

# Terceira aula de ME5330

Primeiro semestre de 2014





Vamos resolver um problema que nos foi encaminhado pelo engenheiro químico Gabriel Baptista Lopes.



Gabriel Baptista Lopes

A questão fez parte do concurso da sabesp para contratação de engenheiro químico em 2014

Concurso Público para provimento de vagas de  
**Engenheiro 01**  
**(Química)**

Nome do Candidato \_\_\_\_\_

Caderno de Prova '19', Tipo 004

Nº de Inscrição \_\_\_\_\_

MODELO

Nº do Caderno \_\_\_\_\_

MODELO1

Nº do Documento \_\_\_\_\_

000000000000000000

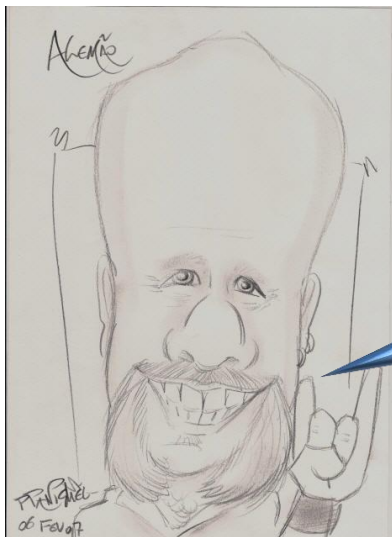
00001-0001-0001

ASSINATURA DO CANDIDATO \_\_\_\_\_

**P R O V A**

Conhecimentos Básicos  
Conhecimentos Específicos

19<sup>o</sup> - Utilize as Figuras  
5 e 6 para responder  
às questões de  
números 41 e 42.



Para os cálculos adotar  $g = 10,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  e massa específica da água igual a  $1.000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

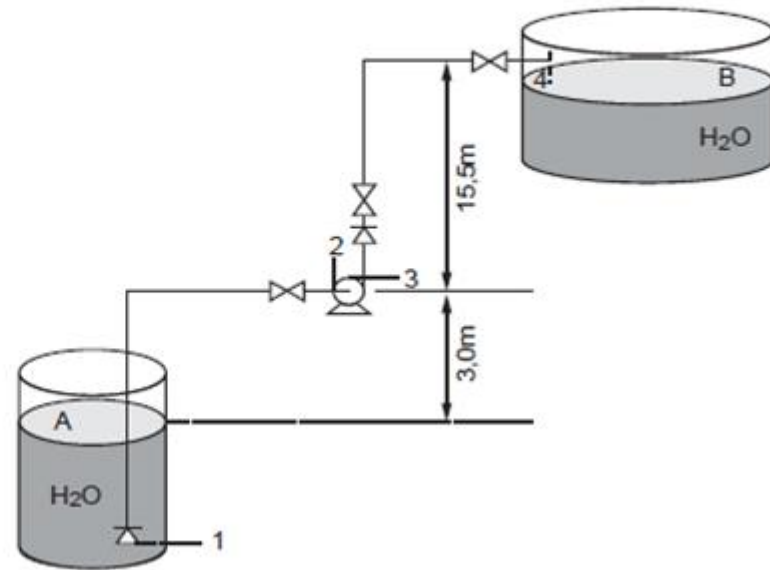
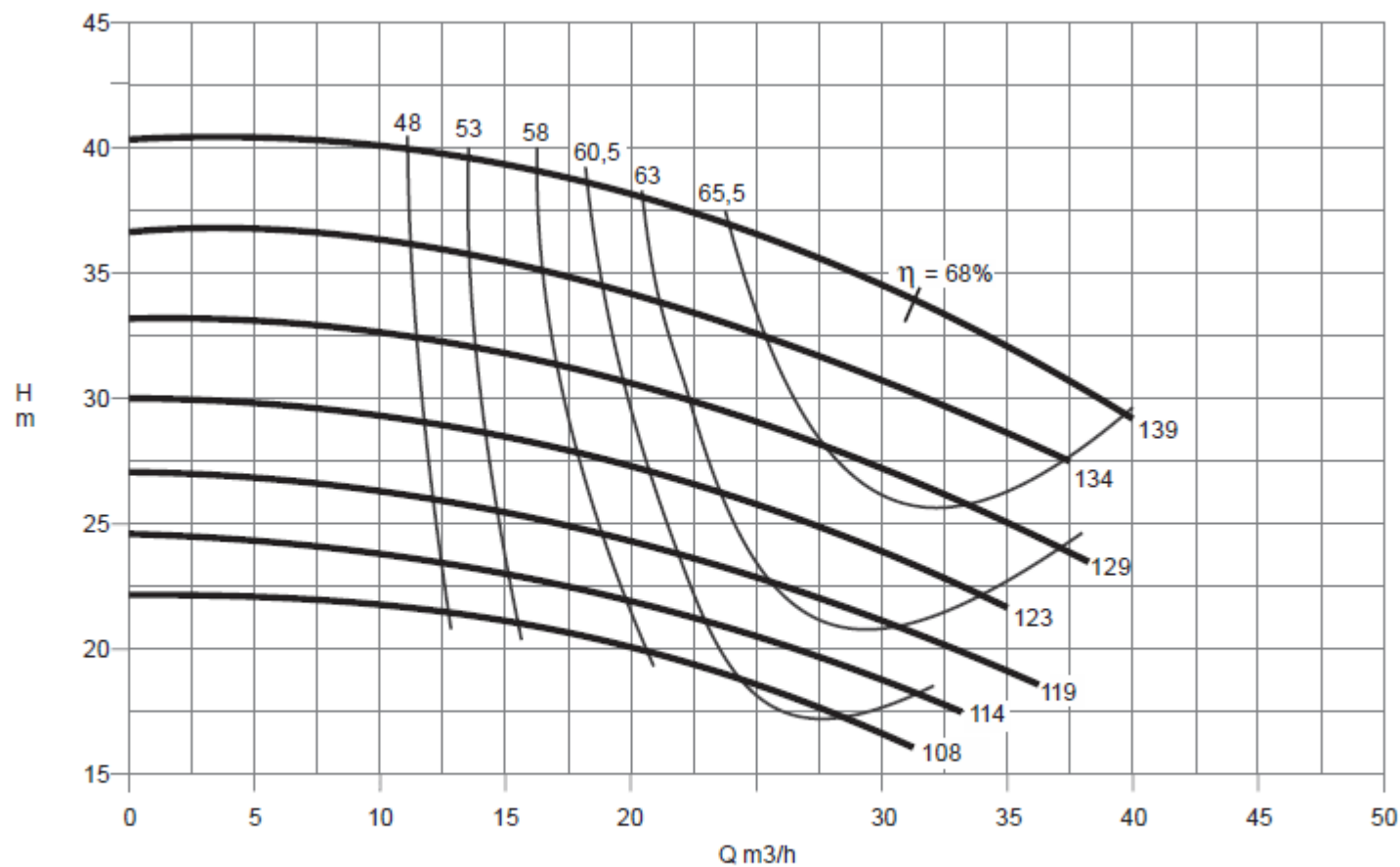


Figura 5 – Representação esquemática de um sistema utilizado para transferir água do tanque A para o tanque B.



