Segunda aula de complemento de ME5330

Agosto de 2010

$$p_{absoluta} = p_{efetiva} + p_{atmosférica_{local}}$$
$$p_{efetiva} = p_{ponto_{fluido}} = \gamma \times h$$
$$h < 100m \Rightarrow p_{gás} \cong constante$$

pressão

$$\sum Q_{massa} = constante \Rightarrow \rho = constante$$
$$\sum Q = constante \Rightarrow \sum (v \times A) = constante$$
$$A = constante \Rightarrow v = constante$$

continuidade

Equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente. Lembre que o fluido em um trecho sem máquina escoa da carga maior para a carga menor.

$$H_i + H_B = H_f + H_{p_{i-f}}$$
$$H_x = z_x + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{\alpha_x \times v_x^2}{2g}$$

Conceitos ligados ao cálculo das perdas de carga

$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} \rightarrow h_S = K_S \times \frac{v^2}{2g}$$
$$h_S = f \times \frac{L_{eq}}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} \rightarrow H_{p_{total}} = \sum h_f + \sum h_S$$
$$Re\sqrt{f} = \frac{D_H}{\nu} \times \sqrt{\frac{h_f \times D_H \times 2g}{L}}$$

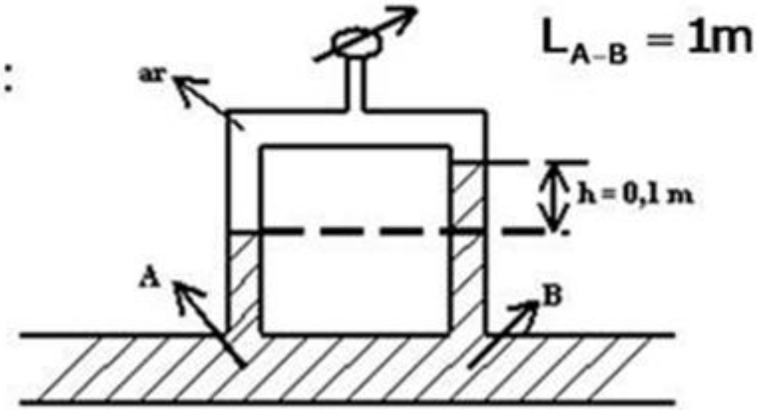
Estima-se a vazão pelo diagrama de Rouse.

Solução do problema 1: O dispositivo mostrado na figura abaixo mede o diferencial de pressão entre os pontos A e B de uma tubulação por onde escoa água. Com base nos dados apresentados na figura, sabendo que o tubo é de cobre de 25 mm de diâmetro interno e que a viscosidade da água pode ser considerada igual a 10^{-6} m²/s, pede-se estimar a sua vazão.

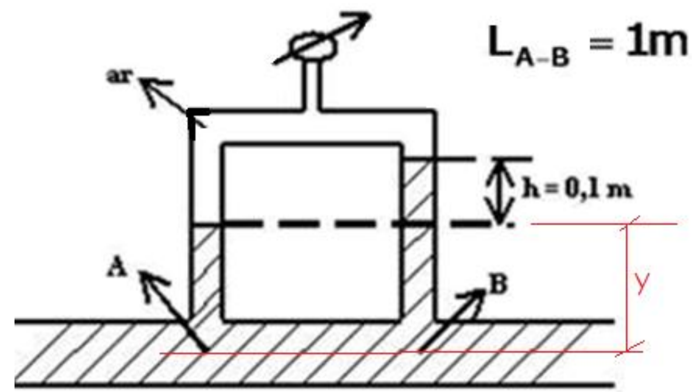
Sabendo-se que:

$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ $\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}$

$\rho_{ar} = 1.2 \frac{kg}{m^3}$



Para começar eu preciso saber o sentido do escoamento, e para isso, vou determinar a pressão na seção A e B



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

Como não existe máquina entre A e B e:

$$z_A = z_B \Leftrightarrow v_A = v_B \text{ e } p_B > p_A$$

pode-se concluir que o escoamento é de B para A e aplicando a equação da energia entre estas seções, se obtém:

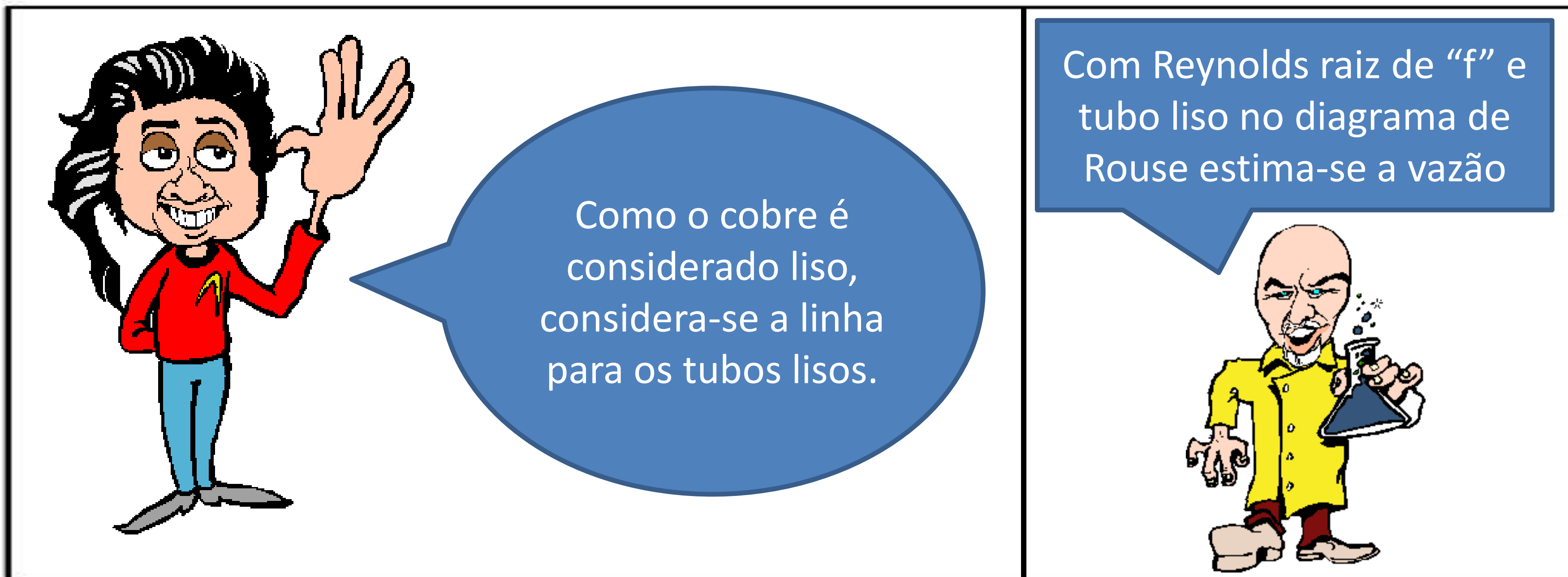
$$z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \frac{\alpha_B \times v_B^2}{2g} = z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{\alpha_A \times v_A^2}{2g} + h_{f_{B-A}}$$

$$\therefore h_{f_{B-A}} = \frac{0{,}1 \times \gamma}{\gamma} = 0{,}1\text{m}$$

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

$$\mathrm{Re}\sqrt{f} = \frac{0{,}025}{10^{-6}} \times \sqrt{\frac{0{,}1 \times 0{,}025 \times 2 \times 9{,}8}{1}}$$

