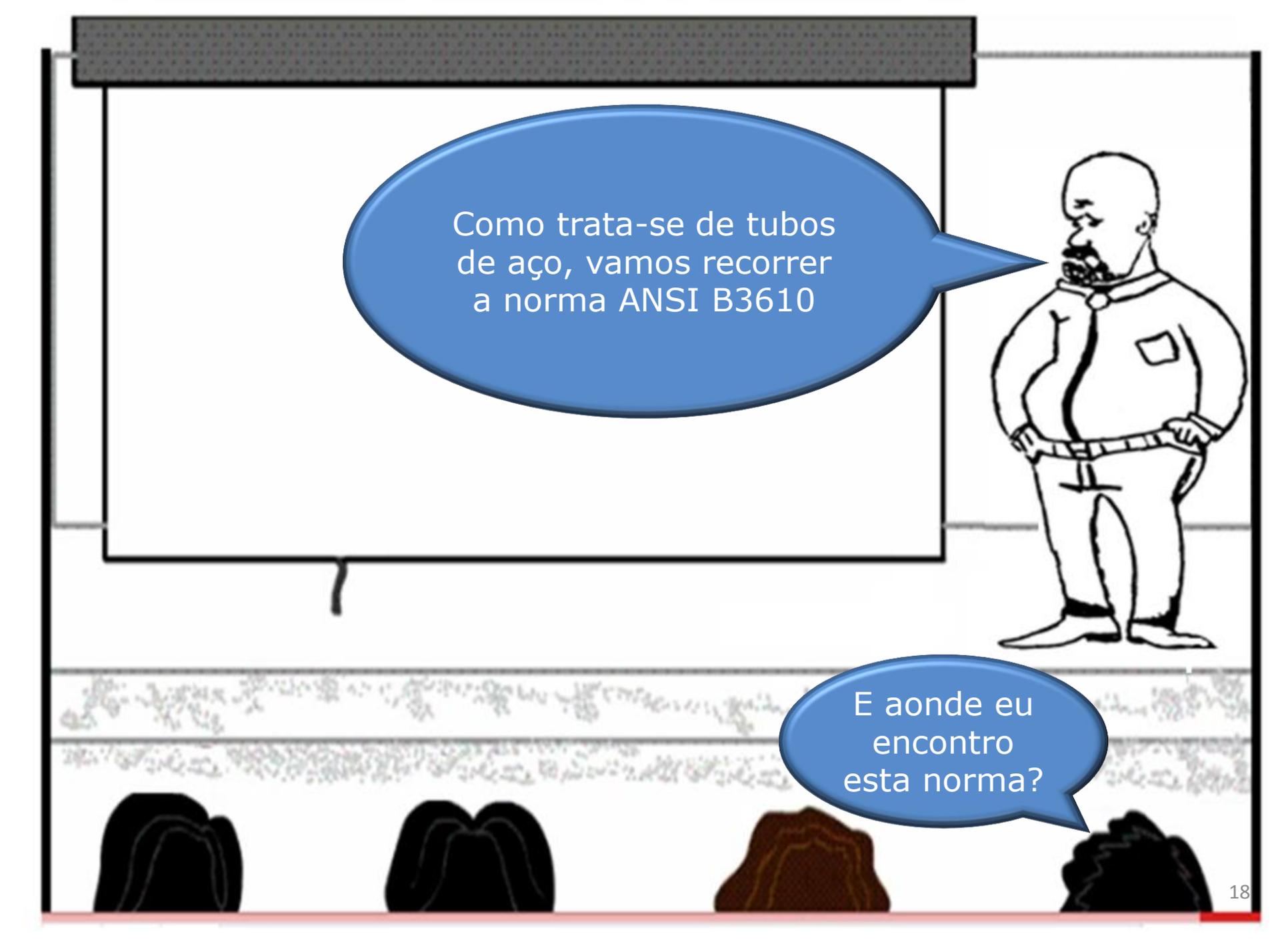
Adotando o PHR no nível de captação

$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = 0$$

$$H_f = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} = 38 + \frac{Q^2}{19,6 \times A_{1,5}^2}$$

Como eu acho a área da seção final?