**Figura 6: Curva característica das bombas Megabloc, Meganorm e Megachem do catálogo de bombas da KSB.**

41. Admitindo-se a pressão de vapor da água igual a 10.000 Pa e a pressão atmosférica de 100.000 Pa, o NPSH disponível ou altura manométrica disponível na sucção da bomba é de:
- (A) 6,0 m.c.a.
  - (B) 5,0 m.c.a.
  - (C) 1,0 m.c.a.
  - (D) 4,0 m.c.a.
  - (E) 11,0 m.c.a.

42. Na instalação da Figura 5 deseja-se bombear água a 20 °C na vazão de 30 m<sup>3</sup> . h<sup>-1</sup>. A perda de carga na tubulação na sucção (trecho 1 a 2) é de 10,0 J . kg<sup>-1</sup>. Já a perda de carga na tubulação no recalque (trecho 3 a 4) é de 3,0 m.c.a. Será utilizado a bomba KSB Megabloc modelo 32-125 com rotação de 3.500 rpm, no gráfico a altura manométrica (H) é dada em m.c.a., a vazão da água (Q) em m<sup>3</sup> . h<sup>-1</sup> e os diâmetros dos rotores em mm. Desprezar a variação de energia cinética. O menor diâmetro do rotor que atenderá a instalação é de:

- (A) 139 mm;
- (B) 119 mm;
- (C) 123 mm;
- (D) 129 mm;
- (E) 134 mm.

Hoje só estou propondo a questão 42

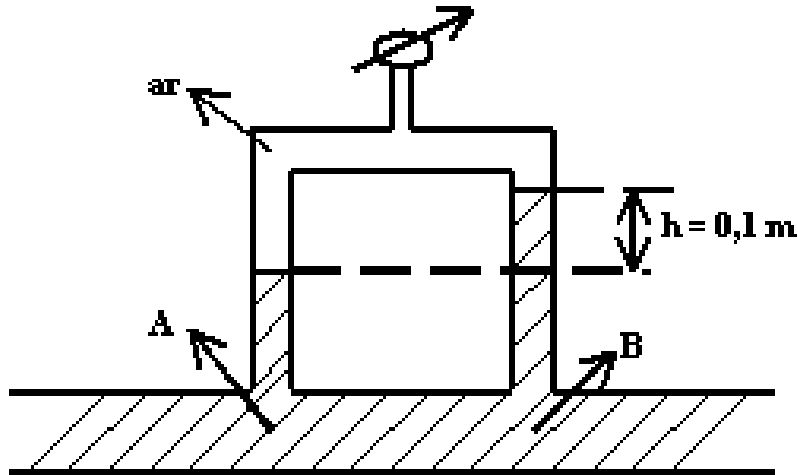




Vamos agora resolver mais um problema e este elaborado pelo MEC para avaliação dos cursos de engenharia química.

Ela nos possibilitará desenvolver uma próxima atividade no laboratório juntamente com a determinação do Leq.

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



Dados :

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

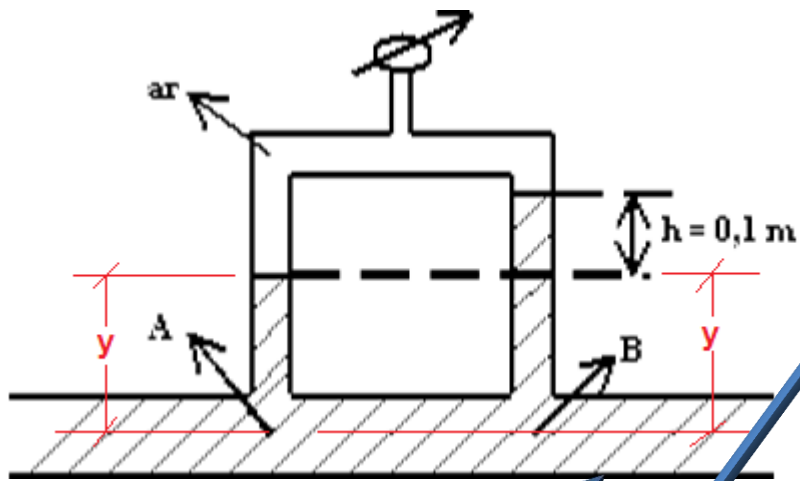
$$\rho_{\text{ar}} = 1,2 \text{ kg / m}^3;$$

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

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 escoar 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 ( $D_H/K$ ).