$$\therefore \mathrm{Re}\sqrt{f} \cong 5534$$



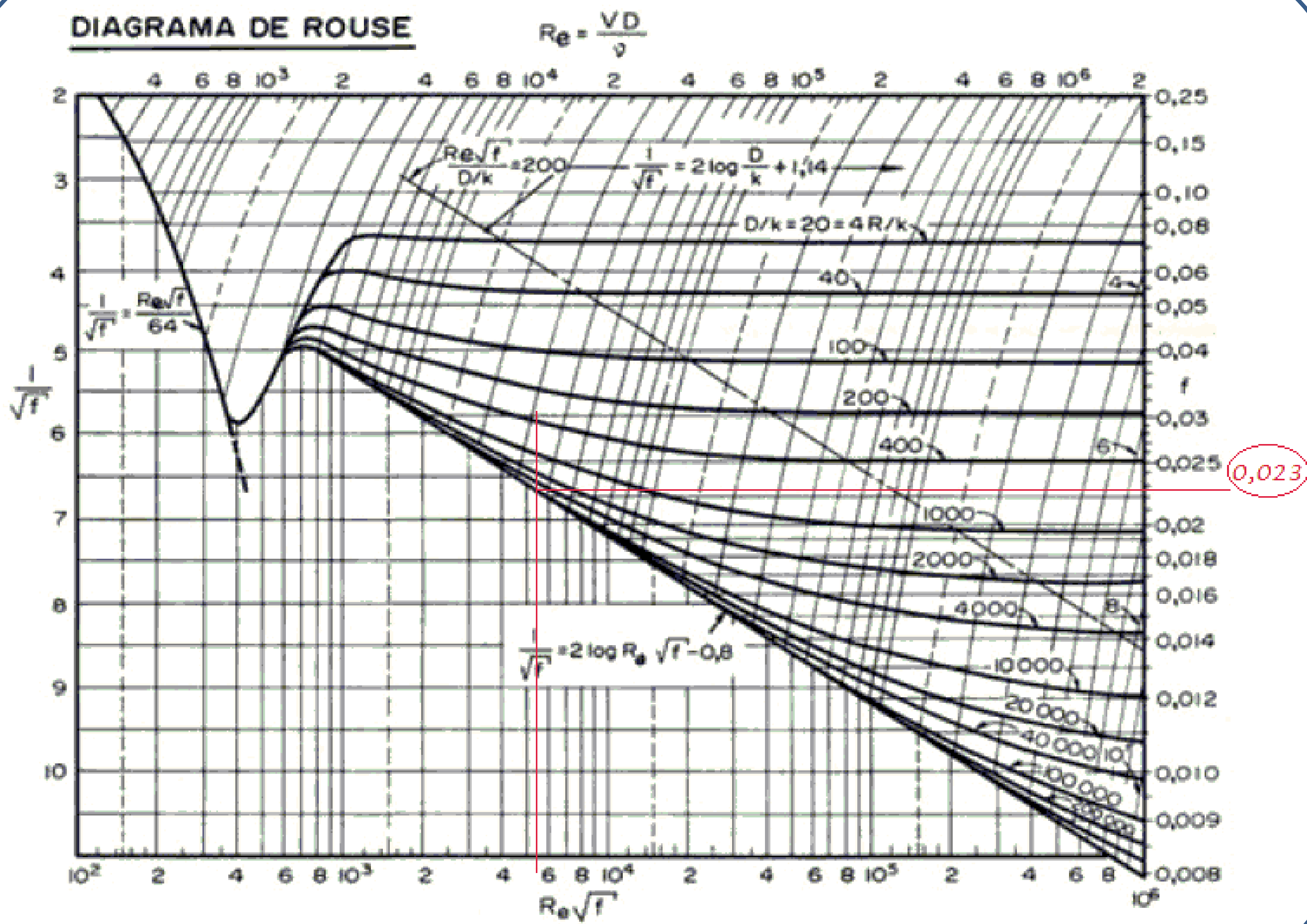


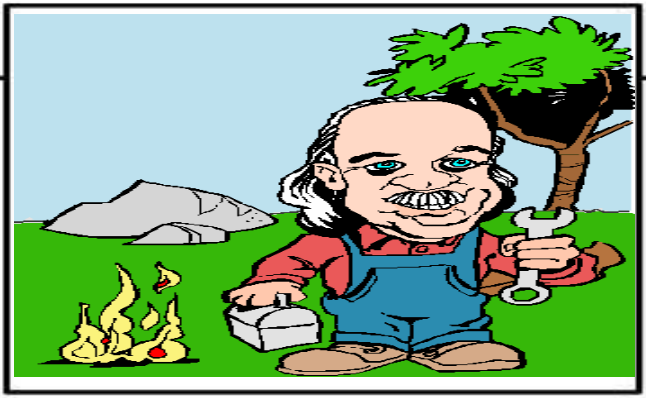
DIAGRAMA DE ROUSE
$R_e = \frac{VD}{\nu}$
$\frac{Re\sqrt{f}}{D/k} = 200$
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{k} + 1,14$
D/k = 20 = 4 R/k
40
100
200
400
1000
2000
4000
10000
20000
40000
100000
200000
$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{Re\sqrt{f}}{64}$
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log R_e \sqrt{f} - 0,8$
$\frac{1}{\sqrt{f}}$
$R_e\sqrt{f}$
f
0,25
0,15
0,10
0,08
0,06
0,05
0,04
0,03
0,025
0,02
0,018
0,016
0,014
0,012
0,010
0,009
0,008
0,023

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

$$0{,}1 = 0{,}023 \times \frac{1}{0{,}025} \times \frac{v^2}{2 \times 9{,}8}$$

$$\therefore\ v = \sqrt{\frac{0{,}1 \times 0{,}025 \times 2 \times 9{,}8}{0{,}023}} \cong 1{,}46\,\frac{m}{s}$$

$$Q = 1{,}46 \times \frac{\pi \times 0{,}025^2}{4} \cong 7{,}17 \times 10^{-4}\,\frac{m^3}{s}$$

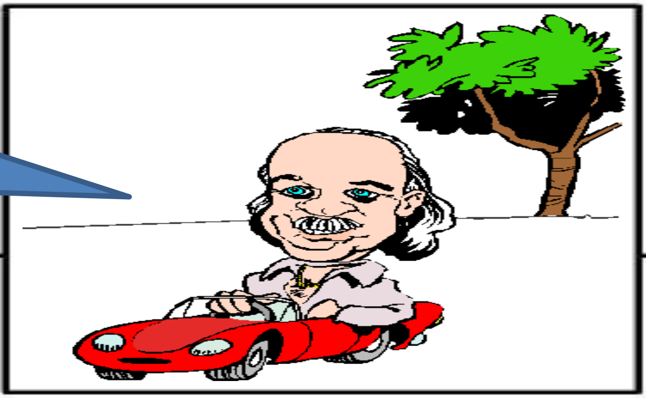


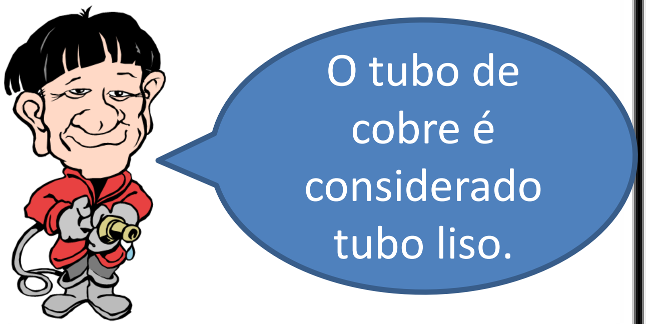
Solução do problema 2: A camisa de resfriamento de um reator experimental está sendo alimentada por uma salmoura alcoólica a 20% através de um tubo isolado de cobre com 20,6 mm de diâmetro interno.