Como trata-se de tubos de aço, vamos recorrer a norma ANSI B3610

E aonde eu encontro esta norma?

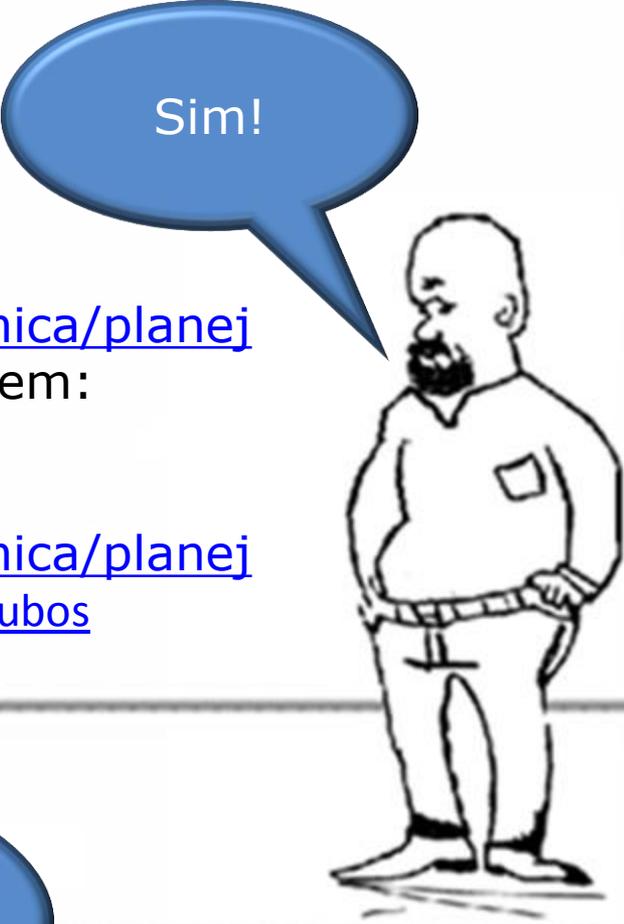


Siga o caminho:

1. Entre na página:
<http://www.escoladavida.eng.br/>
e clique em “Na engenharia”
2. Na página: http://www.escoladavida.eng.br/na_engenharia.htm
clique em: “mecânica dos fluidos”
3. Estando na página
http://www.escoladavida.eng.br/mecanica_dos_fluidos.htm
clique em: “para engenharia química”
4. Estando na página
http://www.escoladavida.eng.br/mecanica_dos_fluidos_para_eng_quimica.htm clique em: “planejamento atual”



Tem mais?



Sim!

5. Estando na página:

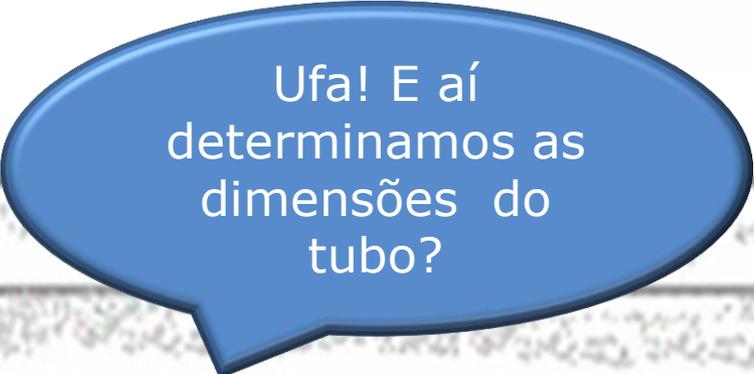
http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/abertura_12013.htm clique em:

“[Consultas](#)”

6. Estando na página:

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/consulta7.htm clique em: “[Tubos industriais de aço - norma ANSI](#)”

“[Tubos industriais de aço - norma ANSI](#)”



Ufa! E aí determinamos as dimensões do tubo?