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

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

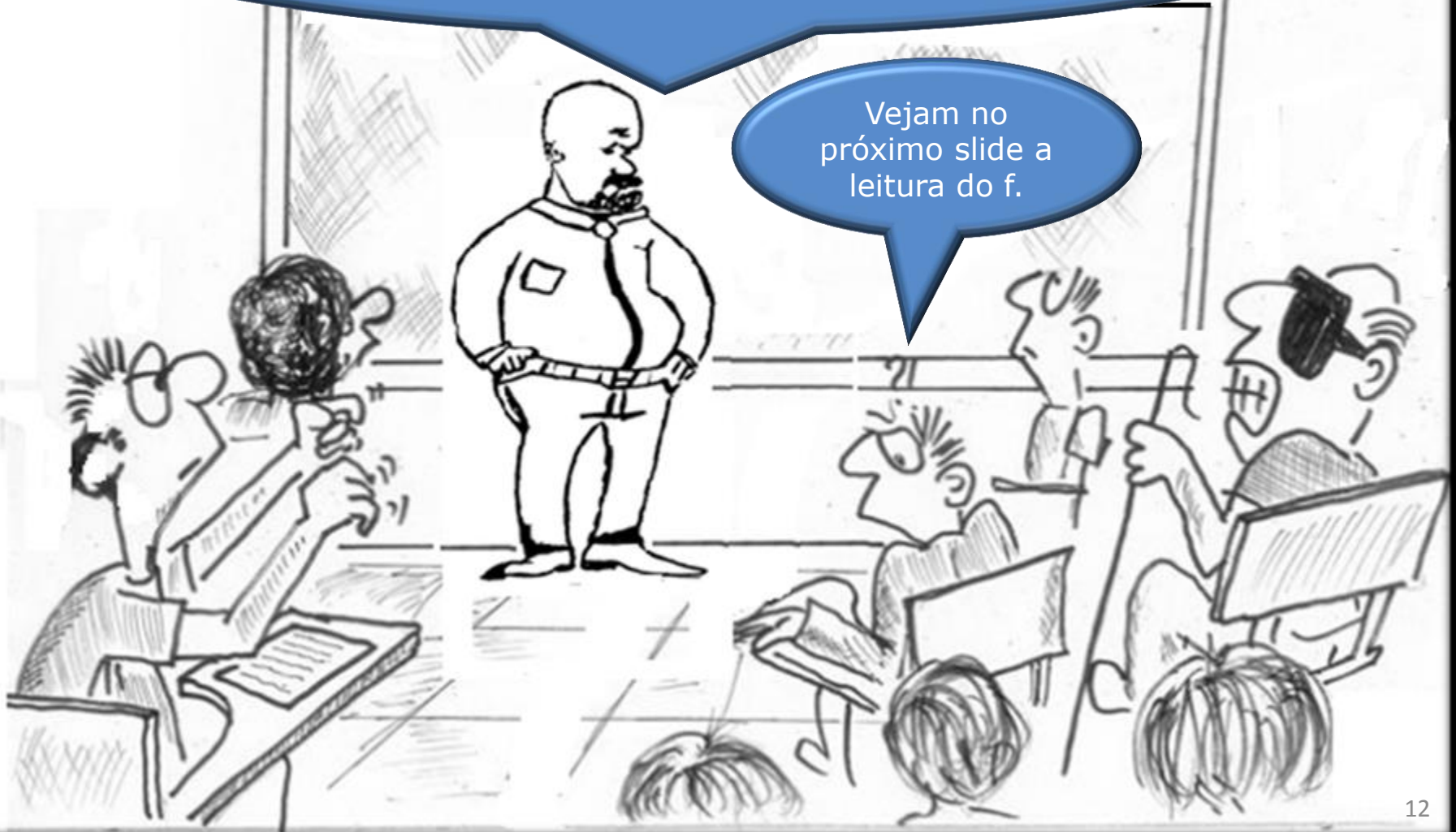
Podemos determinar a perda de carga, no caso distribuída, aplicando a equação da energia de B a A, temos:

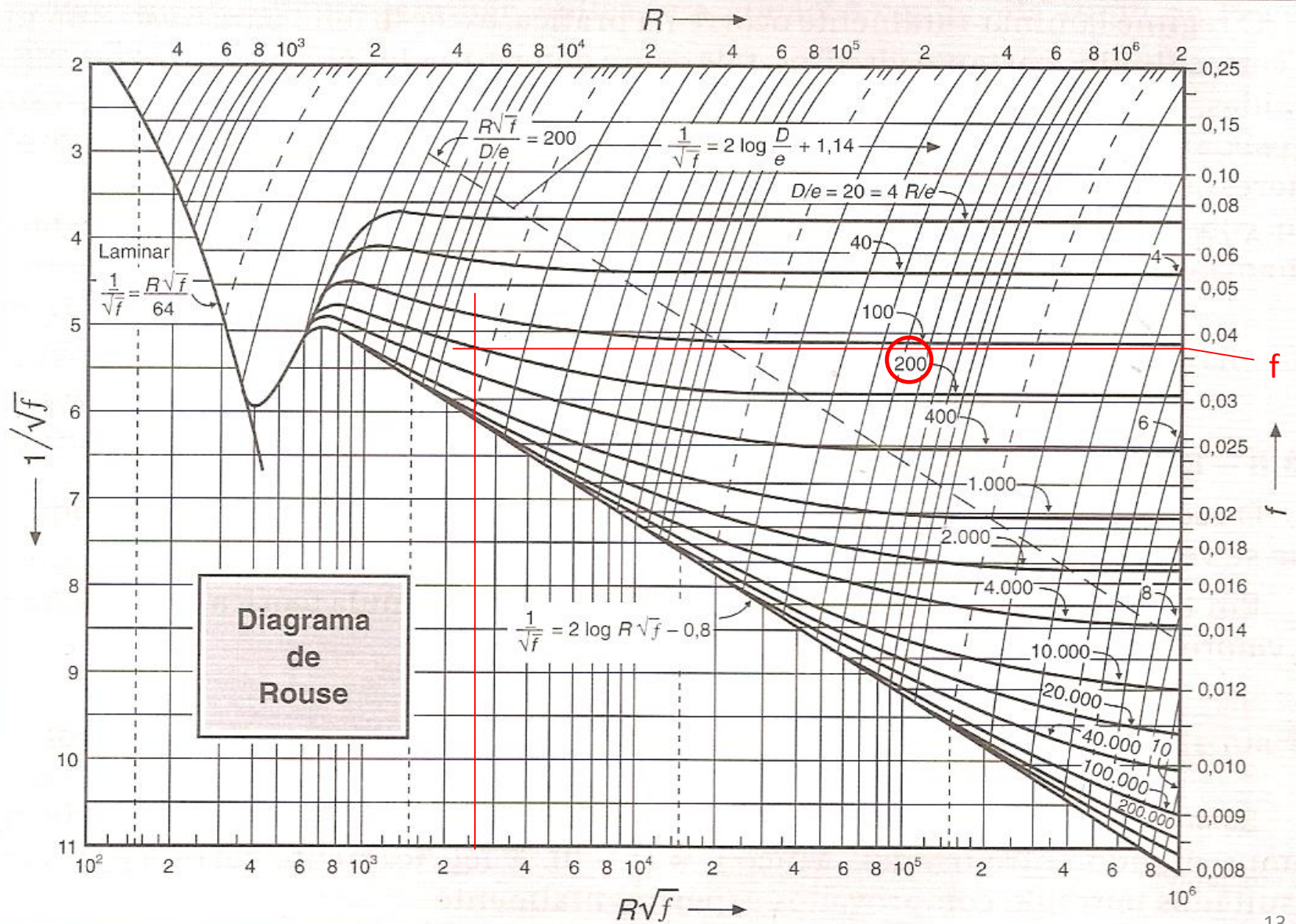
$$H_{p_{B-A}} = h_{f_{B-A}} = \frac{980}{9,8 \times 1000} = 0,1\text{m}$$

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  $f$ .