Num trecho reto sem válvula ou qualquer outro acessório a salmoura circula a -1 ^{0}C e pressão um pouco acima da atmosférica. Um manômetro em U ligado em tomadas de pressão distantes a 4,5 m uma da outra indica uma perda de carga que é representada pelo desnível de 5,9 cm do fluido manométrico que no caso é o mercúrio (ρ_{Hg}=13595 kg/m³). Nestas condições determine a vazão da salmoura.

Dados: massa específica da salmoura igual a 977,6 kg/m³ e sua viscosidade igual a 5,5 * 10^{-3} (Pa*s).

Determina-se a perda de carga e o Reynolds raiz de "f"



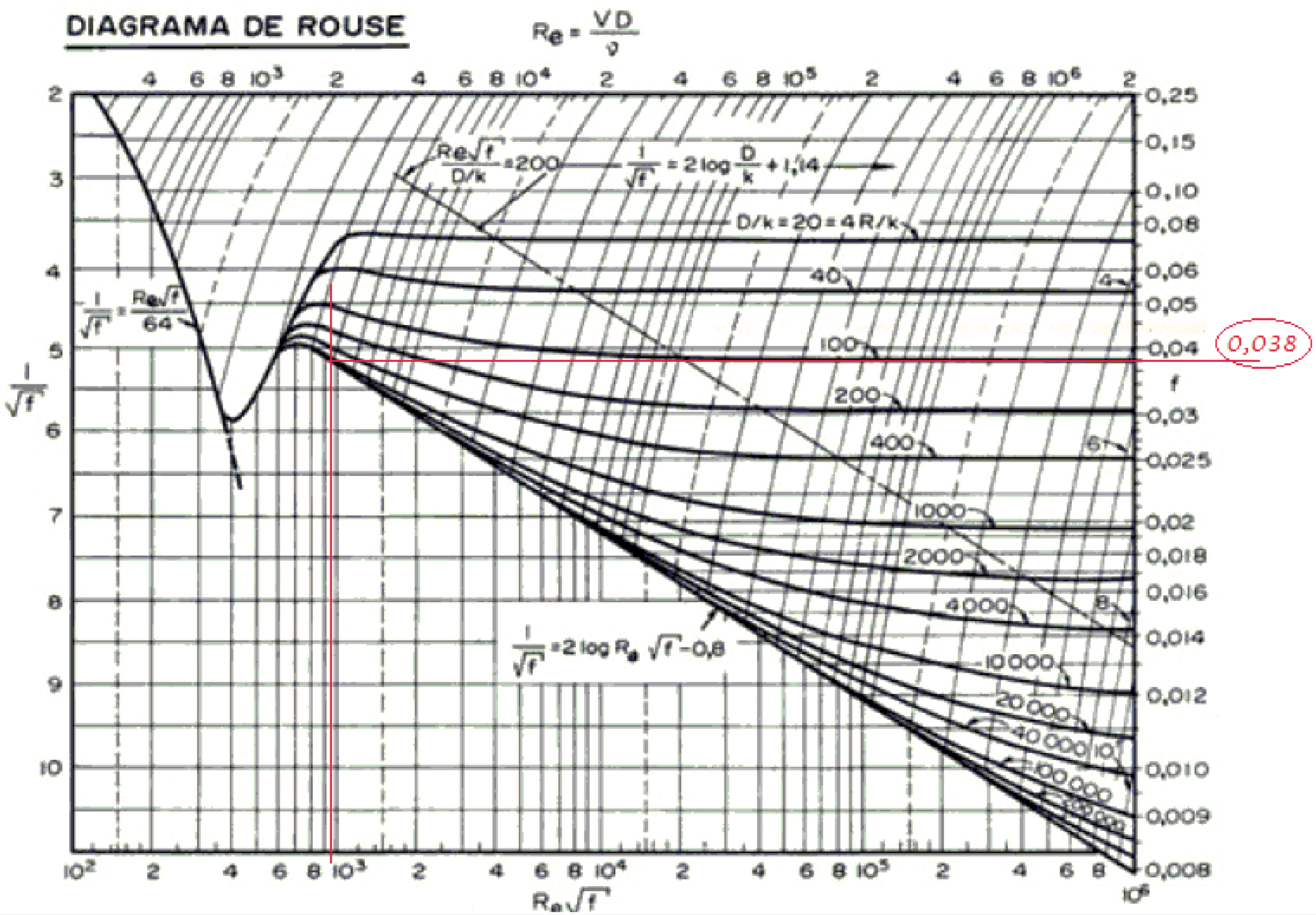


$$h_f = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{0{,}059 \times (13595 - 977{,}6) \times 9{,}8}{977{,}6 \times 9{,}8}$$

$$h_f \cong 0{,}762\text{m}$$

$$\text{Re}\sqrt{f} = \frac{977{,}6 \times 0{,}0206}{5{,}5 \times 10^{-3}} \times \sqrt{\frac{0.762 \times 0{,}0206 \times 2 \times 9{,}8}{4{,}5}}$$

$$\text{Re}\sqrt{f} \cong 957{,}4$$



$$0{,}762 = 0{,}038 \times \frac{4{,}5}{0{,}0206} \times \frac{v^2}{2 \times 9{,}8}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{0{,}762 \times 0{,}0206 \times 2 \times 9{,}8}{0{,}038 \times 4{,}5}} \cong 1{,}34 \frac{m}{s}$$

$$Q = 1{,}34 \times \frac{\pi \times 0{,}0206^2}{4} \cong 4{,}47 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Solução do problema 3: A camisa de resfriamento de um reator experimental está sendo alimentada por uma salmoura alcoólica a 20% através de um tubo isolado de cobre com 20,6 mm de diâmetro interno. Num trecho reto sem válvula ou qualquer outro acessório a salmoura circula a -1 ^{0}C e pressão um pouco acima da atmosférica. Um manômetro em U ligado em tomadas de pressão distantes a 4,5 m uma da outra indica que origina uma variação de pressão entre as duas seções consideradas de 5,9 cm de coluna d'água (ρ_{H2O}=999,8 kg/m³). Nestas condições determine a vazão da salmoura.

Dados: massa específica da salmoura igual a 977,6 kg/m³ e sua viscosidade igual a 5,5 * 10^{-3} (Pa*s).

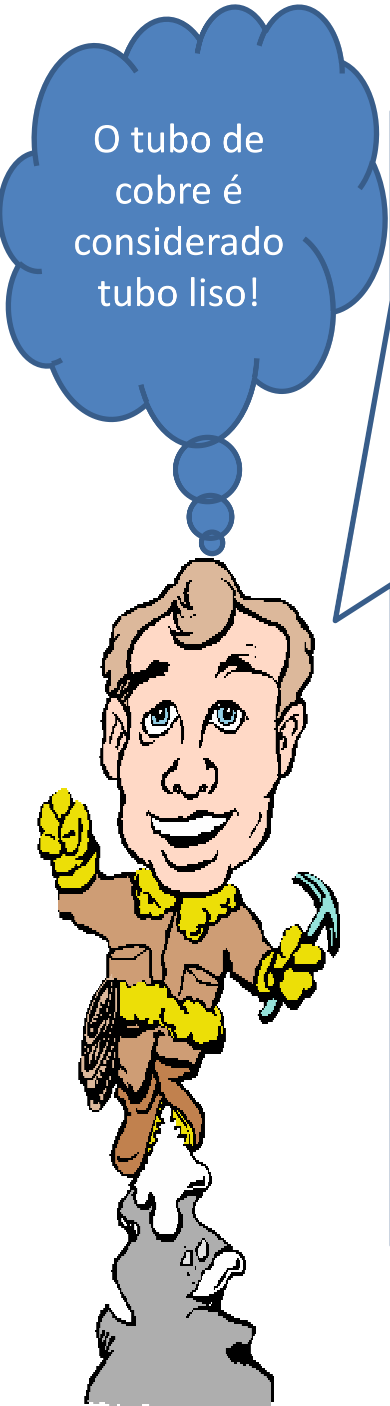
$$h_f = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{0{,}059 \times 999{,}8 \times 9{,}8}{977{,}6 \times 9{,}8}$$

$$h_f \cong 0{,}0603\text{m}$$

$$\text{Re}\sqrt{f} = \frac{977{,}6 \times 0{,}0206}{5{,}5 \times 10^{-3}} \times \sqrt{\frac{0.0603 \times 0{,}0206 \times 2 \times 9{,}8}{4{,}5}}$$

$$\text{Re}\sqrt{f} \cong 269{,}4$$

Determinação da perda de carga e do Reynolds raiz de f


O tubo de cobre é considerado tubo liso!

