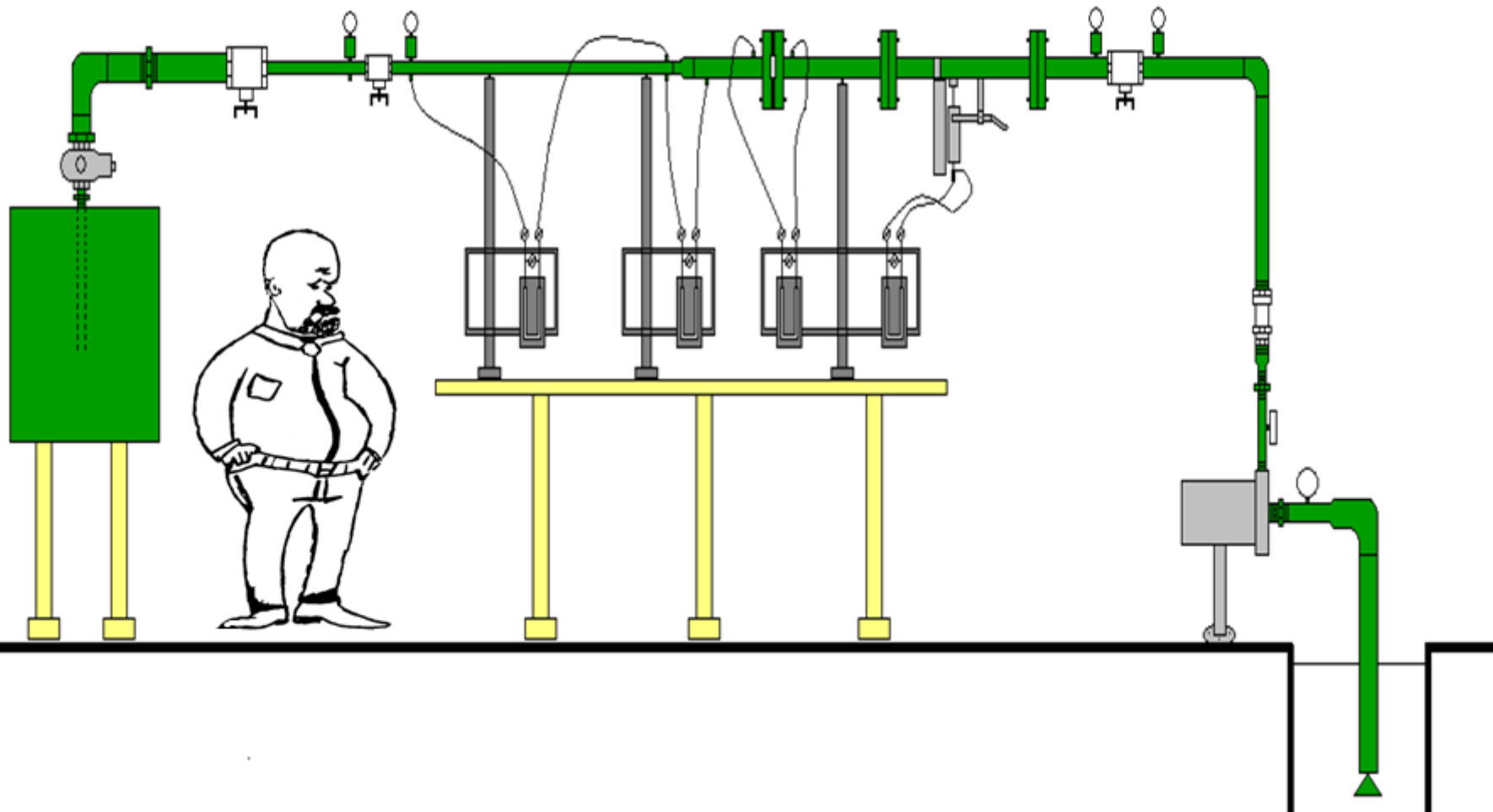


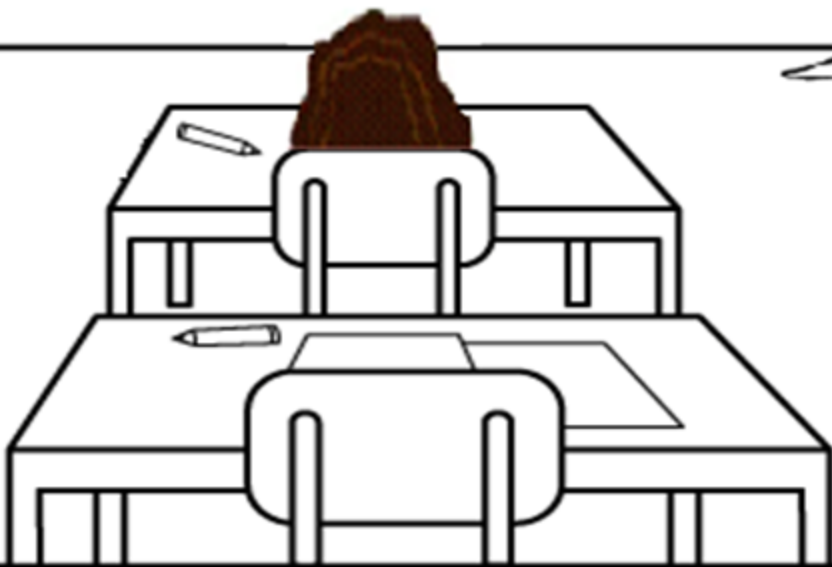
# Aula 1 de laboratório de ME5330

Segundo semestre de 2012

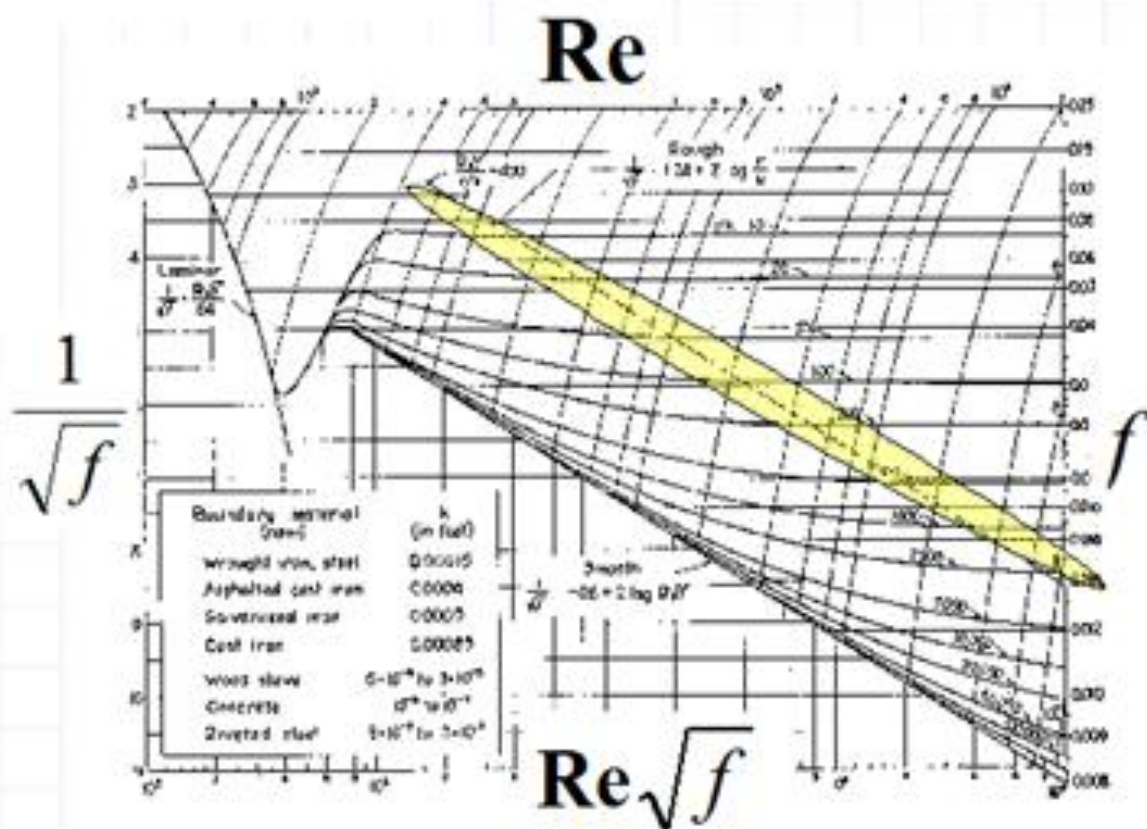
Nesta primeira aula de laboratório, além de resolver o exercício proposto na aula de teoria e mostrar a diferença entre o diagrama de Moody e o diagrama de Rouse que será utilizado como medidor de vazão, estaremos determinando experimentalmente o comprimento equivalente das válvulas globo de 2", 1,5" e 1".