**Diagrama de Rouse**

Figura 8.8 - Diagrama de Rouse


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



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

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

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

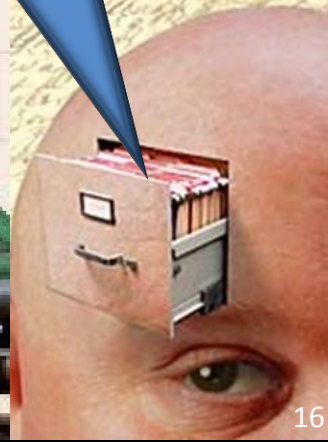


O próximo slide  
reforça porque  
estudamos a  
mecânica dos fluidos  
para engenharia  
química!

“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!



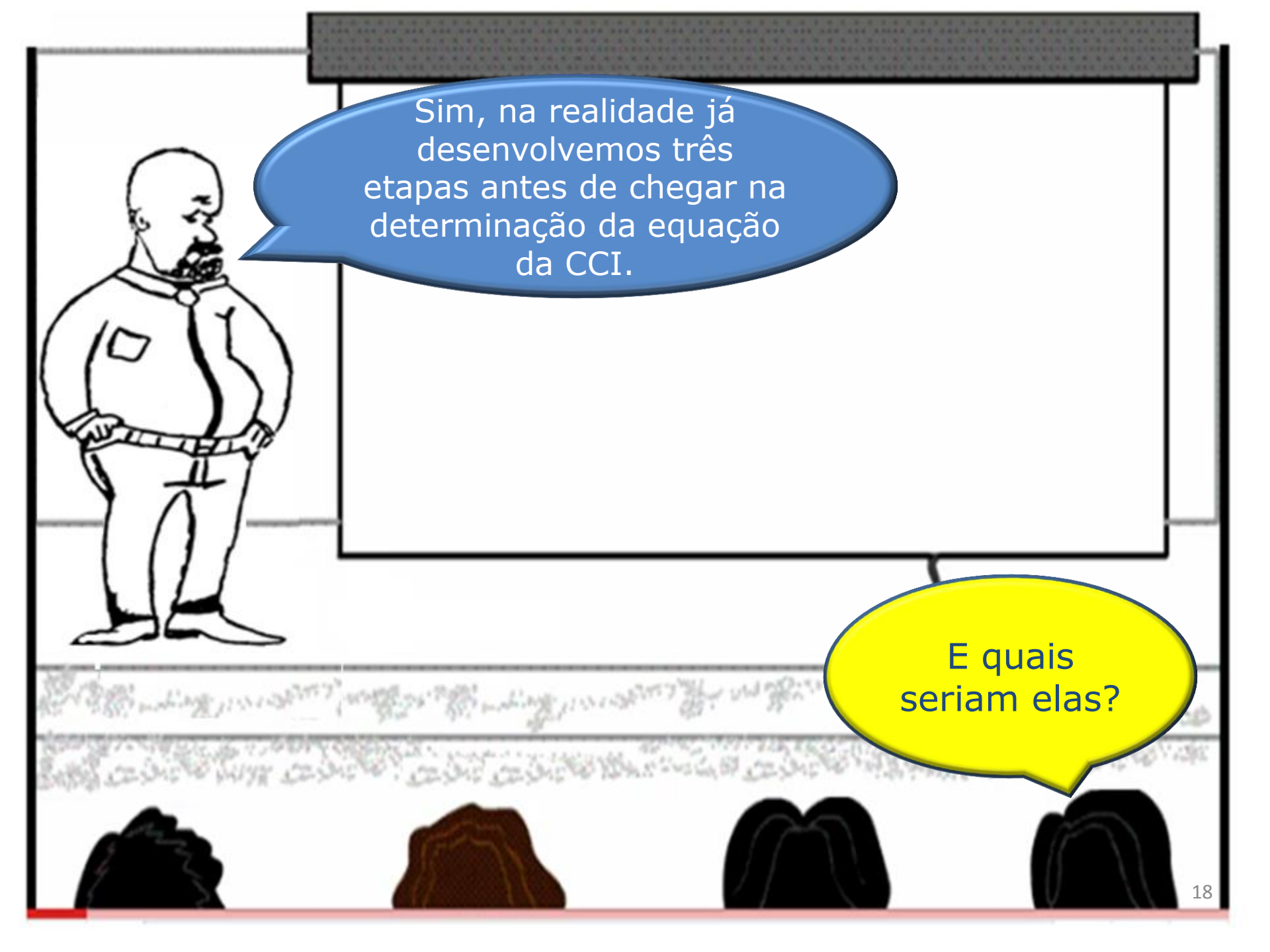


Neste intuito, estudamos na segunda como escrever a equação da Curva Característica da Instalação (CCI), já que a instalação de bombeamento é uma das maneiras utilizada para o seu transporte dos fluidos.