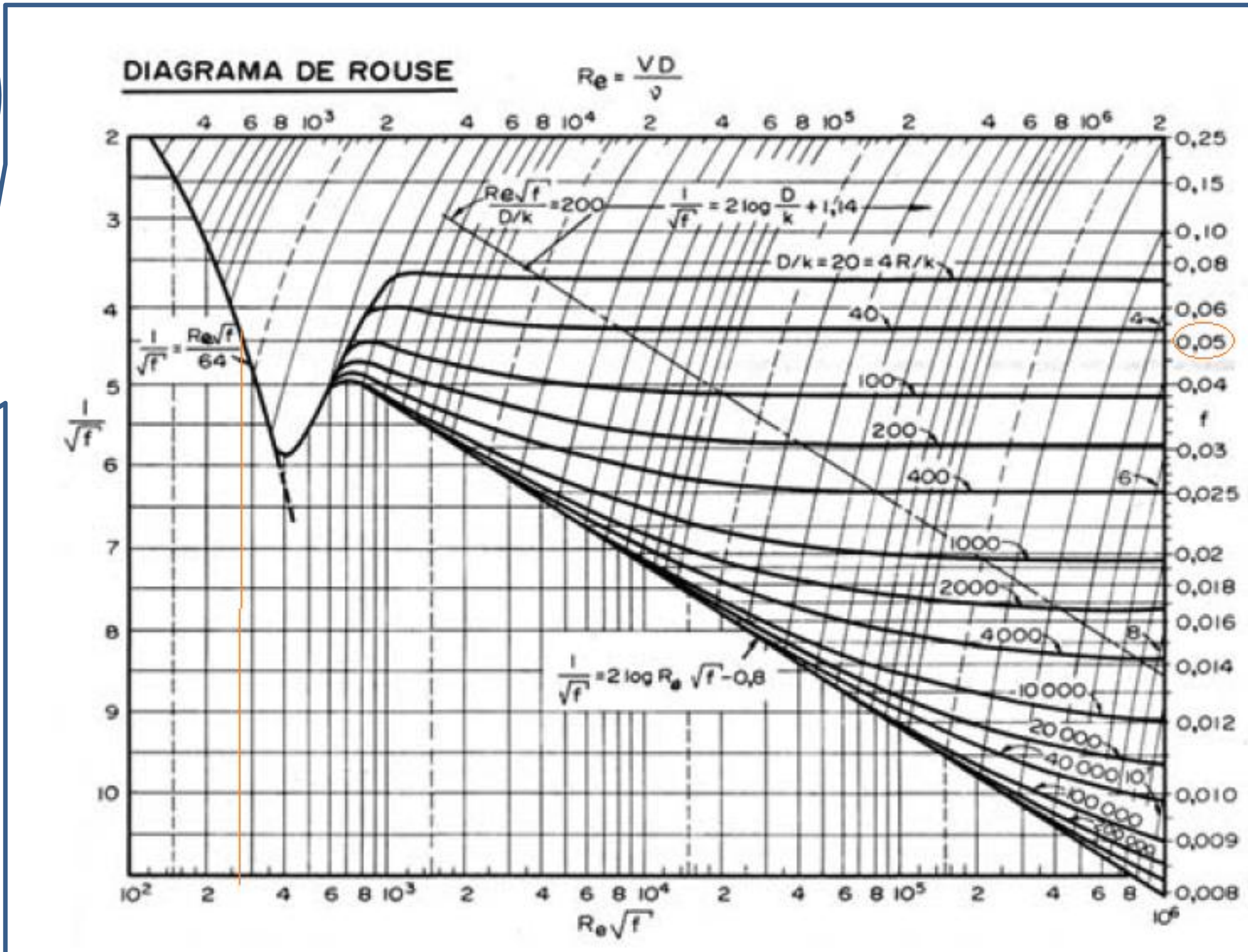
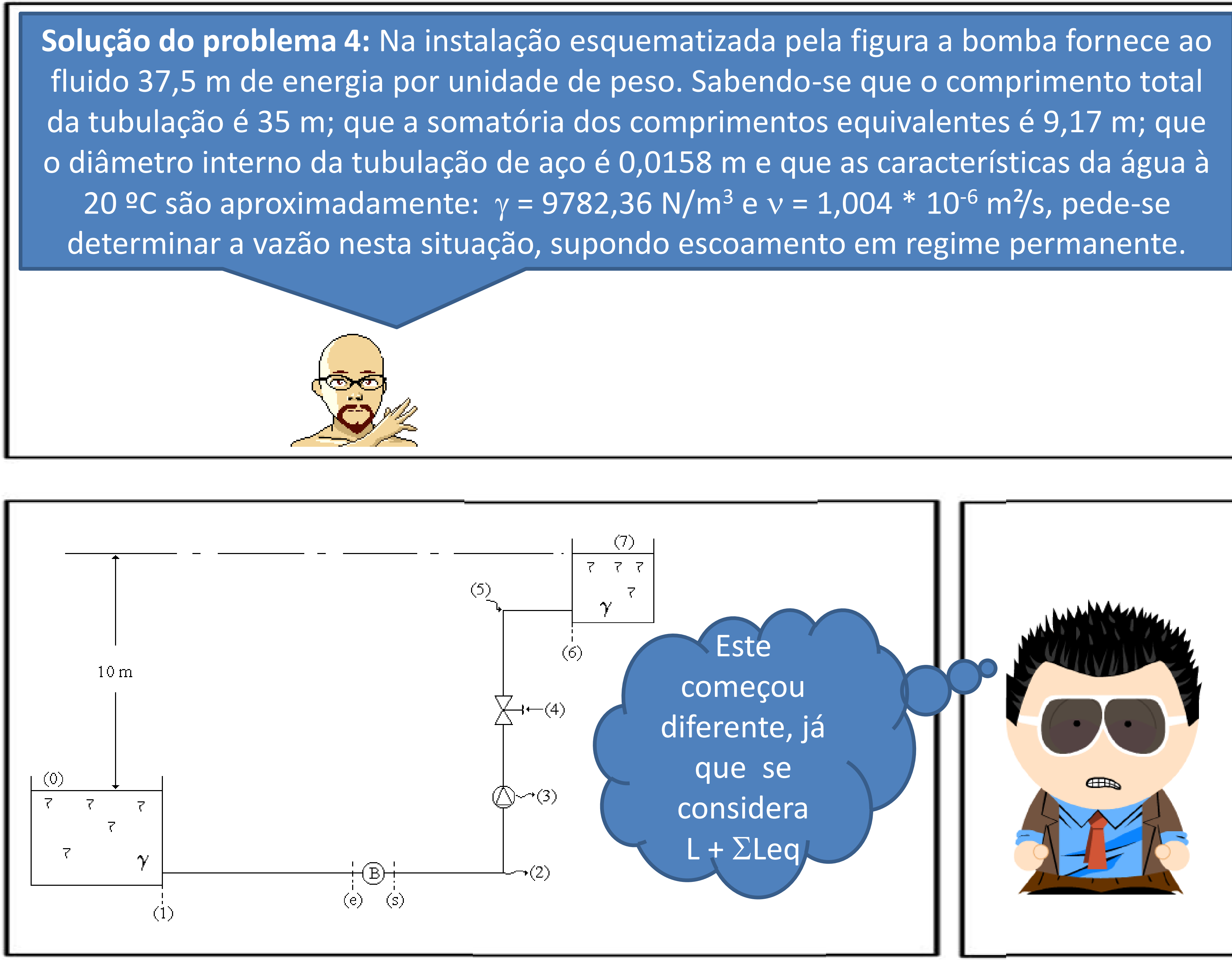


