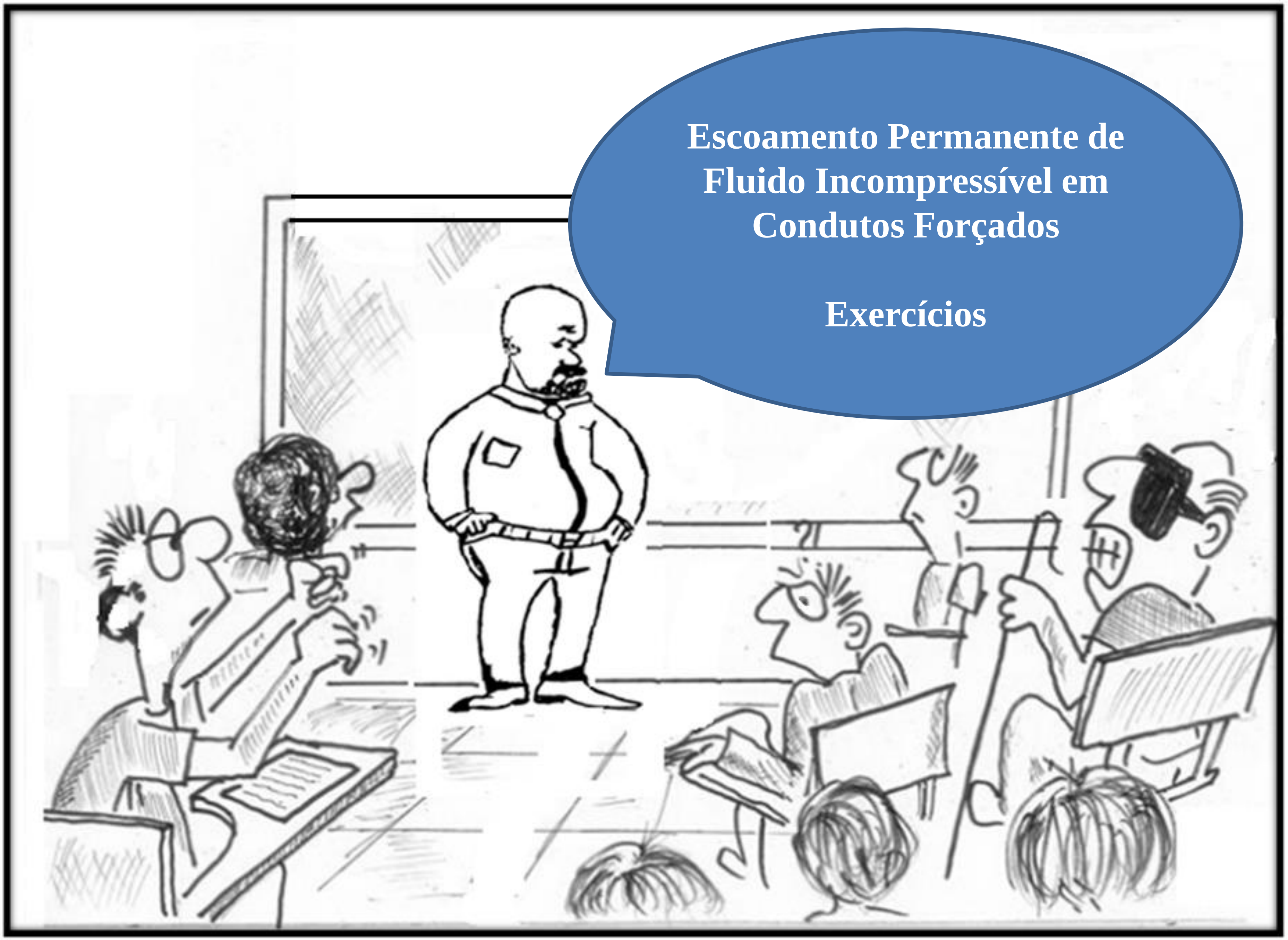
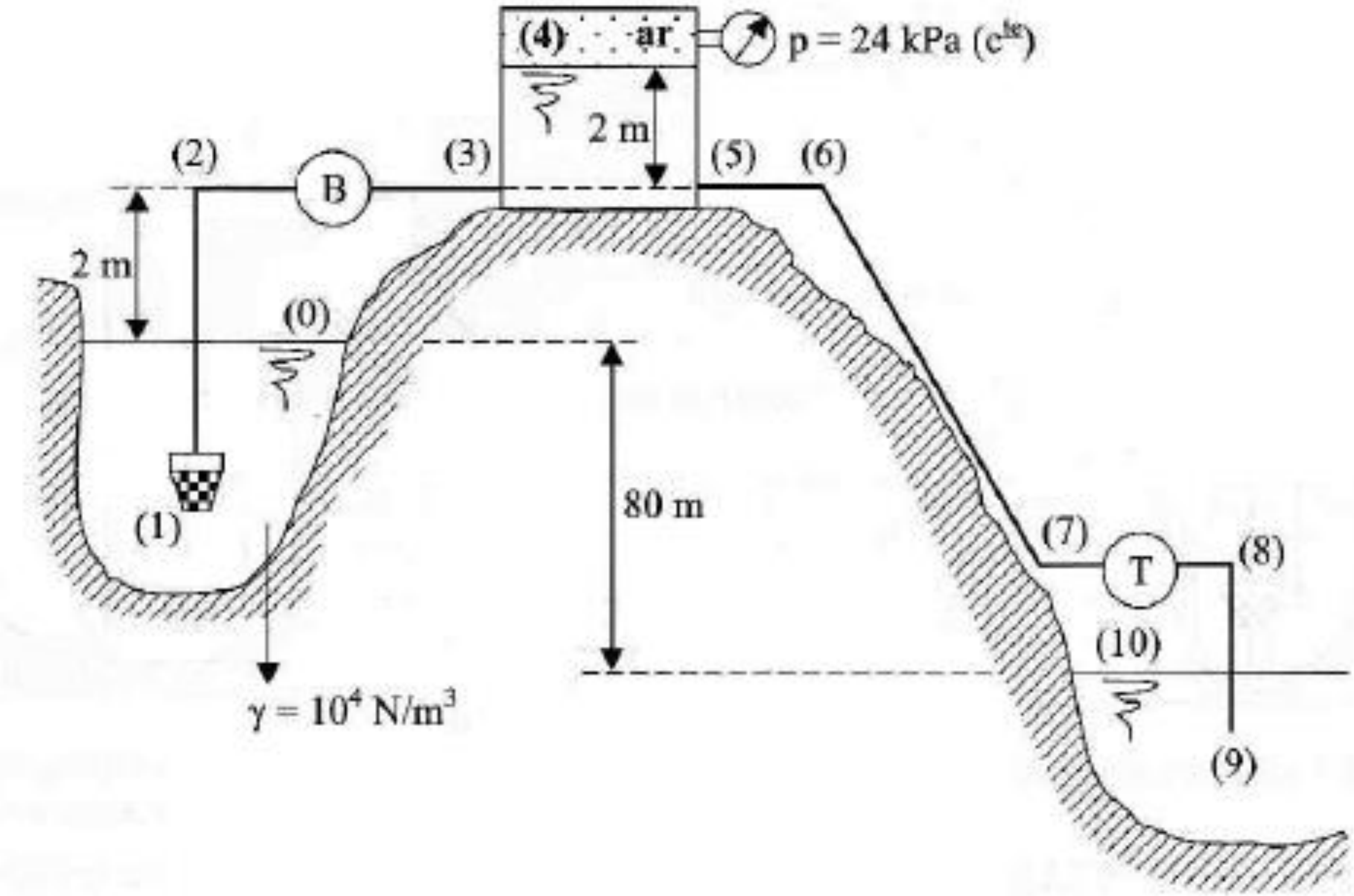