Mas a equação da CCI não era a 1ª 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  $0 \leq t \leq 100^\circ\text{C}$

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

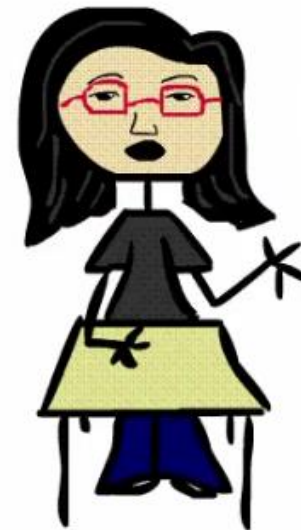
$$[\rho_{\text{água}}] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$\rightarrow \mu_0 = 1,788 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}$$

Com

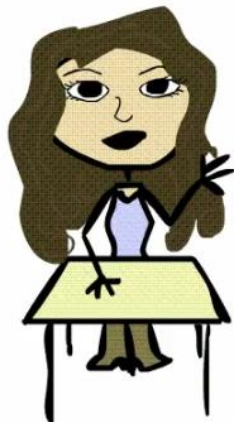
$$\theta = \frac{273(\text{K})}{T(\text{K})}$$



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:

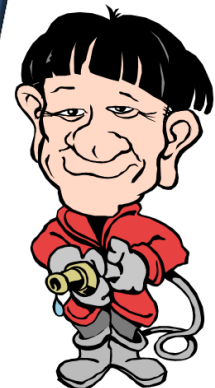
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$



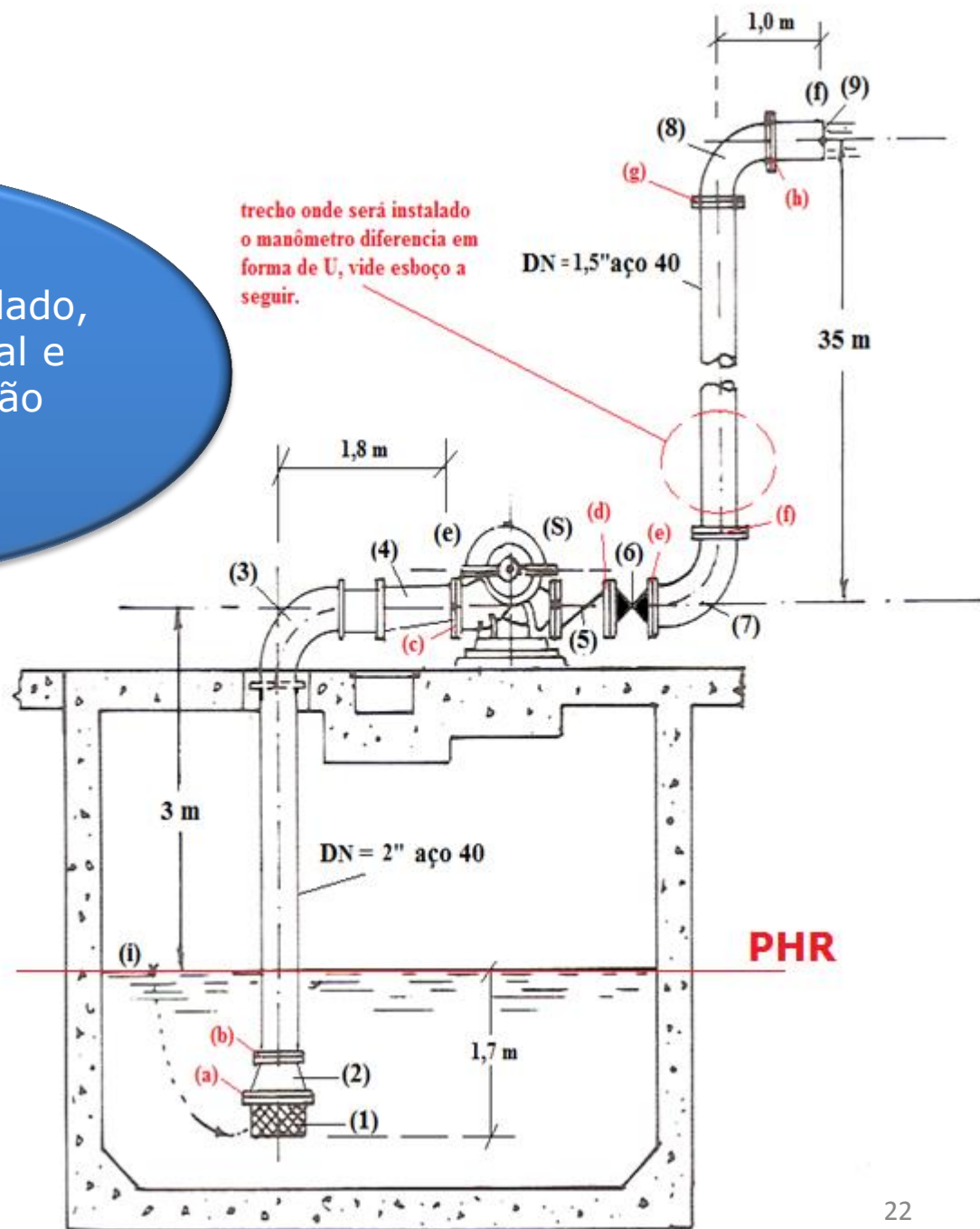
Ainda na primeira etapa, conhecemos as condições de captação e distribuição!

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  $Q$ .