Diâmetro nominal (pol)	Designação de espessura.	Espessura de parede (mm)	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			
Diâmetro externo (mm)	(v. Nota 2)	(v. Nota 3)									
¼	10S	1,65	10,4	0,85	0,62	0,043	0,49	0,085	0,116	0,169	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
13,7											
1½	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
48	XXS	10,16	27,9	6,13	12,2		9,53	0,61	23,64	9,80	1,39
2	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
60	XXS	11,07	38,2	11,4	17,1		13,44	1,14	54,61	18,10	1,79

$$H_f = 38 + \frac{Q^2}{19,6 \times (13,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_f = 38 + 29730,5 \times Q^2$$

A vazão desejada também seria um dado inicial!



2ª Etapa do projeto: dimensionamos os tubos da instalação

Começamos sempre com o tubo depois da bomba (dB).



E aí é só lembrar:



O ALEMÃO

$$Q = v \times A$$



Mas eu só vou com a velocidade média!



Em função do fluido se tem a velocidade econômica e o material mais usado na fabricação do tubo.





Um exemplo:

Uma instalação de bombeamento foi projetada para transportar amoníaco com uma vazão de 3,2 L/s, pede-se dimensionar os tubos da mesma.

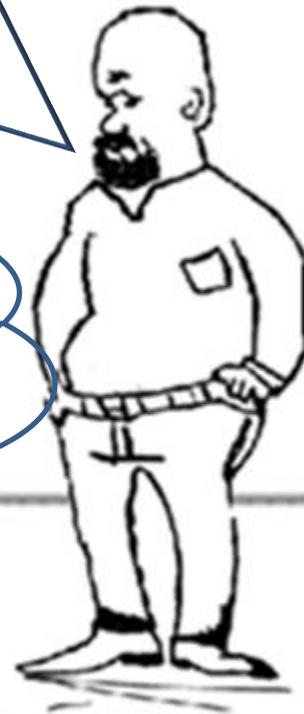
E como achamos a velocidade econômica?

Siga as instruções do próximo slide!

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/abertura_12013.htm clique em "Consultas"

E aí clicamos em:

"Material importante para consulta no desenvolvimento de projetos e avaliações oficiais (P1,P2 ...)"



E obtemos a
tabela ao
lado!

FLUIDO (líquido)	Velocidade econômica (m/s)	Material da Tubulação
Água:		
- serviços gerais	0,9 a 2,5	aço
- rede industrial	0,9 a 2,2	aço
Bombas:		
- linha de sucção	0,9 a 2,2	aço
- linha de recalque	2,1 a 3,0	aço
Ácido clorídrico	1,5	rev. de borracha
Ácido sulfúrico 88 a 98%	1,2	F° F°
Amoníaco	1,8	aço
Benzeno	1,8	aço

Tendo a velocidade
econômica, no caso
1,8 m/s, podemos
calcular o diâmetro
interno de referência.



Com o diâmetro de referência na norma ANSI B3610, temos:

$$D_N = 1,5'' \Rightarrow D_{\text{int}} = 40,8\text{mm}$$

$$D_{\text{dBref}} \Rightarrow 47,6\text{ mm}$$

$$D_N = 2'' \Rightarrow D_{\text{int}} = 52,5\text{mm}$$

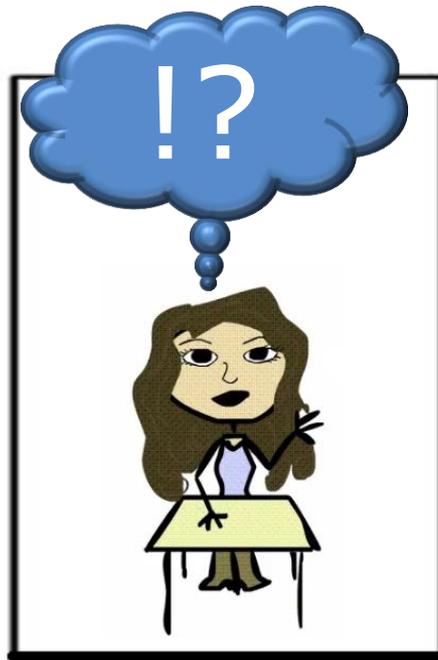
$$Q = v \times A$$

$$3,2 \times 10^{-3} = 1,8 \times \frac{\pi \times D_{\text{dBref}}^2}{4}$$

$$D_{\text{dBref}} = \left[\sqrt{\frac{4 \times 3,2 \times 10^{-3}}{1,8 \times \pi}} \right] \times 1000$$

$$D_{\text{dBref}} \cong 47,6\text{mm}$$

Se a instalação for considerada pequena, custo da BOMBA + Motor + DE OPERAÇÃO mais significativo do que o custo da tubulação, podemos optar pelo maior diâmetro, no caso aço 40 de diâmetro nominal de 2"

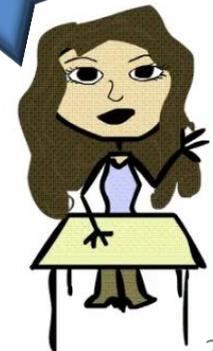


Se a instalação for considerada grande, custo da BOMBA + Motor + custo DE OPERAÇÃO menos significativo do que o custo da tubulação, podemos optar pelo menor diâmetro, no caso aço 40 de diâmetro nominal de 1,5"



Como ainda não podemos efetuar a análise anterior, desenvolvemos o projeto para os dois diâmetros anteriores e deixamos a decisão da escolha para o final do projeto.

E o tempo da prova?





Na prova eu estabeleço uma das condições: instalação grande ou pequena.

Neste exemplo, vamos considerar uma instalação pequena o que nos leva a escolher o diâmetro de 2" aço 40 para o tubo depois da bomba.

E antes da bomba (aB) como fica?

Para o tubo antes da bomba, na tentativa de evitar o fenômeno de cavitação, adotamos um diâmetro comercial imediatamente superior.



Portanto, diâmetro antes da bomba de 2,5" aço 40



3ª Etapa do projeto:
esboço da instalação

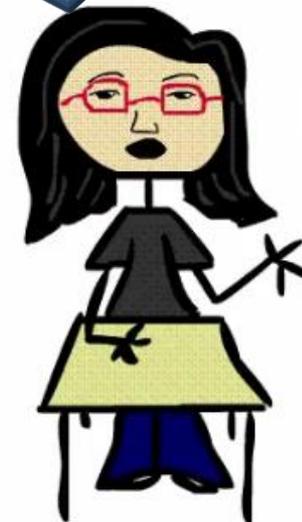


É aqui que estabelecemos os comprimentos das tubulações.

Estabelecemos também os acessórios hidráulicos e isto permite ter os seus comprimentos equivalentes



Além disto, podemos estabelecer todas as cotas, inclusive o melhor caminho para o escoamento.



Considerando o esboço da instalação, confirmamos a diferença de cotas entre a seção inicial e final; a pressão que atua na seção inicial e na seção final; os comprimentos das tubulações e os acessórios hidráulicos; .