As diferenças entre os diagramas de Moody e Rouse são visíveis como mostram os próximos slides.



# Hunter Rouse, 1942



$$R = \frac{VD}{v} = 4 \frac{VR}{v}$$

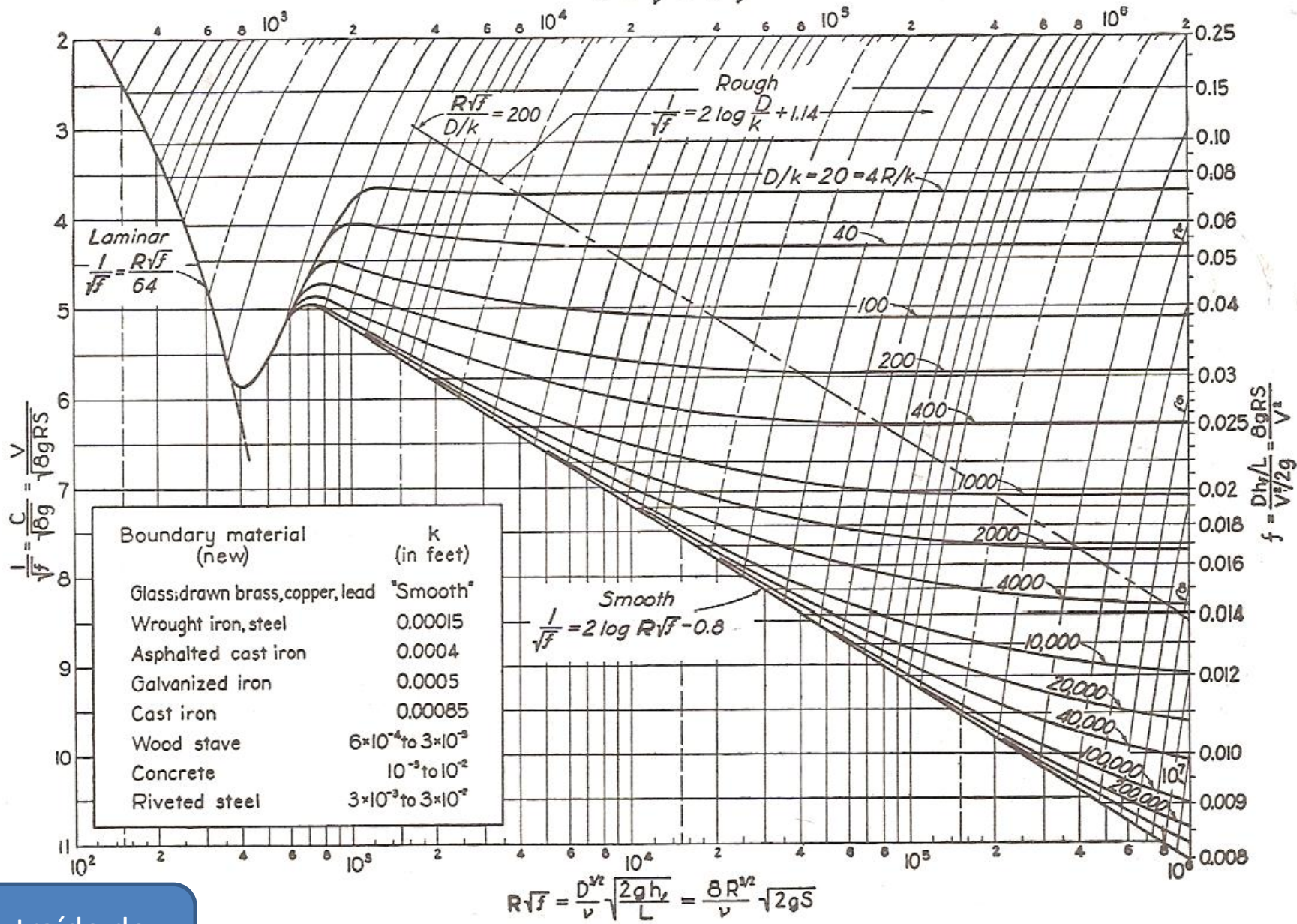
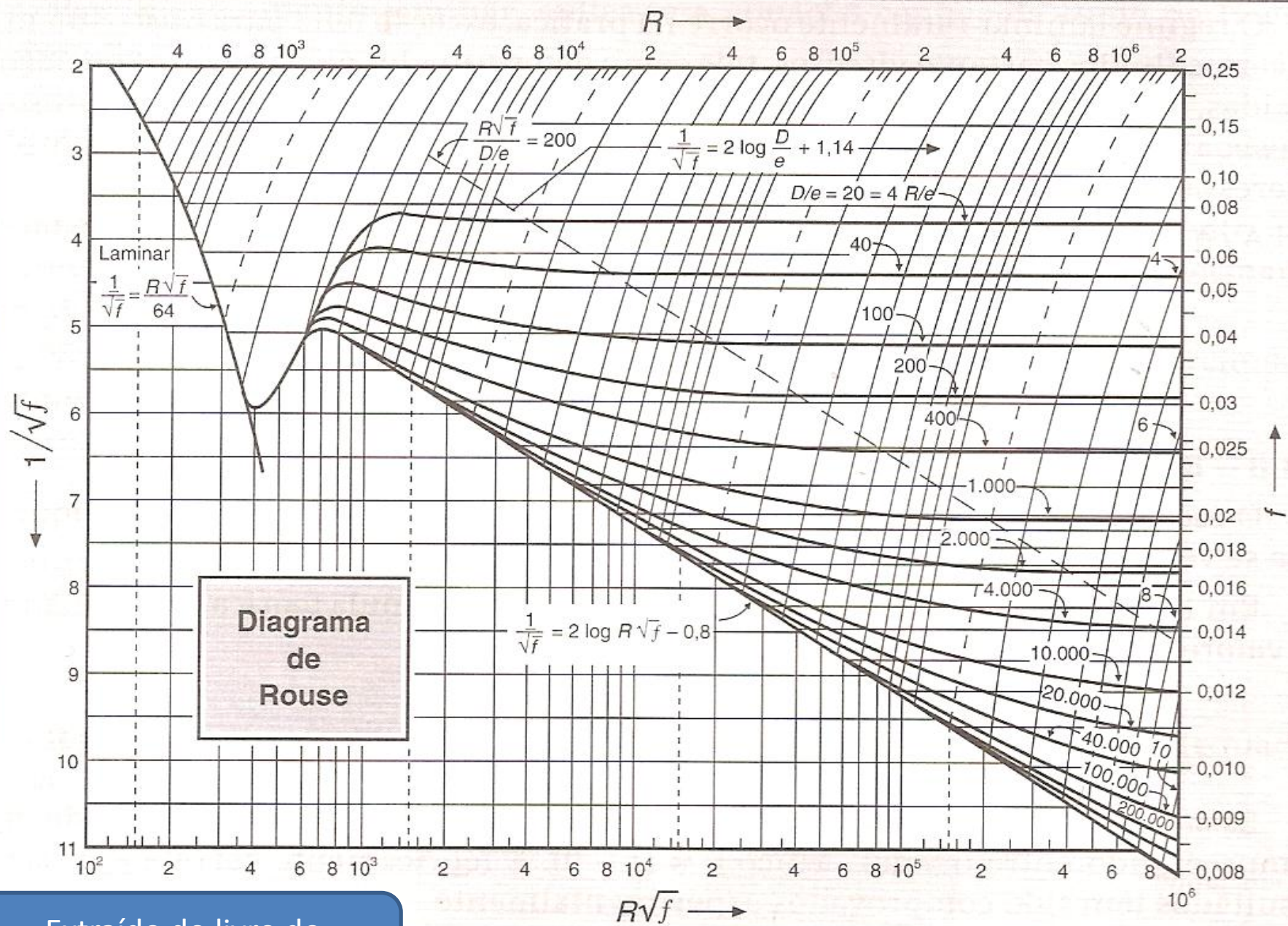


FIG. 111. General resistance diagram for uniform flow in conduits.