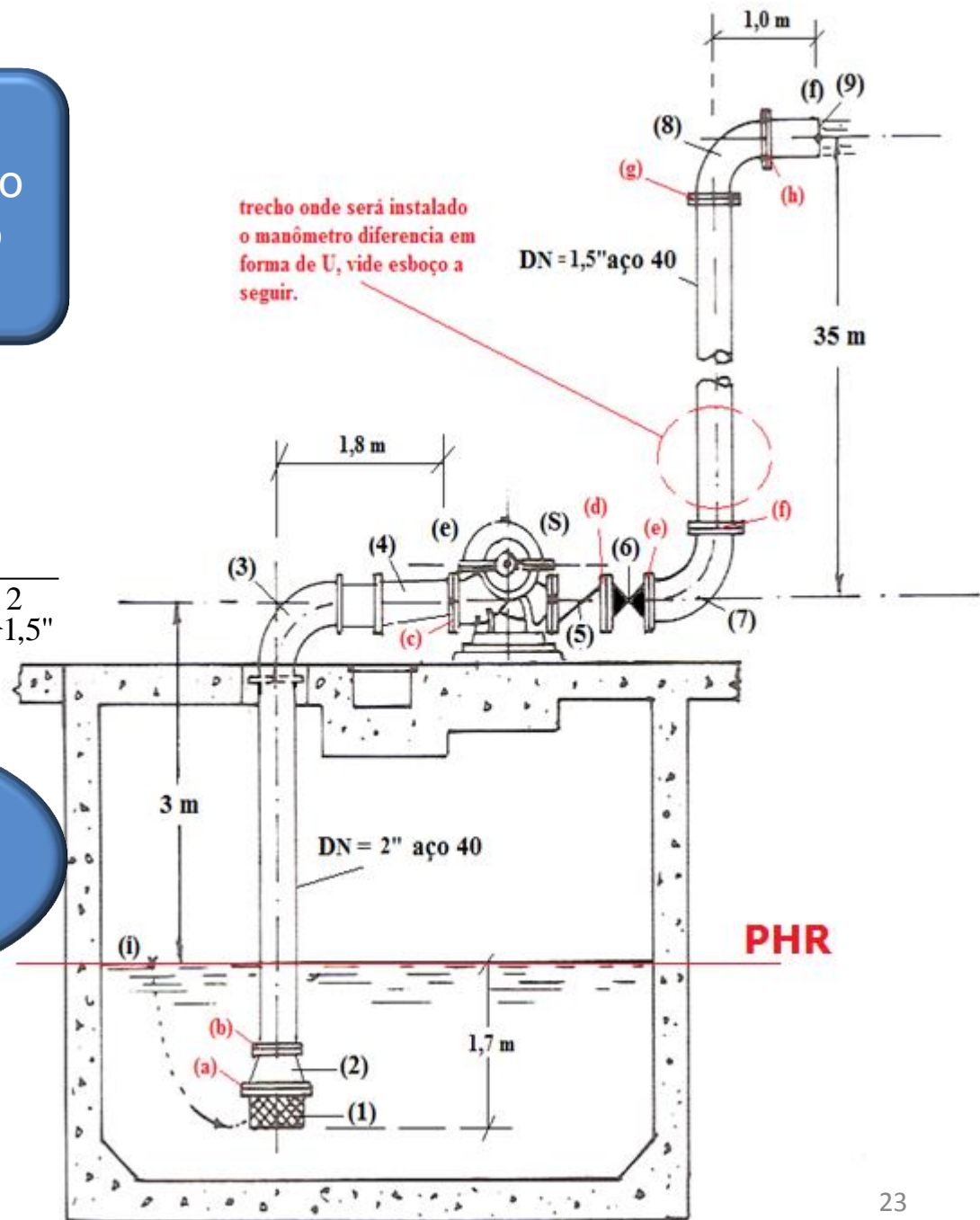


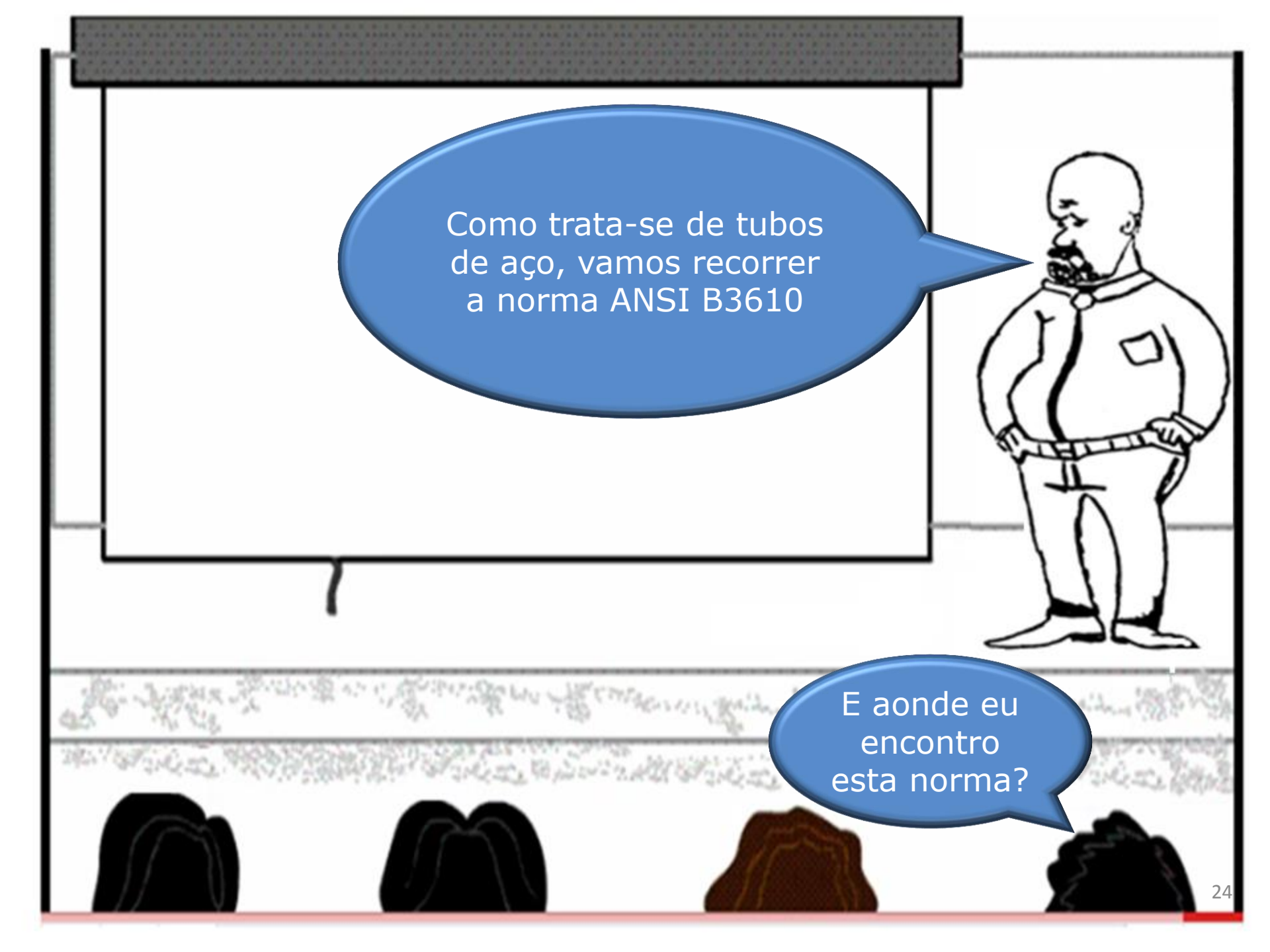
Adotando o PHR no nível de captação

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

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

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](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](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](http://www.escoladavida.eng.br/mecanica_dos_fluidos_para_eng_quimica.htm) clique em: “planejamento atual”



Tem mais?