Escoamento Permanente de Fluido Incompressível em Condutos Forçados
Exercícios

7.5 Um motor elétrico fornece 3 kW à bomba da instalação da figura que tem um rendimento de 80%. Sendo dados:

a) as tubulações são de mesma seção, cujo diâmetro é de 5 cm e de mesmo material;
b) $k_{s_1} = 10; k_{s_2} = k_{s_8} = 1{,}0; k_{s_3} = k_{s_5} = k_{s_6} = k_{s_7} = k_{s_9} = 0{,}5;$
c) a vazão em volume na instalação é de 10 L/s;
d) o comprimento (real) de (1) a (3) é de 10 m e, de (5) a (9), de 100 m.

Determinar:

a) a perda de carga entre (0) e (4) (total);
b) o coeficiente de perda de carga distribuída;
c) a perda de carga entre (4) e (10) (total);
d) a potência da turbina, sabendo que seu rendimento é de 90%;
e) o comprimento equivalente das singularidades da instalação.


(4)
ar
p = 24 kPa (cte)
2 m
(2)
B
(3)
(5)
(6)
2 m
(0)
80 m
(1)
(7)
T
(8)
(10)
(9)
γ = 10⁴ N/m³

Exercício 7.5

a) $$H_0 + H_B = H_4 + H_{p_{0,4}}$$

$$H_B = \frac{p_4}{\gamma} + z_4 + H_{p_{0,4}}$$

$$N_B = \frac{\gamma Q H_B}{\eta_B} \rightarrow H_B = \frac{\eta_B N_B}{\gamma Q} = \frac{0{,}8 \times 3 \times 10^3}{10^4 \times 10 \times 10^{-3}} = 24\,\text{m}$$

$$H_{p_{0,4}} = H_B - \frac{p_4}{\gamma} - z_4 = 24 - \frac{24 \times 10^3}{10^4} - 4 = 17{,}6\,\text{m}$$

b) $$H_{p_{0,4}} 1{,}2 = h_{f\,1,3} + \sum_1^3 h_s \rightarrow h_f = H_{p_{0,4}} - \sum h_s$$

$$\sum h_s = \sum k_s \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 10 \times 10^{-3}}{\pi \times 0{,}05^2} = 5{,}1\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\sum h_s = \left(k_{s_1} + k_{s_2} + k_{s_3}\right)\frac{v^2}{2g} = 11{,}5 \times \frac{5{,}1^2}{20} = 15\,m$$

$$h_{f_{1,3}} = 17{,}6 - 15 = 2{,}6\,m$$

$$h_{f_{1,3}} = f\frac{L_{1,3}}{D}\frac{v^2}{2g} \quad \rightarrow \quad f = \frac{2gDh_{f_{1,3}}}{L_{1,3}v^2} = \frac{2 \times 10 \times 0{,}05 \times 2{,}6}{10 \times 5{,}1^2} = 0{,}01$$

c) Como as tubulações têm o mesmo diâmetro e o mesmo material, e o fluido é o mesmo, tem-se o mesmo f.