DIAGRAMA DE ROUSE
Re = VD/ν
Re√f / (D/k) = 200
1/√f = 2 log D/k + 1,14
D/k = 20 = 4 R/k
1/√f = Re√f / 64
1/√f = 2 log Re √f − 0,8
1/√f
f
Re√f
40
100
200
400
1000
2000
4000
10000
20000
40000
100000
200000
0,25
0,15
0,10
0,08
0,06
0,05
0,04
0,03
0,025
0,02
0,018
0,016
0,014
0,012
0,010
0,009
0,008

$$0{,}0603 = 0{,}05 \times \frac{4{,}5}{0{,}0206} \times \frac{v^2}{2 \times 9{,}8}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{0{,}0603 \times 0{,}0206 \times 2 \times 9{,}8}{0{,}05 \times 4.5}} \cong 0{,}329 \frac{m}{s}$$

$$Q = 0{,}329 \times \frac{\pi \times 0{,}0206^2}{4} \cong 1{,}1 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$


Solução do problema 4: Na instalação esquematizada pela figura a bomba fornece ao fluido 37,5 m de energia por unidade de peso. Sabendo-se que o comprimento total da tubulação é 35 m; que a somatória dos comprimentos equivalentes é 9,17 m; que o diâmetro interno da tubulação de aço é 0,0158 m e que as características da água à 20 ºC são aproximadamente: γ = 9782,36 N/m³ e ν = 1,004 * 10^{-6} m²/s, pede-se determinar a vazão nesta situação, supondo escoamento em regime permanente.
(7)
(5)
(6)
10 m
(4)
(3)
(0)
(2)
(e)
(s)
(1)
B
γ
γ
Este começou diferente, já que se considera L + ΣLeq

Ao se trabalhar com L+ΣLeq pode-se considerar $H_p = h_f$

Aplica-se a equação da energia de (0) a (7)

$$H_0 + H_B = H_7 + H_{p_{total}} \Rightarrow \text{PHR em (0)}$$

$$0 + 37{,}5 = 10 + H_{p_{total}} \therefore H_{p_{total}} = 27{,}5\text{m}$$

$$\therefore h_f = 27{,}5\text{m}$$

Aí pode-se calcular Reynolds raiz de f e a rugosidade relativa equivalente, isto porque o tubo não é liso

No diagrama de Rouse determinamos f e em seguida estimamos a vazão.

$$\text{Re}\sqrt{f} = \frac{0{,}0158}{1{,}004\times10^{-6}} \times \sqrt{\frac{27{,}5\times0{,}0158\times2\times9{,}8}{(35+9{,}17)}}$$

$$\text{Re}\sqrt{f} \cong 6910{,}1$$

$$\frac{D_H}{K} = \frac{0{,}0158}{4{,}8\times10^{-5}} \cong 330$$


f=0,03

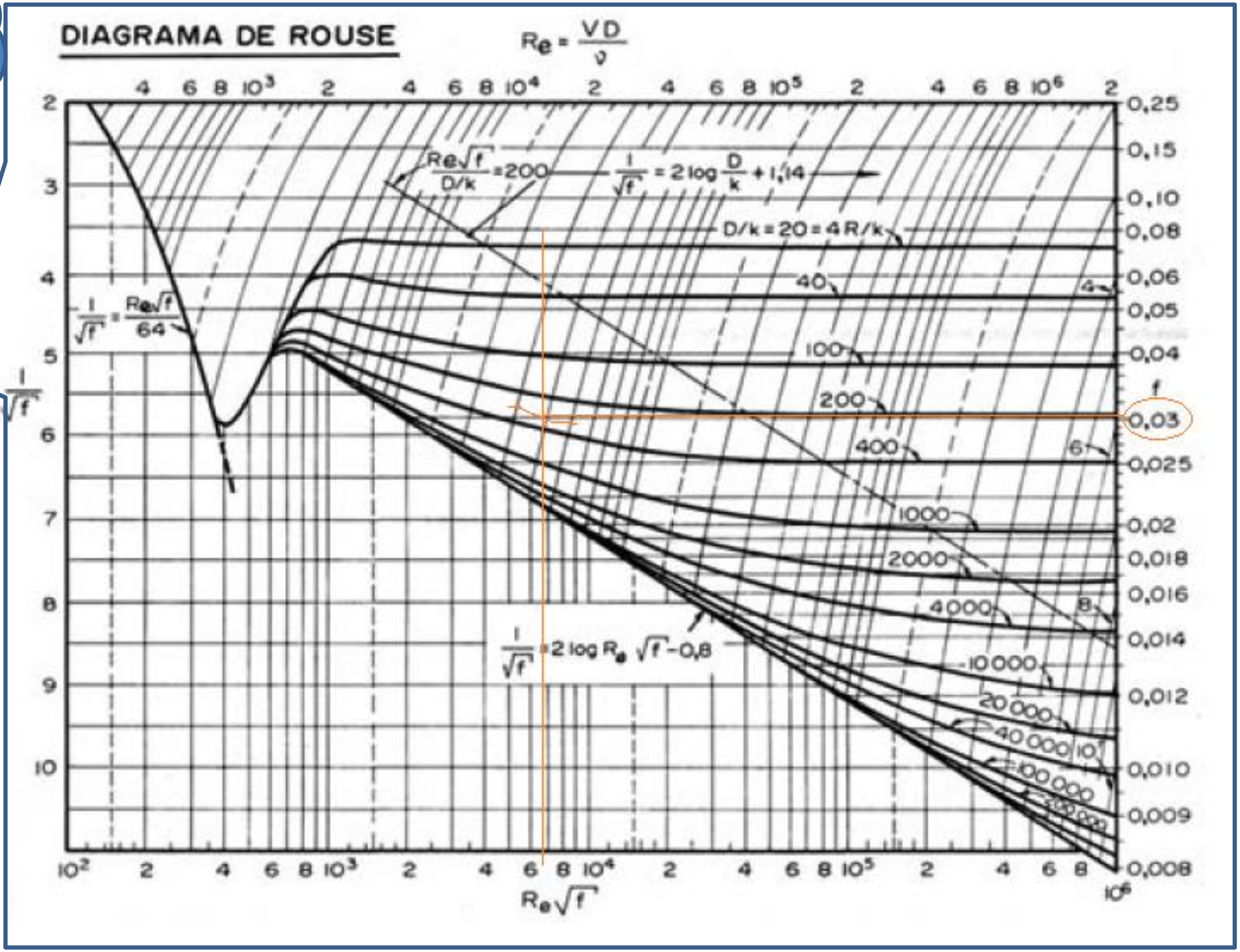


DIAGRAMA DE ROUSE
Re = VD/ν
Re√f / (D/k) = 200
1/√f = 2 log D/k + 1,14
D/k = 20 = 4 R/k
40
100
200
400
1000
2000
4000
10 000
20 000
40 000
100 000
200 000
1/√f = Re√f / 64
1/√f = 2 log Re √f − 0,8
1/√f
f
0,25
0,15
0,10
0,08
0,06
0,05
0,04
0,03
0,025
0,02
0,018
0,016
0,014
0,012
0,010
0,009
0,008
Re√f