Sim!

5. Estando na página:

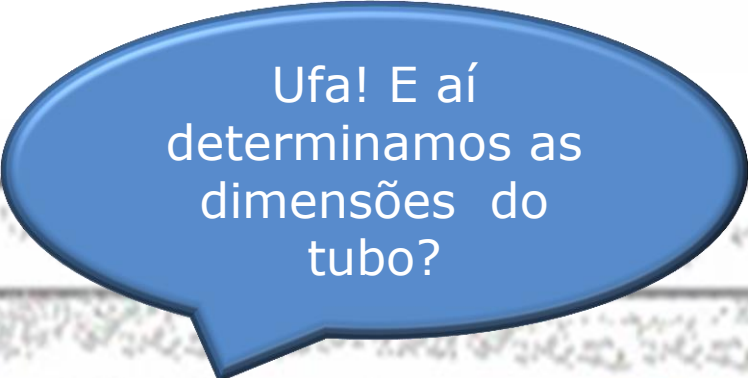
[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento\\_12013/abertura\\_12013.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/abertura_12013.htm) clique em:

“[Consultas](#)”

6. Estando na página:

[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento\\_12013/consulta7.htm](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 <sup>2</sup> ) | Área da seção de metal (cm <sup>2</sup> ) | Superfície externa (m <sup>2</sup> /m) | Peso aproximado (kg/m) |                  | Momento de inércia (cm <sup>4</sup> ) | Momento resistente (cm <sup>3</sup> ) | 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).

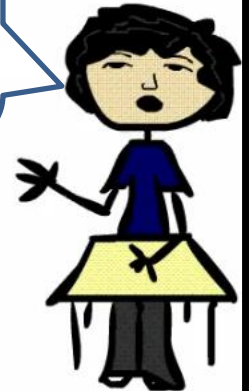


E aí é só lembrar:



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](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 chegamos na 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:

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

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

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

$$Q = v \times A$$

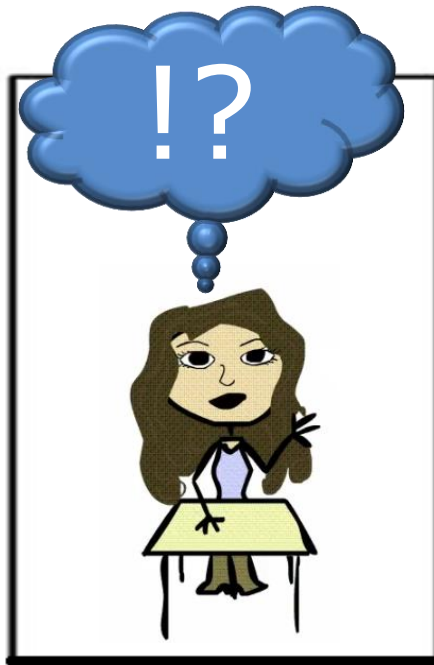
$$3,2 \times 10^{-3} = 1,8 \times \frac{\pi \times D_{\text{dBref}}^2}{4}$$

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

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



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"

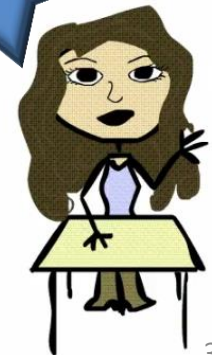


Se a instalação for considerada grande, custo da BOMBA + Motor + custo DE OPERAÇÃO menos significativo do que o custo da tubulação, podemos optar pelo menor diâmetro, no caso aço 40 de diâmetro nominal de 1,5"



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

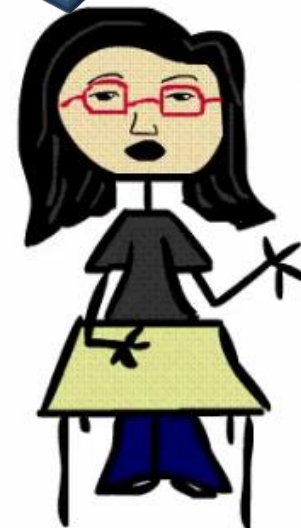


É aqui que estabelecemos os comprimentos das tubulações.

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; .