$$Z_{\text{final}} = 38\text{m};$$

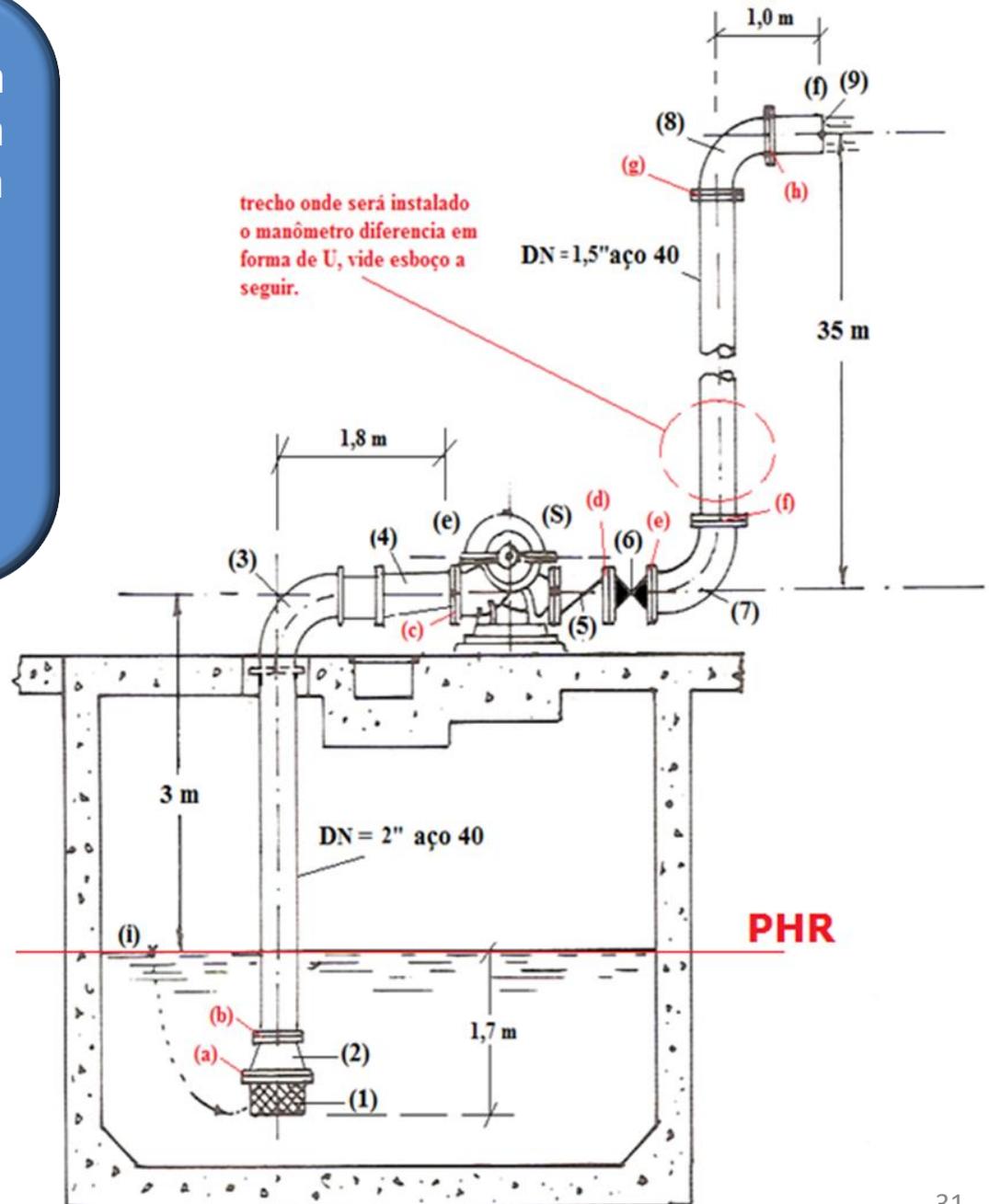
$$Z_{\text{inicial}} = 0;$$

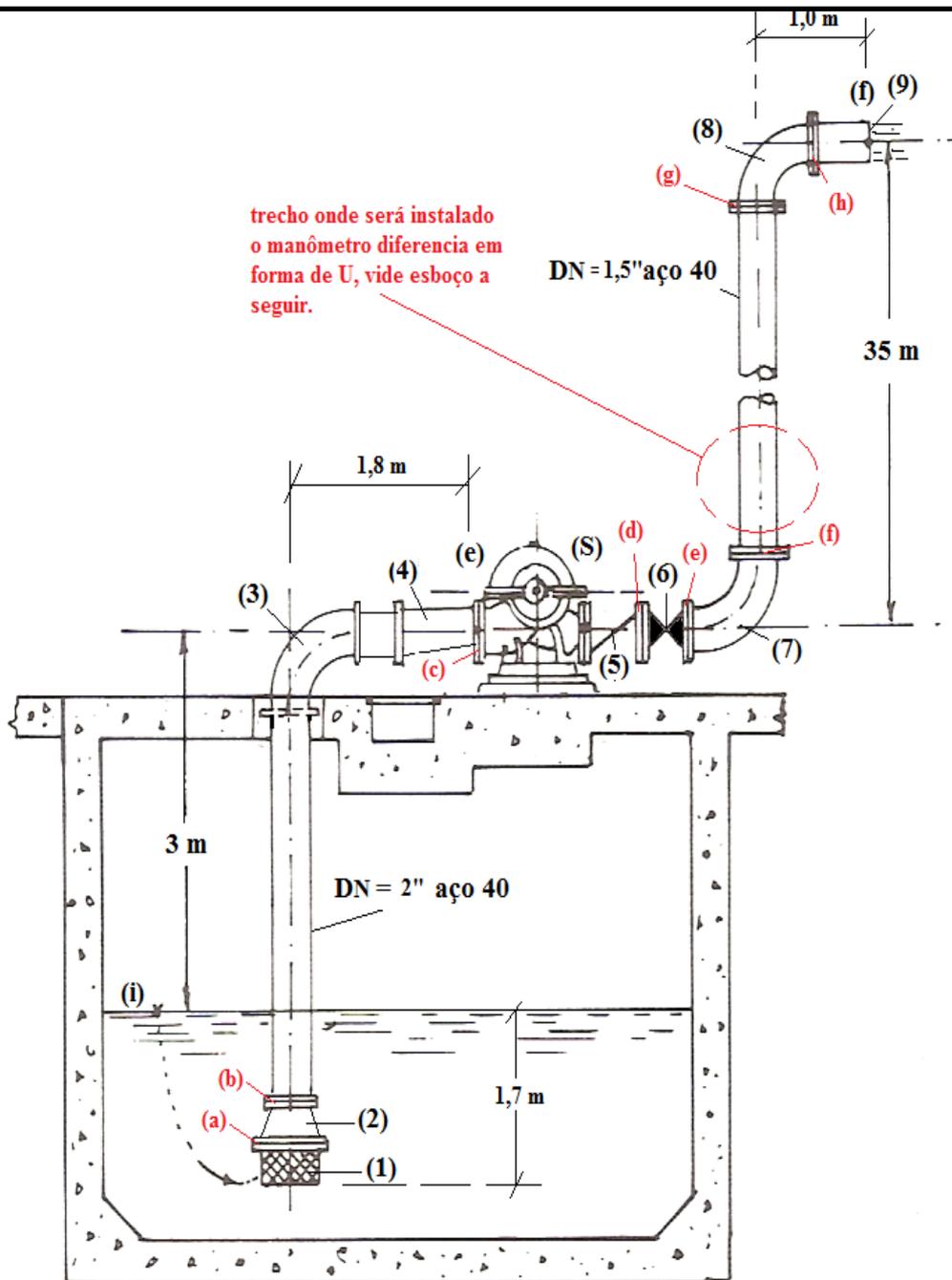
$$Z_{\text{final}} - Z_{\text{inicial}} = 38\text{m}$$

$$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} = P_{\text{atm}}$$

$$L_{aB} = 6,5\text{m};$$

$$L_{dB} = 36\text{m}$$





- 1 – válvula de poço da Mipel de 3"
- 2 – redução concêntrica da Tupy 3"x 2"
- 3 – curvas fêmeas de 90° de 2"
- 4 - redução excêntrica de 2" x 1,5'
- 5 – válvula de retenção horizontal de 1,5"
- 6 - Válvula globo reta sem guia de 1,5"
- 7 e 8 – curvas fêmeas de 90° de 1,5"
- 9 - saída da tubulação de 1,5"

Outros dados:

(a) – niple duplo de 3”;

(b) – niple duplo de 2”;

(c), (d), (e), (f), (g) e (h) – niples duplos de 1,5”