Conhecendo-se o coeficiente de perda de carga distribuída (f= 0,03), consigo estimar a vazão

$$27{,}5 = 0{,}03 \times \frac{44{,}17}{0{,}0158} \times \frac{v^2}{2 \times 9{,}8}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{27{,}5 \times 0{,}0158 \times 2 \times 9{,}8}{0{,}03 \times 44{,}17}} \cong 2{,}54\,\frac{m}{s}$$

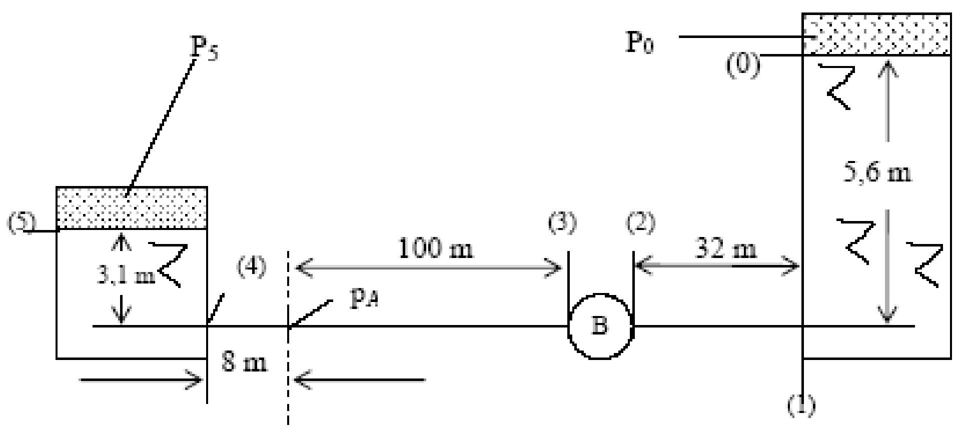
$$Q = 2{,}54 \times \frac{\pi \times 0{,}0158^2}{4} \cong 4{,}98 \times 10^{-4}\,\frac{m^3}{s}$$

Solução do problema 5: Para a instalação esquematizada pela figura onde são dados: $\phi_{interno\ do\ tubo}$=10cm; Q=10L/s; $p_A=2x10^4 N/m^2$; p_3 = 0, $K_{S1}=K_{S4}=1,0$; $p_0=3x10^4 N/m^2$; $\gamma_{H2O}=10^4\ N/m^3$; $g=9,8m/s^2$ e sentido de escoamento de (A) para (3), determinar:

a) o coeficiente de perda de carga distribuída;

b) a pressão de escoamento na seção(5);

c) a energia por unidade de peso fornecida pela bomba ao fluido (HB).



Este é diferente, já que não se utilizará Reynolds raiz de f

a)

$$H_A = H_3 + h_{f_{A-3}} \Rightarrow \text{PHR em (0)}$$

$$z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{\alpha_A \times v_A^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 \times v_3^2}{2g} + h_{f_{A-3}}$$

$$z_A = z_3 \rightarrow v_A = v_3 \rightarrow \alpha_A = \alpha_3$$

$$\frac{2 \times 10^4}{10^4} = h_{f_{A-3}} \therefore h_{f_{A-3}} = 2\text{m}$$

$$2 = f \times \frac{100}{0{,}1} \times \frac{\left(10 \times 10^{-3}\right)^2}{2 \times 9{,}8 \times \left(\frac{\pi \times 0{,}1^2}{4}\right)^2} \therefore f \cong 0{,}0242$$

b)

$$H_5 = H_A + H_{p_{5-A}} \Rightarrow \text{PHR em (A)}$$

$$z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + \frac{v_5^2}{2g} = z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{\alpha_A \times v_A^2}{2g} + H_{p_{5-A}}$$

$$3{,}1 + \frac{p_5}{10^4} = \frac{2\times 10^4}{10^4} + \frac{1\times\left(10\times 10^{-3}\right)^2}{2\times 9{,}8\times\left(\frac{\pi\times 0{,}1^2}{4}\right)^2}$$

$$+ H_{p_{5-A}}$$

$$H_{p_{5-A}} = \left(0{,}0242\times\frac{8}{0{,}1}+1\right)\times\frac{\left(10\times 10^{-3}\right)^2}{2\times 9{,}8\times\left(\frac{\pi\times 0{,}1^2}{4}\right)^2}$$

$$H_{p_{5-A}} \cong 0{,}243\text{m}$$

$$p_5 = 10^4\times\left(2+0{,}0827+0{,}243-3{,}1\right)$$

$$p_5 \cong -7743\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\,(\text{ou Pa})$$

c)

$$H_5 + H_B = H_0 + H_{p_{5-0}} \Rightarrow \text{PHR em (A)}$$

$$z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + \frac{v_5^2}{2g} + H_B = z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + H_{p_{5-0}}$$

$$3{,}1 - \frac{7743}{10^4} + H_B = 5{,}6 + \frac{3\times10^4}{10^4} + H_{p_{5-0}}$$

$$H_{p_{5-0}} = \left(0{,}0242 \times \frac{140}{0{,}1} + 2\right) \times \frac{\left(10\times10^{-3}\right)^2}{2\times9{,}8\times\left(\frac{\pi\times0{,}1^2}{4}\right)^2}$$

$$H_{p_{5-0}} \cong 2{,}968\text{m}$$

$$H_B = 5{,}6 + 3 + 2{,}968 - 3{,}1 + 0{,}7743$$

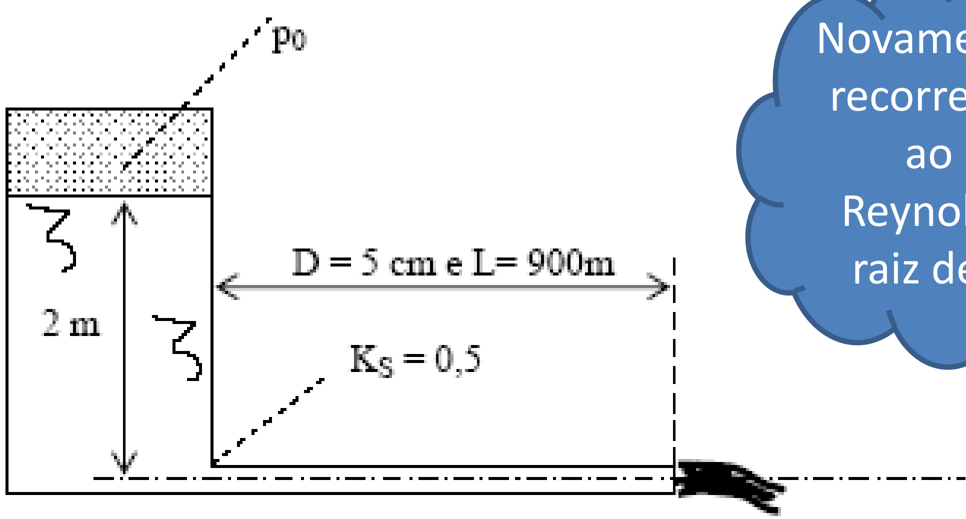
$$H_B \cong 9{,}3\text{m}$$

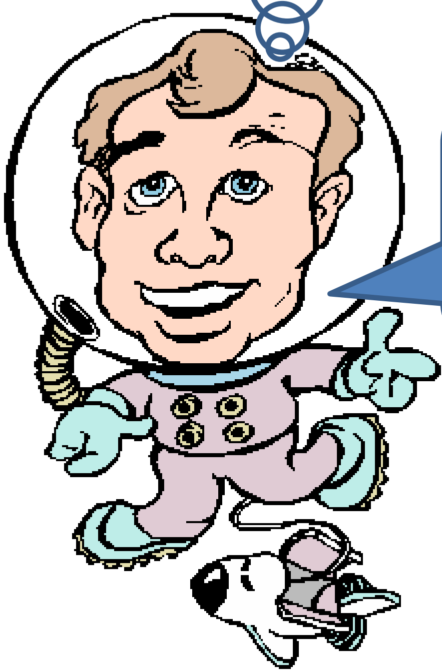
Solução do problema 6 Na tubulação de ferro fundido da figura escoa um fluido de peso específico $\gamma = 7840\ N/m^3$ e $\nu = 3 \times 10^{-5}\ m^2/s$. Nessas condições a pressão na tubulação a 400 m do reservatório é $0,49 * 10^5$ Pa. Pede-se:

a) qual a vazão;

b) qual a pressão p_0 que provoca o dobro da vazão;

c) qual o comprimento equivalente da singularidade (referente ao item b).