$$H_{p_{4,10}} = h_{f_{5,9}} + \sum_5^9 h_s = \left(f\frac{L_{5,9}}{D} + \sum_5^9 k_s\right)\frac{v^2}{2g}$$

$$H_{p_{4,10}} = \left(0{,}01 \times \frac{100}{0{,}05} + 3\right)\frac{5{,}1^2}{20} = 29{,}9\,m$$

d) $H_4 - H_T = H_{10} + H_{p_{4,10}}$

$$\frac{p_4}{\gamma} + z_4 - H_T = H_{p_{4,10}}$$

$$H_T = \frac{24 \times 10^3}{10^4} + 84 - 29{,}9 = 56{,}5m$$

$$N_T = \gamma Q H_T \eta_T = 10^4 \times 10 \times 10^{-3} \times 56{,}5 \times 0{,}9 \times \frac{1}{1000} = 5{,}1\,kW$$

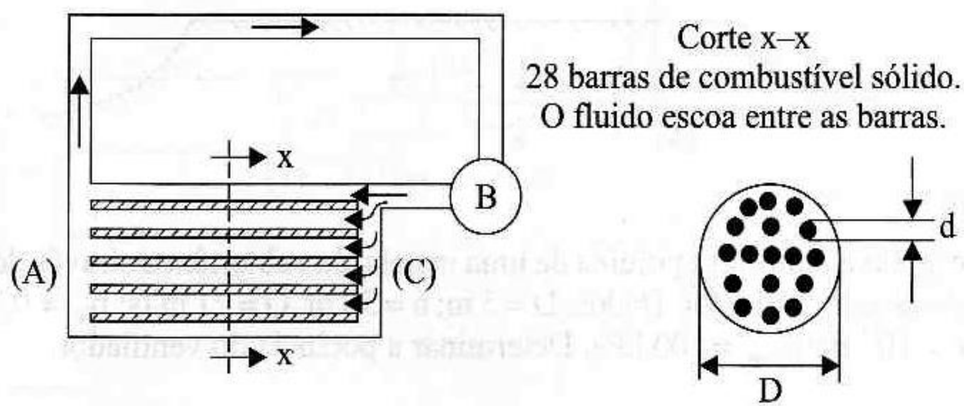
A vazão é considerada a mesma, pois para $p_4 = c^{te}$ é necessário que o nível se mantenha constante.

$$\text{e)}\quad h_{f_{eq}} = f\frac{L_{eq}}{D}\frac{v^2}{2g} = k_s\frac{v^2}{2g}$$

$$\sum L_{eq} = \frac{D}{f}\sum k_s = \frac{0,05}{0,01}(10 + 2\times 1 + 5\times 5) = 72,5\ \text{m}$$

7.7 Entre A e B do circuito hidráulico da figura está um conjunto de elementos combustíveis usado em reatores nucleares. Desprezam-se as perdas no resto do circuito e são dados: $N_B = 18$ kW; $\eta_B = 0,75$; $H_{p_{C,A}} = 135$ m; $D = 10$ cm; $\nu = 10^{-7}$ m²/s; $L_{CA} = 24$ m; $d = 1,5$ cm; $\gamma = 10^4$ N/m³.

Calcular a rugosidade equivalente k dos materiais de que são feitos os tubos externos e internos.



Resp.: $k = 2,8 \times 10^{-4}$ m

Como no resto do circuito a perda de carga é desprezível:

$$H_B = H_{p_{C,A}} = 135\,m$$

$$N_B = \frac{\gamma Q H_B}{\eta_B} \quad \rightarrow \quad Q = \frac{\eta_B N_B}{\gamma H_B} = \frac{0{,}75 \times 18 \times 10^3}{10^4 \times 135} = 0{,}01\,\frac{m^3}{s}$$

A velocidade média no trecho CA será:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} - 28\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - 28d^2\right) = \frac{\pi}{4}\left(0{,}1^2 - 28 \times 0{,}015^2\right) = 2{,}91 \times 10^{-3}\,m^2$$

$$v = \frac{0{,}01}{2{,}91 \times 10^{-3}} = 3{,}44\,\frac{m}{s}$$

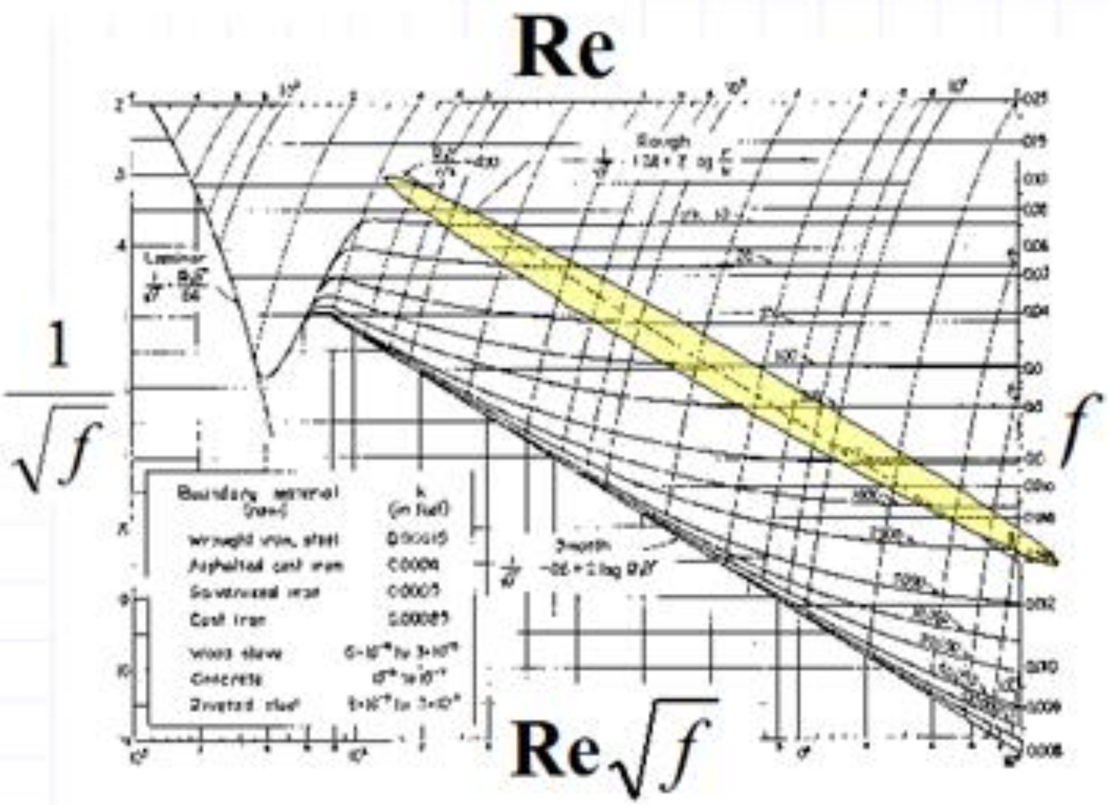
Imaginando um tubo equivalente de C até A:

$$D_H = \frac{4A}{\sigma} = \frac{4A}{\pi D + 28\pi d} = \frac{4 \times 2{,}91 \times 10^{-3}}{\pi(0{,}1 + 28 \times 0{,}015)} = 7{,}1 \times 10^{-3}\,m$$

$$h_f = f\,\frac{L}{D_H}\frac{v^2}{2g} \quad \rightarrow \quad f = \frac{2gD_H h_f}{L_{C,A} v^2} \quad \rightarrow \quad f = \frac{20 \times 7{,}1 \times 10^{-3} \times 135}{24 \times 3{,}44} = 0{,}0675$$

$$Re = \frac{vD_H}{\nu} = \frac{3{,}44 \times 7{,}1 \times 10^{-3}}{10^{-7}} = 2{,}44 \times 10^5$$

Hunter Rouse, 1942



Rouse

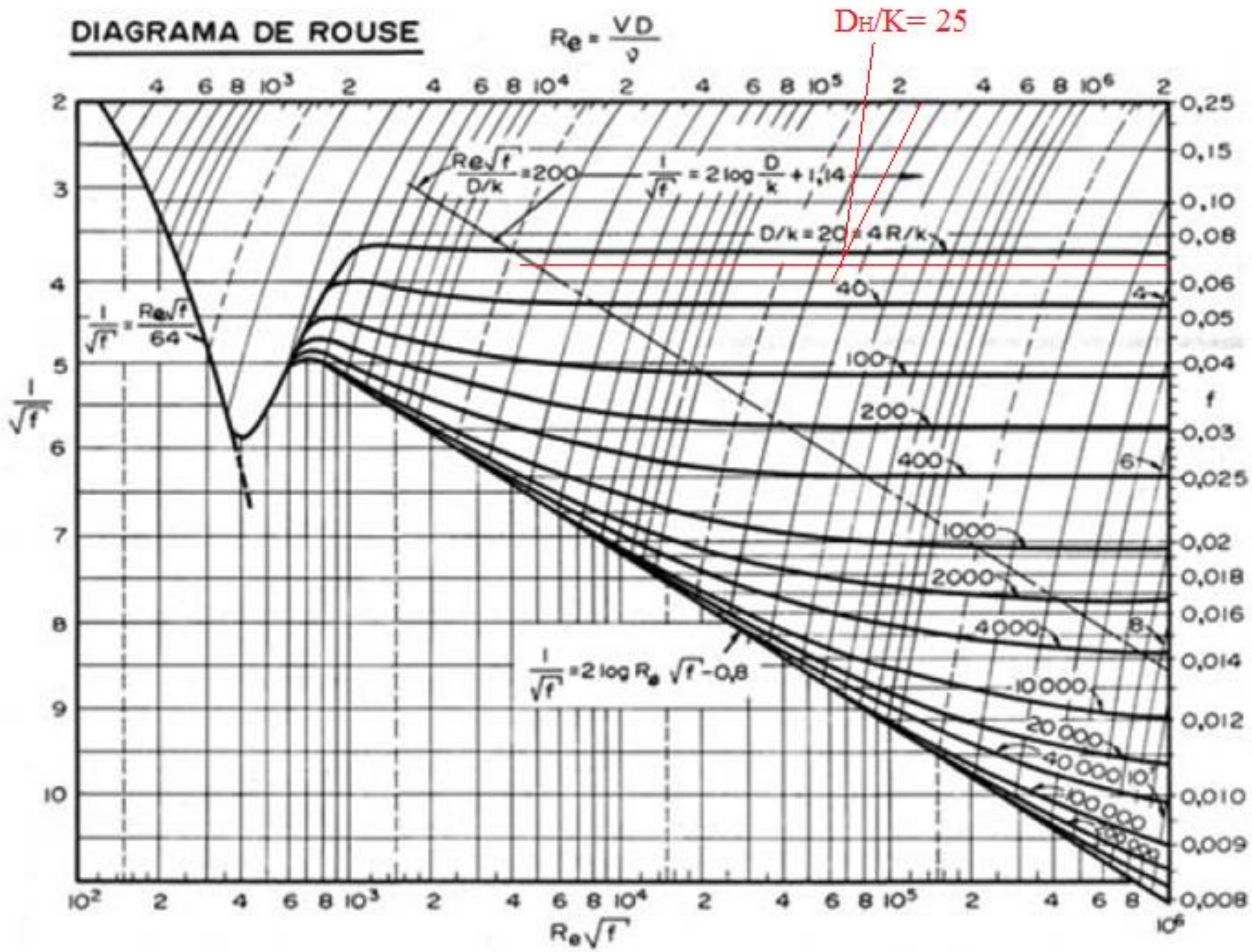
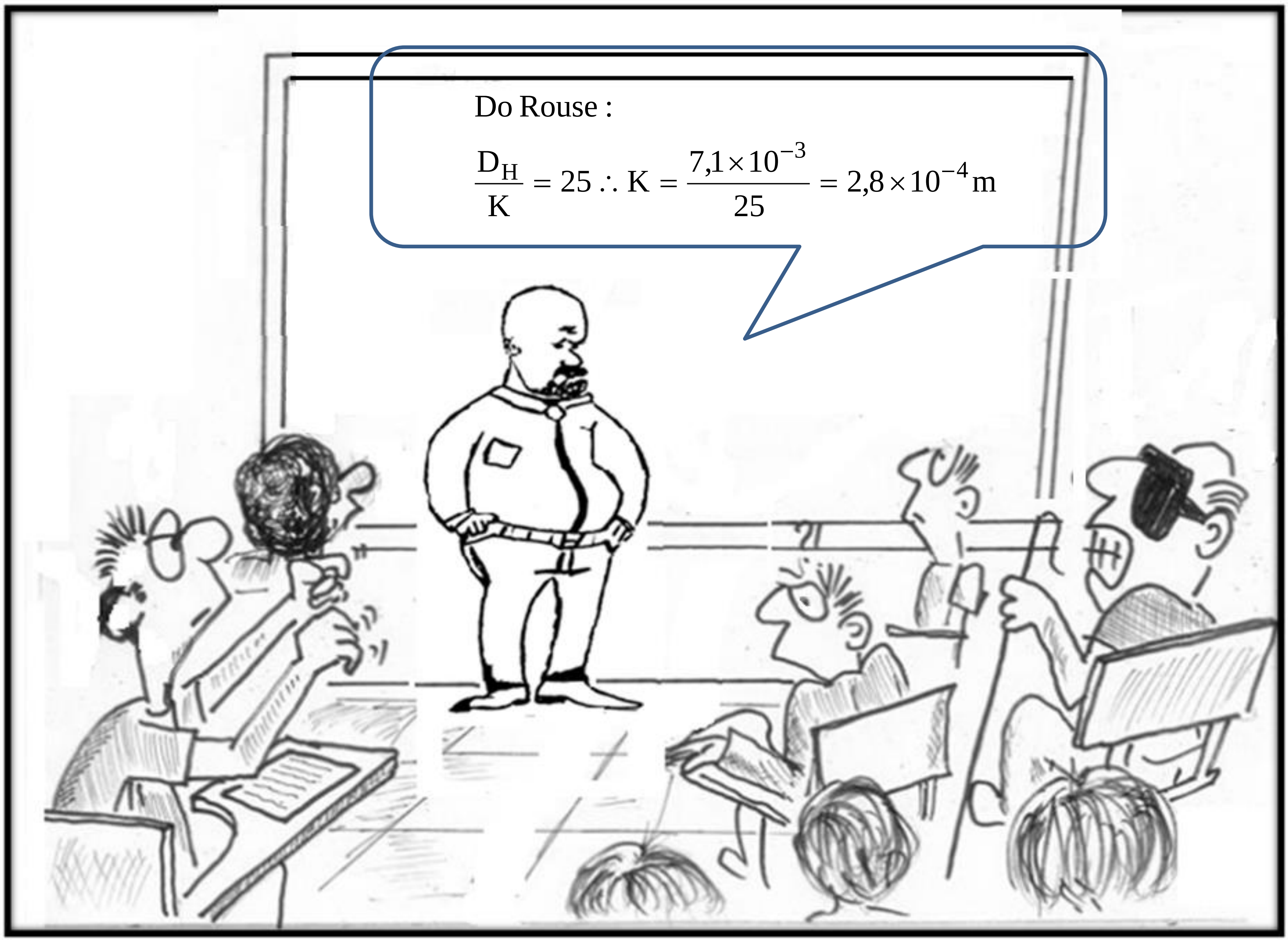
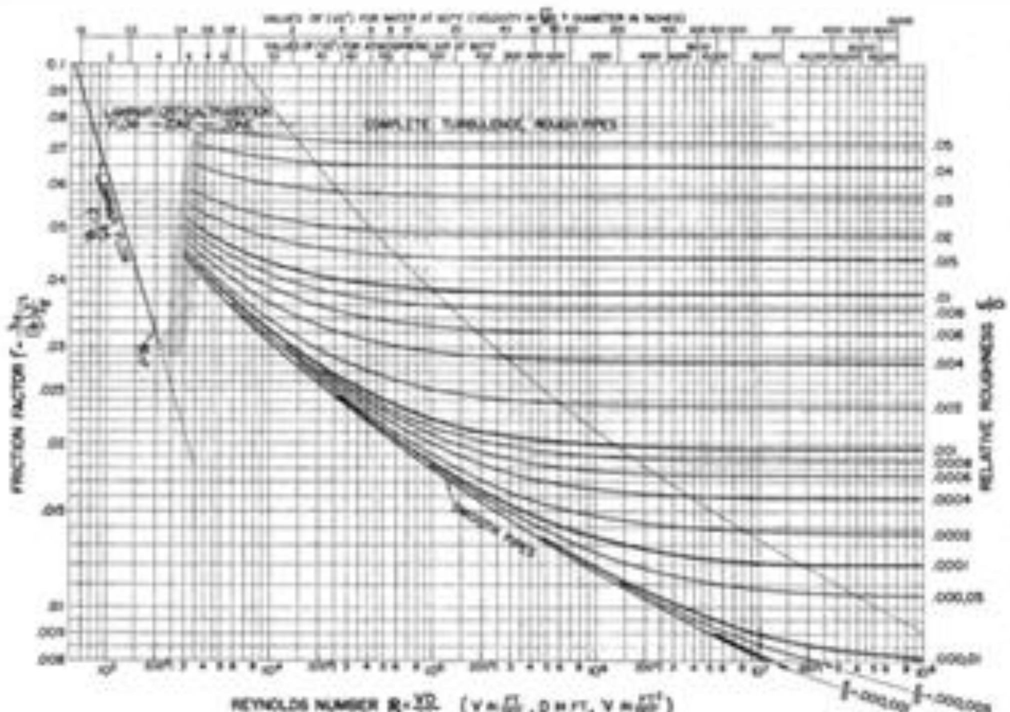