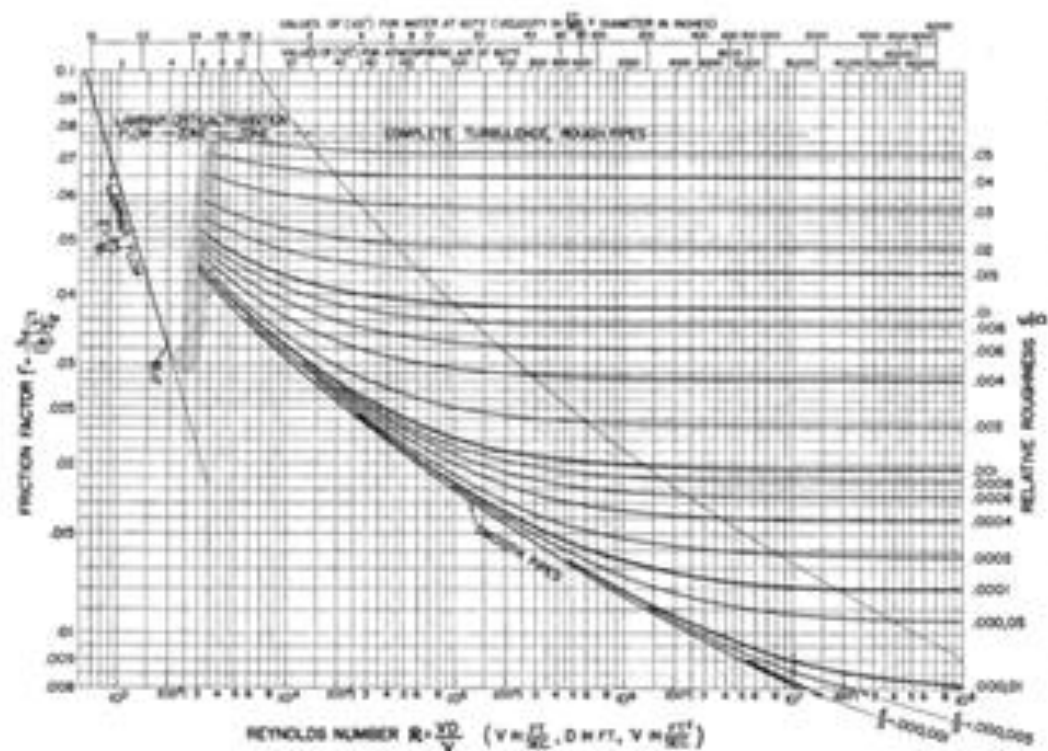
Extraído do livro do Rouse

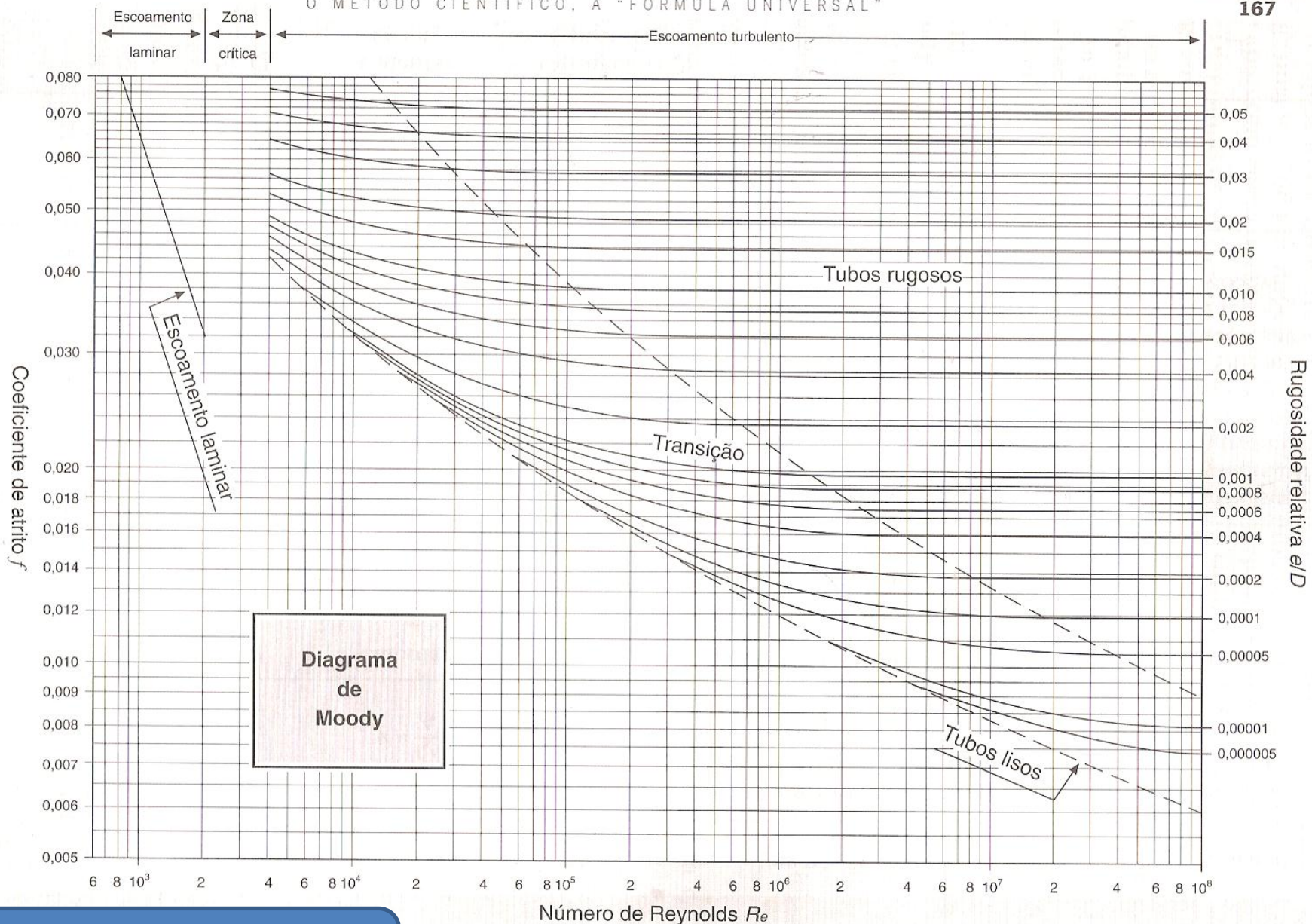


Extraído do livro do  
Azevedo Netto

Figura 8.8 - Diagrama de Rouse

# Lewis Moody, 1944





Extraído do livro do  
Azevedo Netto

Figura 8.9 - Diagrama de Moody



# Resolução do exercício proposto na aula de teoria.

Proponho o exercício a seguir, que deverá ser resolvido e entregue ao final da primeira aula de laboratório, exercício extraído do livro: OPERAÇÕES UNITÁRIAS – VOLUME II – FLUIDOS NA INDÚSTRIA escrito pelo professor Reynaldo Gomide.

**Exercício 1:** 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 e sem válvulas ou qualquer outro acessório hidráulico a salmoura circula a 1<sup>o</sup>C e pressão pouco acima da atmosférica. Um manômetro em U ligado em tomadas de pressão distantes 4,5 m uma da outra indica uma perda de carga de 5,9 cm de coluna de água a 20<sup>o</sup>C onde

$\rho_{\text{água}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Deseja-se conhecer a vazão da salmoura nestas condições.

**Dados:** propriedades da salmoura:

$$\rho_{\text{salmoura}} = 977,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ e } \mu_{\text{salmoura}} = 5,5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \times \text{s}$$

Trecho reto e sem  
válvulas ou qualquer  
outro acessório  
hidráulico!