Determinação da perda de carga e do Reynolds raiz de f

$$h_f = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{0,49\times10^5}{7840}$$

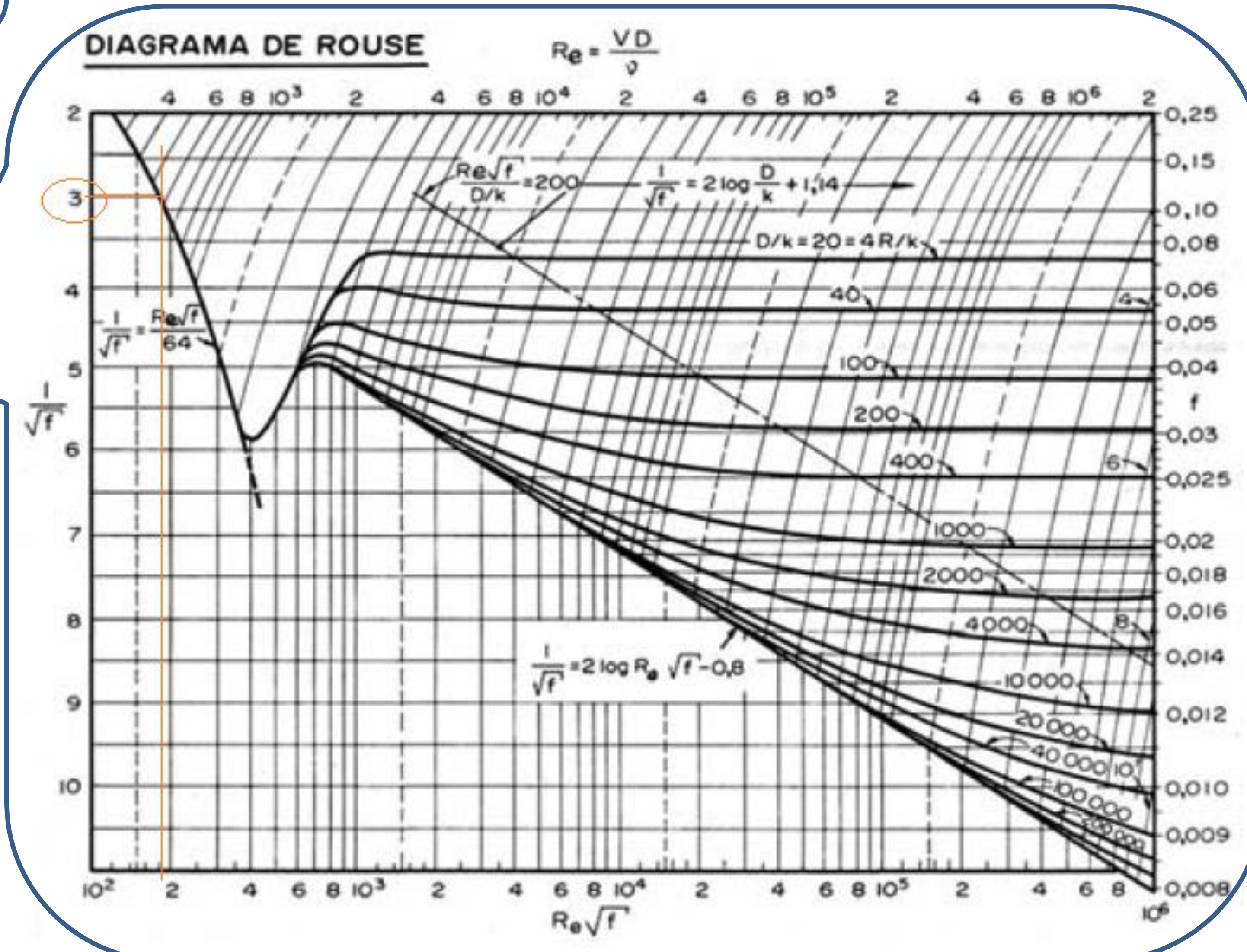
$$h_f \cong 6,25\,\text{m}$$

$$\text{Re}\sqrt{f} = \frac{0,05}{3\times10^{-5}} \times \sqrt{\frac{6,25\times0,05\times2\times9,8}{500}}$$

$$\text{Re}\sqrt{f} \cong 184,5$$

Para o valor acima calculado não há a necessidade de se considerar a rugosidade relativa equivalente, isto porque, trata-se de um escoamento laminar.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 3$$



$$6{,}25 = \frac{1}{9} \times \frac{500}{0{,}05} \times \frac{v^2}{2 \times 9{,}8}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{6{,}25 \times 9 \times 0{,}05 \times 2 \times 9{,}8}{500}}$$

$$v \cong 0{,}332 \frac{m}{s}$$

$$Q = 0{,}332 \times \frac{\pi \times 0{,}05^2}{4} \cong 6{,}52 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Inicialmente verifica-se o tipo de escoamento para se determinar o coeficiente de perda de carga distribuída.

$$Q_{nova} = 2\times 6{,}52\times 10^{-4} = 1{,}304\times 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

$$v_{nova} = \frac{4\times 1{,}304\times 10^{-3}}{\pi\times 0{,}05^2} \cong 0{,}664\ \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v\times D_H}{\nu} = \frac{0{,}664\times 0{,}05}{3\times 10^{-5}} \cong 1106{,}7$$

$$\text{La min ar} \Rightarrow f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1106{,}7} \cong 0{,}0578$$

b) A pressão no nível (0) para que se tenha o dobro da vazão

$$H_0 = H_f + H_{p_{0-f}}$$

$$H_{p_{0-f}} = \left(0{,}0578\times\frac{900}{0{,}05} + 0{,}5\right)\times\frac{0{,}664^2}{19{,}6}$$