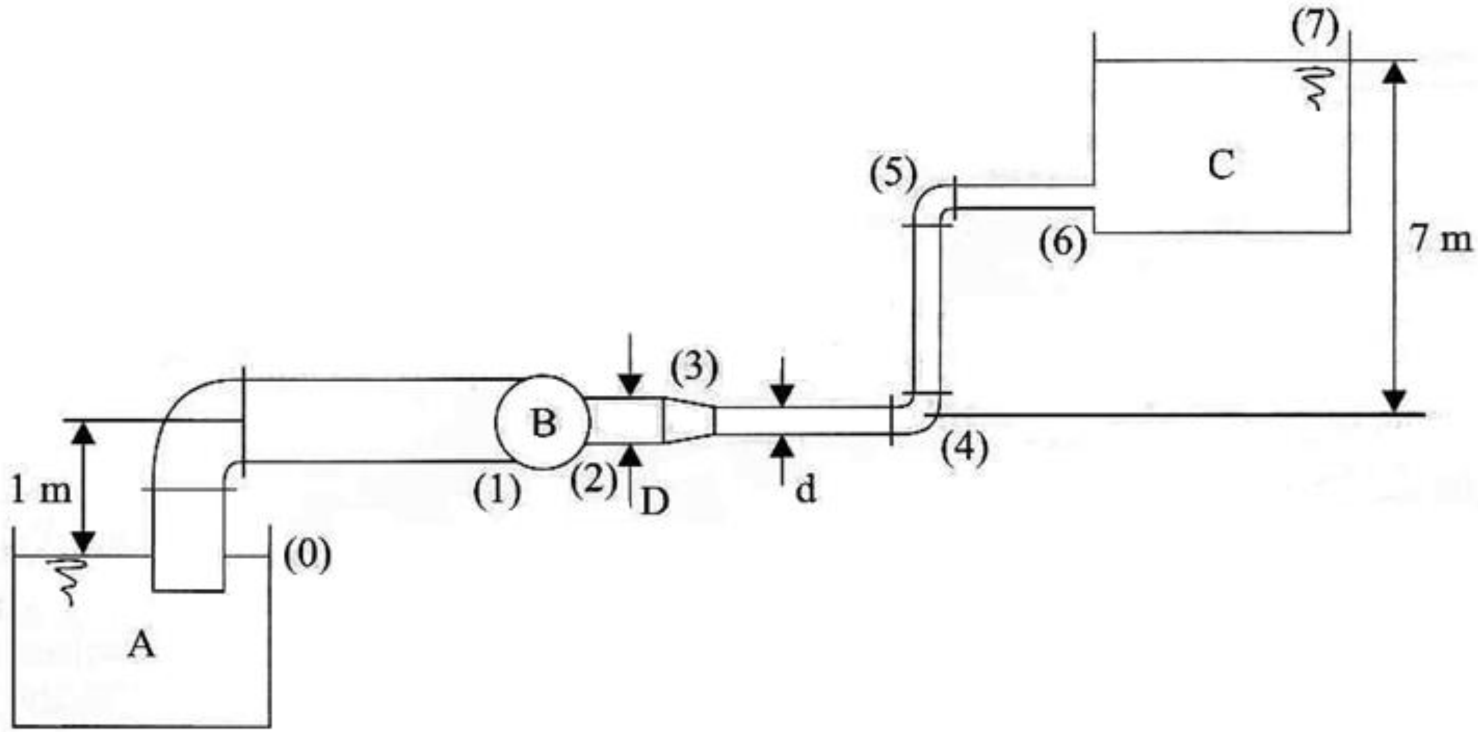
DIAGRAMA DE ROUSE
$R_e = \frac{VD}{\nu}$
DH/K= 25
$\frac{Re\sqrt{f}}{D/k} = 200$
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{k} + 1,14$
D/k = 20 = 4 R/k
$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{Re\sqrt{f}}{64}$
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log R_e \sqrt{f} - 0,8$
$\frac{1}{\sqrt{f}}$
f
$R_e\sqrt{f}$
40
100
200
400
1000
2000
4000
10 000
20 000
40 000
100 000


Do Rouse :
$\frac{D_H}{K} = 25 \therefore K = \frac{7{,}1\times10^{-3}}{25} = 2{,}8\times10^{-4}\,m$