Portanto:



$$\Delta p = 5,9 \text{ cmca} \therefore \Delta p = 5,9 \times 10^{-2} \times 998,2 \times 9,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$h_f = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{5,9 \times 10^{-2} \times 998,2 \times 9,8}{977,6 \times 9,8} \cong 0,0602 \text{ m}$$

$$\text{Re} \sqrt{f} = \frac{\rho \times D_H}{\mu} \times \sqrt{\frac{h_f \times D_H \times 2g}{L}} = \frac{977,6 \times 0,0206}{5,5 \times 10^{-3}} \times \sqrt{\frac{0,0602 \times 0,0206 \times 19,6}{4,5}}$$

$\text{Re} \sqrt{f} \cong 269,2 \Rightarrow$  deve ser considerado no diagrama de Rouse



Apresento a seguir três possibilidades de resposta já que eu considero o diagrama de Rouse no próprio livro de Rouse, no livro do professor Azevedo Netto e no livro do professor Franco, respectivamente.



$$R = \frac{VD}{\nu} = 4 \frac{VR}{\nu}$$

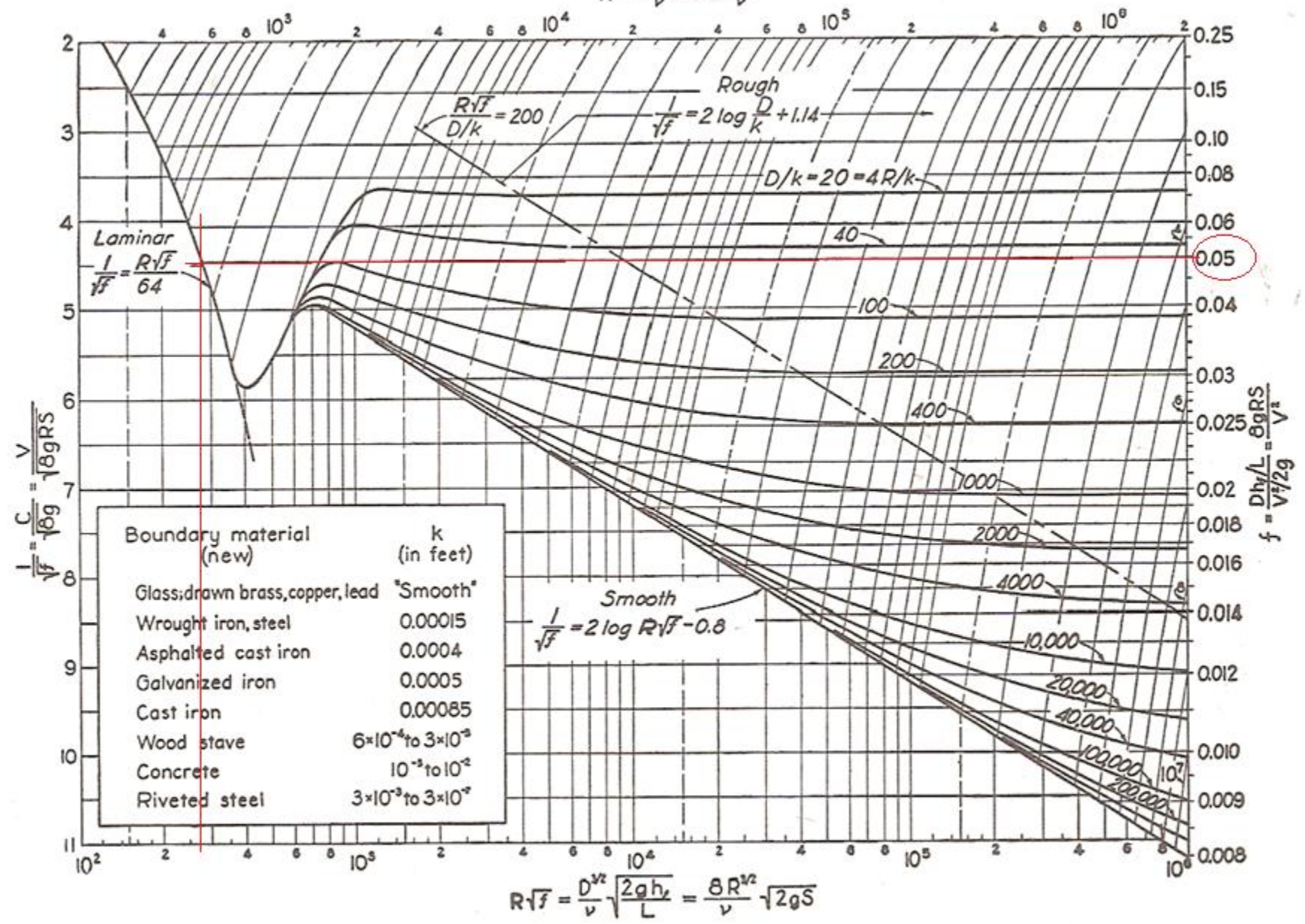


FIG. 111. General resistance diagram for uniform flow in conduits.