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

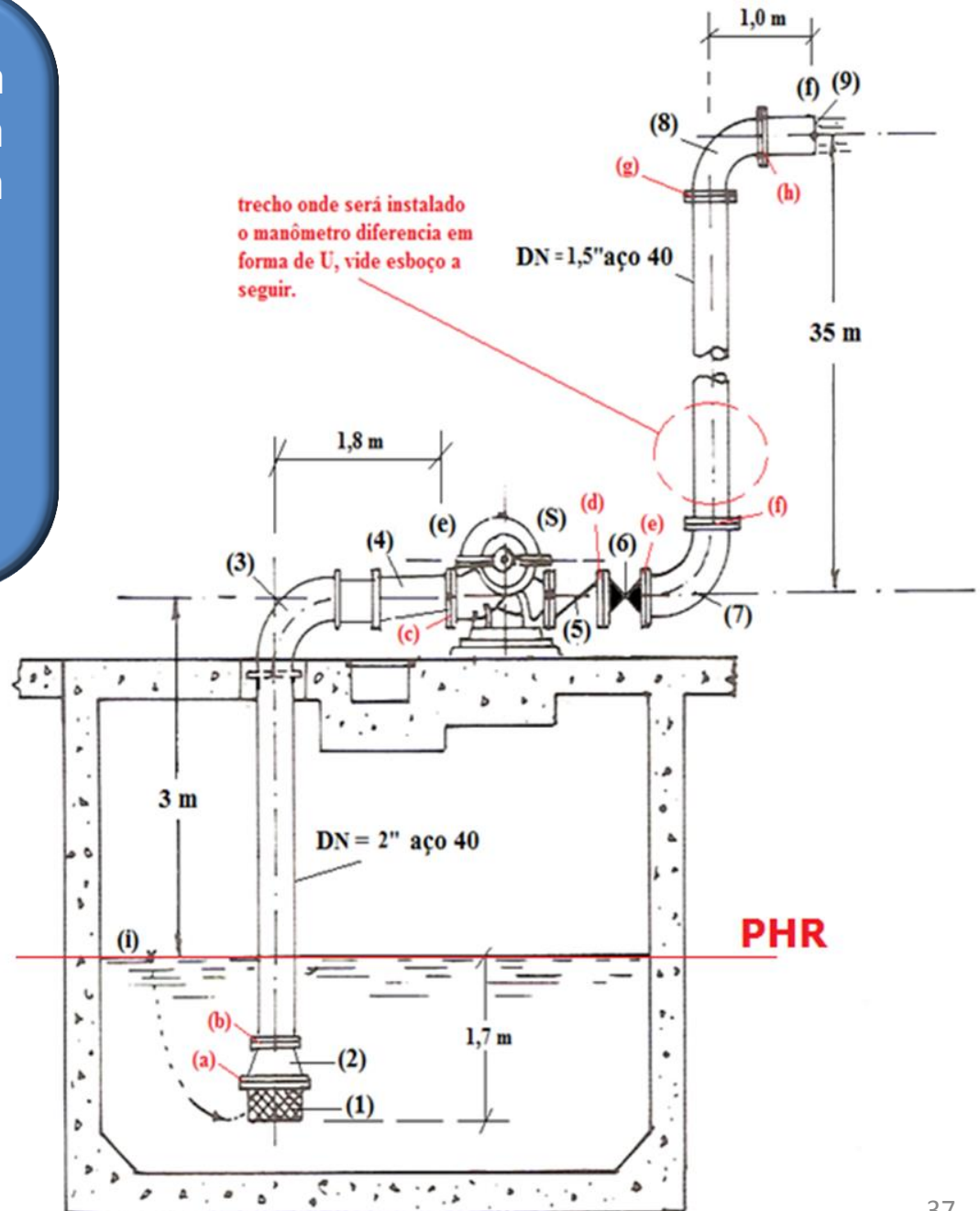
$$Z_{\text{inicial}} = 0;$$

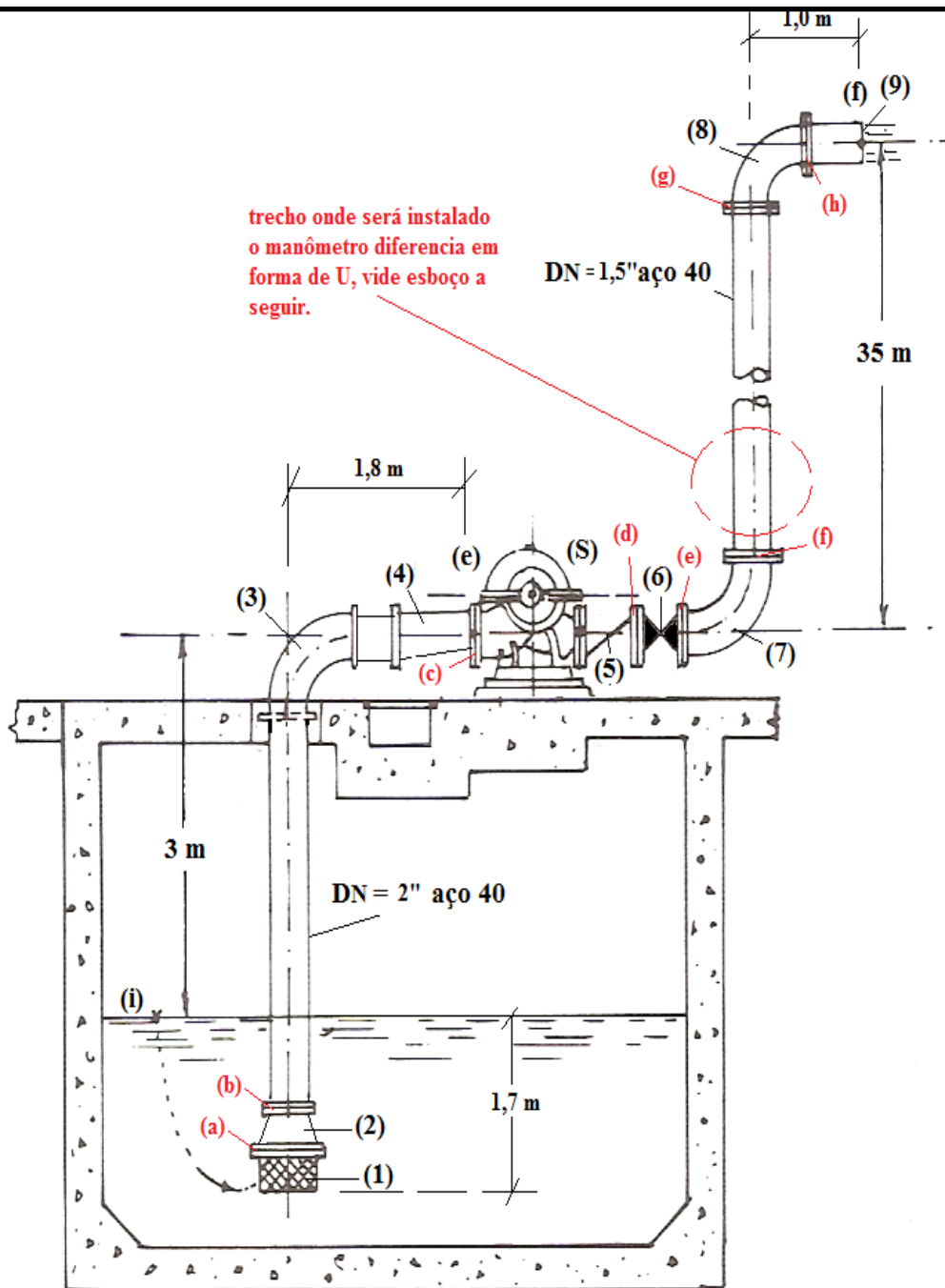
$$Z_{\text{final}} - Z_{\text{inicial}} = 38\text{m}$$

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

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

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





- 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”



4ª Etapa do projeto:  
obtenção da equação  
da CCI

24<sup>o</sup> - A instalação ao lado  
fez parte da terceira  
questão da P1 do  
segundo semestre de  
2012 e supondo que o  
fluido bombeado é a  
água a 25<sup>o</sup>C, obtenha a  
equação da CCI.

Este é o  
exercício  
proposto esta  
semana!