Lewis Moody, 1944



7.13 A instalação da figura será utilizada para o transporte de 12 L/s de água do reservatório A para o reservatório C, ambos mantidos em nível constante. A bomba será adquirida do fabricante X, que produz bombas de potência nominal: 0,5 CV; 1 CV; 1,5 CV; 2 CV; 3 CV; 4 CV; 5 CV, todas com rendimento de 82%. Dados: $D = 10$ cm; $d = 8$ cm; $k = 5 \times 10^{-5}$ m; $\gamma = 10^4$ N/m^3; $\nu = 10^{-6}$ m^2/s; $k_{s_3} = 0{,}1$; $k_{s_4} = k_{s_5} = 0{,}5$; $k_{s_6} = 1$; $L_{2,3} = 4$ m; $L_{3,6} = 15$ m; $g = 10$ m/s^2. Desprezam-se as perdas entre as seções (0) e (1). Selecionar a bomba apropriada.



Exercício 7.13

$$H_0 + H_B = H_7 + H_{p_{0,7}}$$

$$\frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 + H_B = \frac{\alpha_7 v_7^2}{2g} + \frac{p_7}{\gamma} + z_7 + H_{p_{0,7}}$$

$$H_B = z_7 + H_{p_{0,7}} = 8 + H_{p_{0,7}}$$

$$H_{p_{0,7}} = H_{p_{0,1}} + H_{p_{2,3}} + H_{p_{3,7}} = H_{p_{2,3}} + H_{p_{3,7}}$$

$$H_{p_{0,7}} = f_{2,3}\frac{L_{2,3}}{D}\frac{v_{2,3}^2}{2g} + f_{3,7}\frac{L_{3,7}}{d}\frac{v_{3,7}^2}{2g} + k_{s_3}\frac{v_{3,7}^2}{2g} + k_{s_4}\frac{v_{3,7}^2}{2g} + k_{s_5}\frac{v_{3,7}^2}{2g} + k_{s_6}\frac{v_{3,7}^2}{2g}$$

$$H_{p_{0,7}} = f_{2,3}\frac{L_{2,3}}{D}\frac{v_{2,3}^2}{2g} + \left(f_{2,3}\frac{L_{3,7}}{d} + k_{s_3} + k_{s_4} + k_{s_5} + k_{s_6}\right)\frac{v_{3,7}^2}{2g}$$

$$v_{2,3} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4\times 12\times 10^{-3}}{\pi\times 0{,}1^2} = 1{,}53\frac{m}{s}$$

$$v_{3,7} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4\times 12\times 10^{-3}}{\pi\times 0{,}08^2} = 2{,}39\frac{m}{s}$$

$$Re_{2,3} = \frac{v_{2,3}D}{\nu} = \frac{1{,}53\times 0{,}1}{10^{-3}} = 1{,}53\times 10^5$$

$$f_{2,3} = 0{,}019$$

$$\frac{D}{k} = \frac{0{,}1}{5\times 10^{-3}} = 2.000$$

$$Re_{3,6} = \frac{v_{3,6} d}{\nu} = \frac{2{,}39 \times 0{,}08}{10^{-6}} = 1{,}91 \times 10^{5} \qquad f_{3,6} = 0{,}0195$$

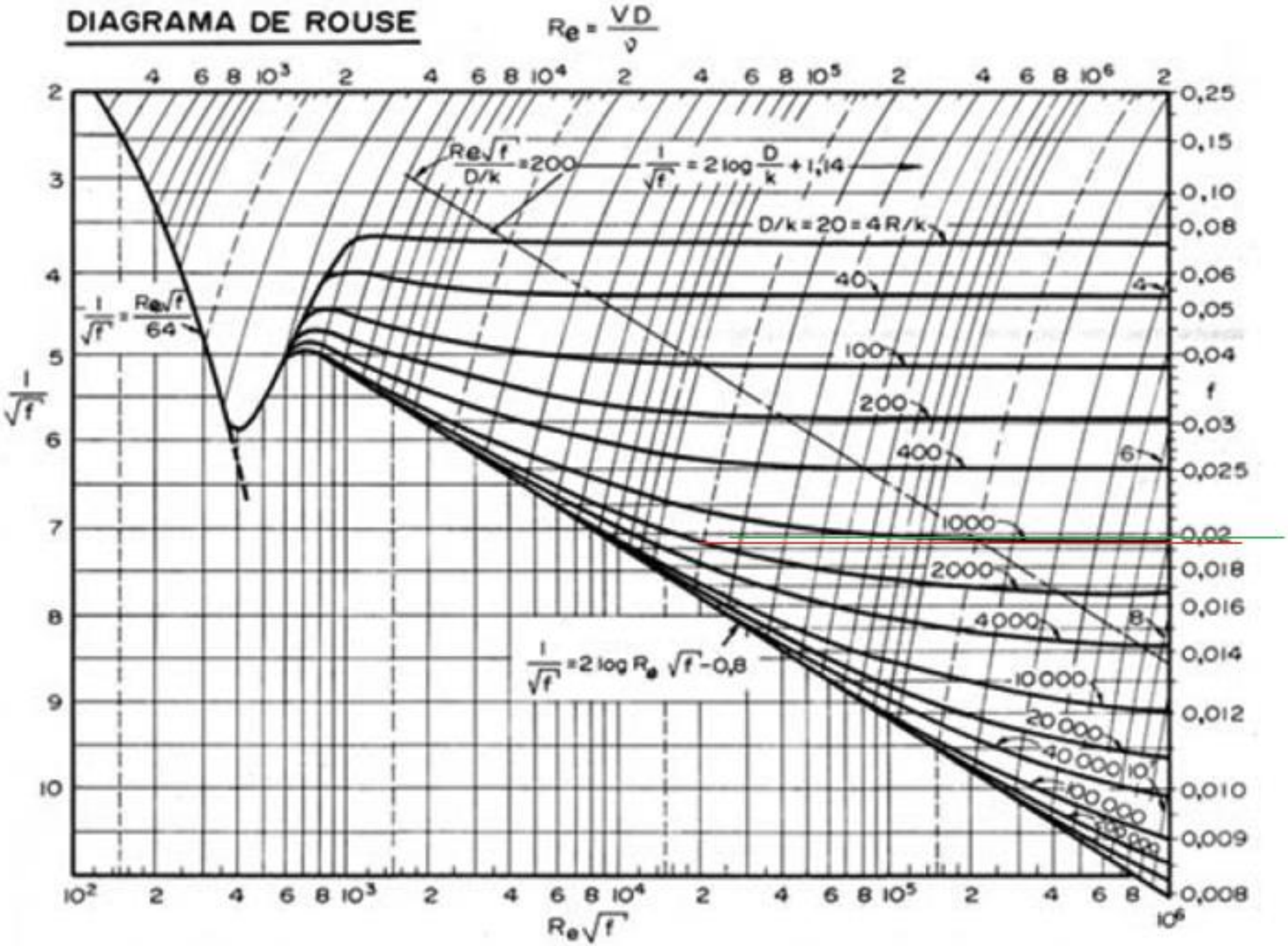
$$\frac{d}{k} = \frac{0{,}08}{5 \times 10^{-5}} = 1.600$$