$$H_{p_{0-f}} \cong 23{,}42m$$

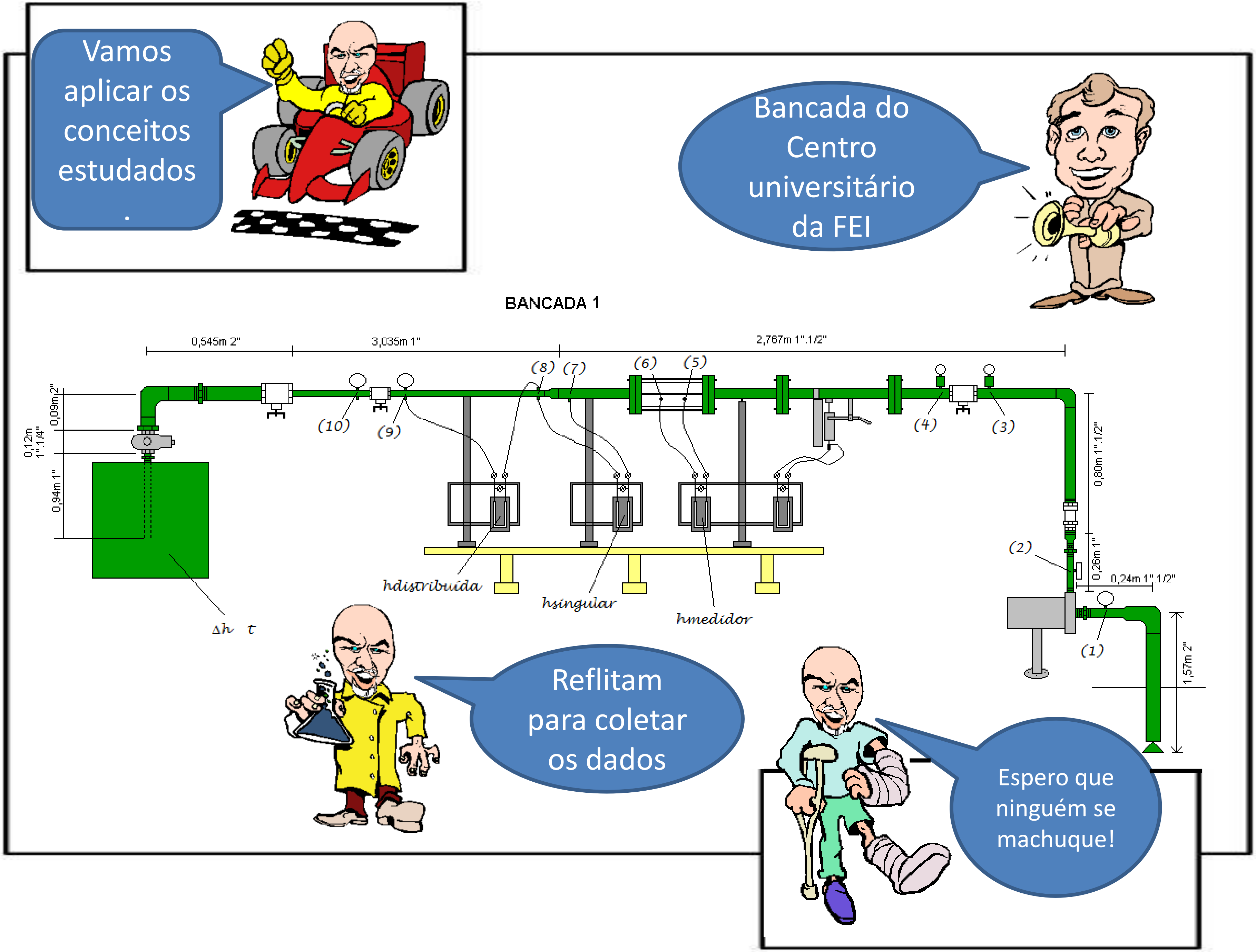
$$2 + \frac{p_{0_{novo}}}{7840} = \frac{2\times 0{,}664^2}{19{,}6} + 23{,}42$$

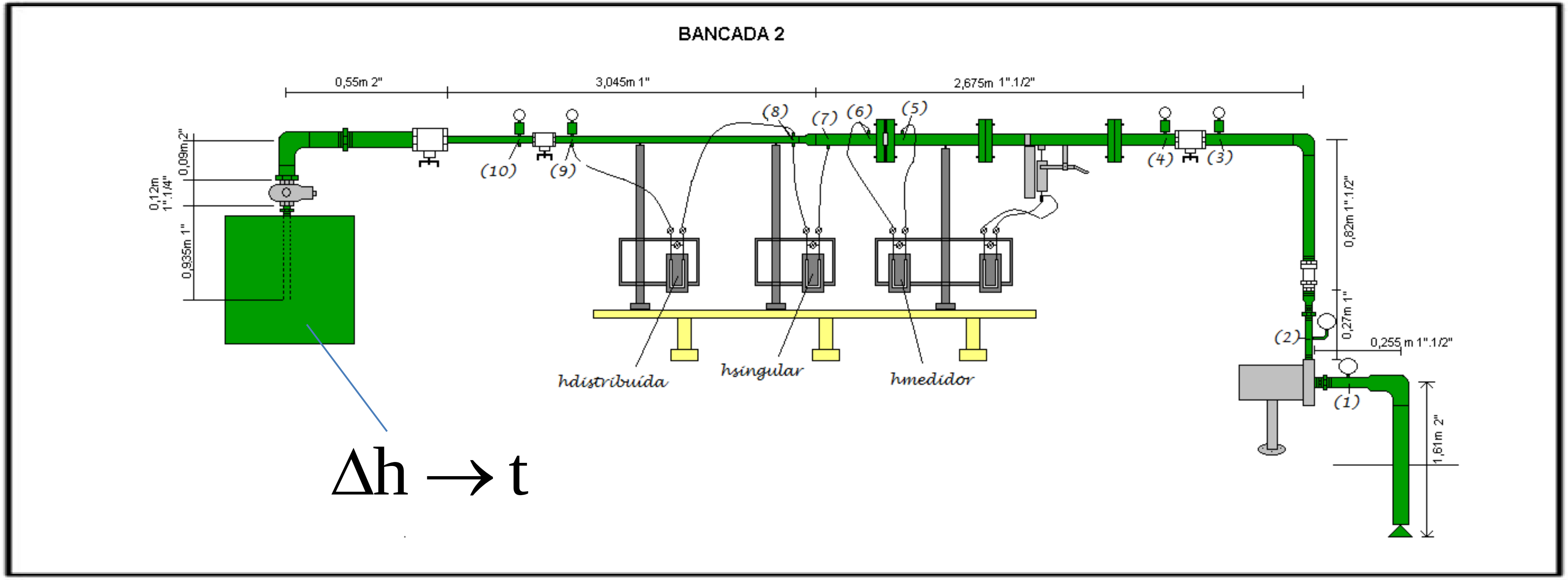
$$\therefore p_{0_{novo}} \cong 168{,}3kPa$$

c) Determinação do comprimento equivalente

$$L_{eq} = \frac{K_S\times D_H}{f} = \frac{0{,}5\times 0{,}05}{0{,}0578}$$

$$\therefore L_{eq} \cong 0{,}433m$$


Vamos aplicar os conceitos estudados .
Bancada do Centro universitário da FEI
BANCADA 1
0,545m 2"
3,035m 1"
2,767m 1".1/2"
(8) (7) (6) (5)
(10) (9) (4) (3)
0,09m 2"
0,12m 1".1/4"
0,94m 1"
0,80m 1".1/2"
(2)
0,26m 1"
0,24m 1".1/2"
(1)
1,57m 2"
hdistribuída
hsingular
hmedidor
Δh τ
Reflitam para coletar os dados
Espero que ninguém se machuque!



1. estimar a vazão pelo diagrama de Rouse e compará-la com a vazão real;
2. com a vazão real, determinar a carga manométrica da bomba para uma rotação especificada n;
3. com a vazão real, determinar a carga total nas seções (1), (2), (3), (4), (7), (8), (9) e (10);
4. com a vazão real, determinar a perda nos trechos de (2) a (3), de (3) a (4), de (7) a (8), de (8) a (9) e de (9) a (10);
5. com a vazão real, determinar o coeficiente de perda de carga distribuída no trecho de (8) a (9);

6. com a vazão real, determinar o coeficiente de perda de carga singular na válvula globo de 1,5” e na válvula gaveta de 1”;
7. com a vazão real, determinar o comprimento equivalente na redução de 1,5”para 1”;
8. com a vazão real, determinar o comprimento equivalente na válvula gaveta de 1”;
9. com a vazão real, determinar o rendimento global do conjunto motobomba;
10. com a vazão real, determinar o Cd do venturi e o K da placa de orifício.