$$H_{p_{0,7}} = 0{,}019 \times \frac{4}{0{,}1} \times \frac{1{,}53^2}{20} + \left(0{,}0195 \frac{15}{0{,}08} + 0{,}1 + 0{,}5 + 0{,}5 + 1\right) \frac{2{,}39^2}{20} = 1{,}73\,\text{m}$$

$$H_B = 8 + 1{,}73 = 9{,}73\,\text{m}$$

$$N_B = \frac{\gamma Q H_B}{75 \eta_B} = \frac{1.000 \times 12 \times 10^{-3} \times 9{,}73}{75 \times 0{,}82} = 1{,}9\ \text{CV} \quad \Rightarrow \quad 2\,\text{CV}$$

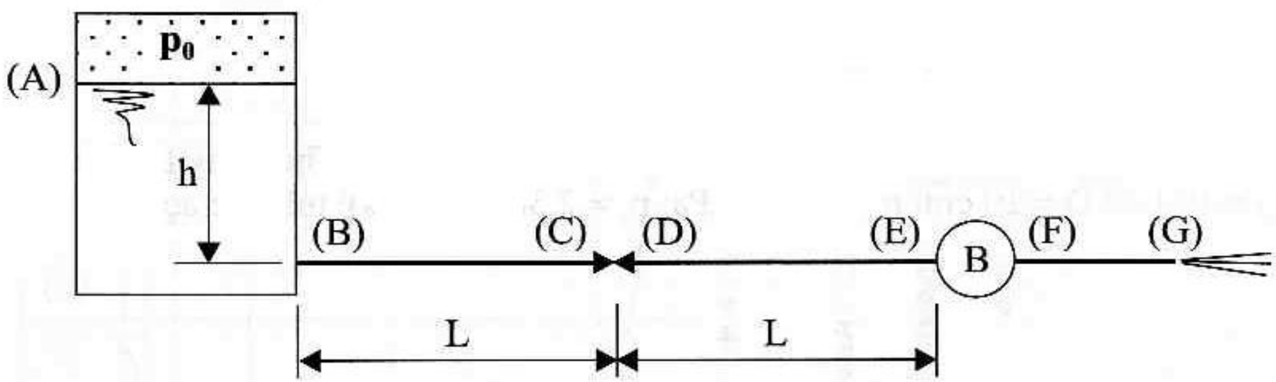
DIAGRAMA DE ROUSE



7.15 Dada a instalação da figura, determinar a pressão p_0 para que a vazão seja 6 L/s.

Dados: $D = 5$ cm; $L = 50$ m; $f = 0{,}02$; $k_{s_B} = 0{,}5$; $k_{s_{CD}} = 0{,}5$; $h = 2$ m; $p_E = -50$ kPa; $\nu = 10^{-6}$ m^2/s;

$N_B = 0{,}75$ kW; $\gamma = 10^4$ N/m^3; $\eta_B = 100\%$.



Resp.: $p_0 = 126$ kPa

Exercício 7.15

$$H_0 = H_E + H_{p_{0,E}}$$

$$\frac{p_0}{\gamma} + h = \frac{\alpha_E v_E^2}{2g} + \frac{p_E}{\gamma} + \left(f\frac{L_{B,E}}{D} + k_{s_B} + k_{s_{C,D}} \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$v_E = v = \frac{4Q}{\pi D^2} \frac{4 \times 6 \times 10^{-3}}{\pi \times 0{,}05^2} = 3{,}06 \frac{m}{s}$$

$$\frac{p_0}{\gamma} = \frac{3{,}06^2}{20} + \frac{-50 \times 10^{-3}}{10^4} + \left(0{,}02 \times \frac{2 \times 50}{0{,}05} + 0{,}5 + 0{,}5 \right) \frac{3{,}06^2}{20} - 2 = 12{,}6\,m$$

$$p_0 = 12{,}6 \times 10^4 \times \frac{1}{1.000} = 126\,kPa$$