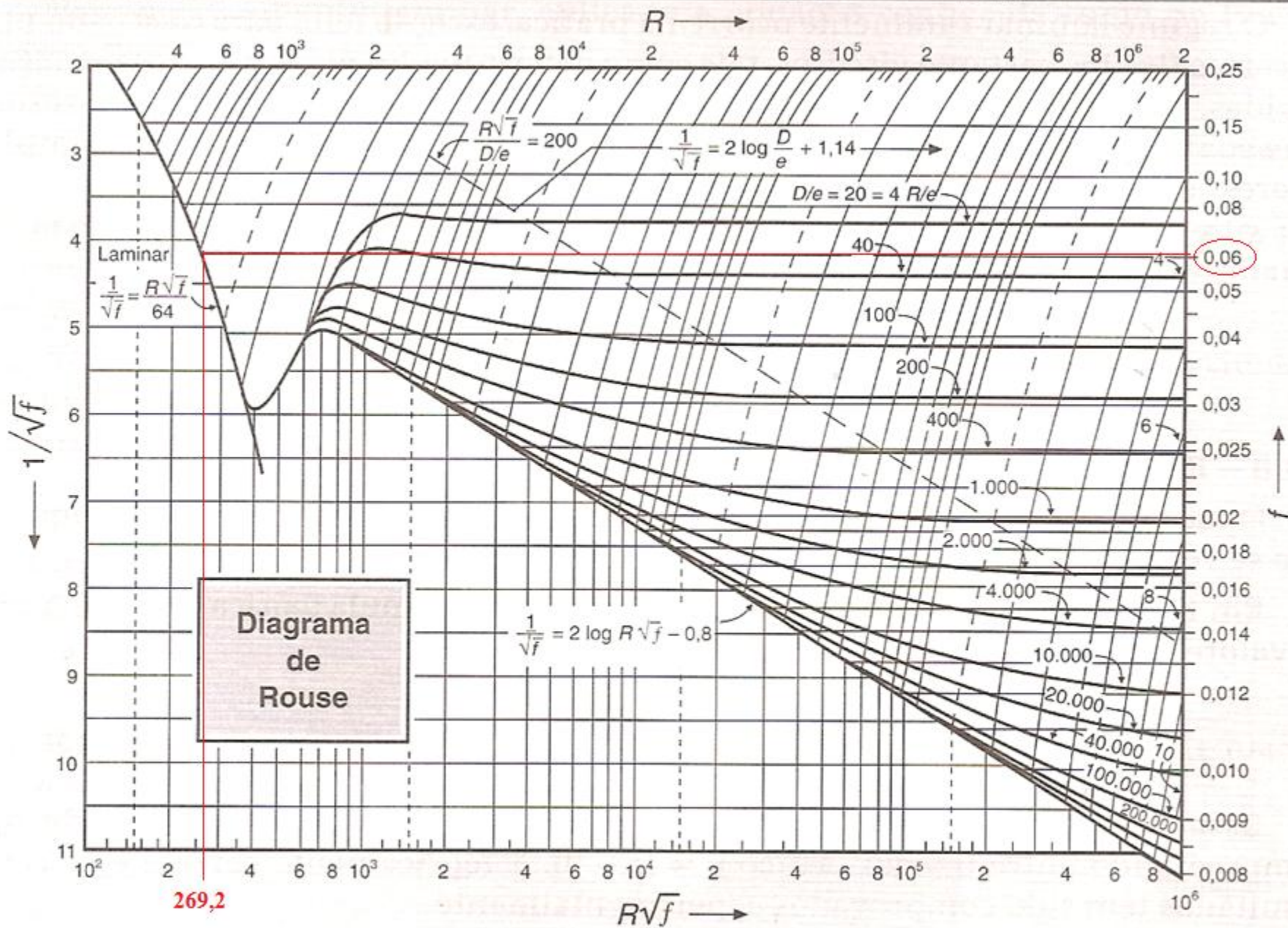
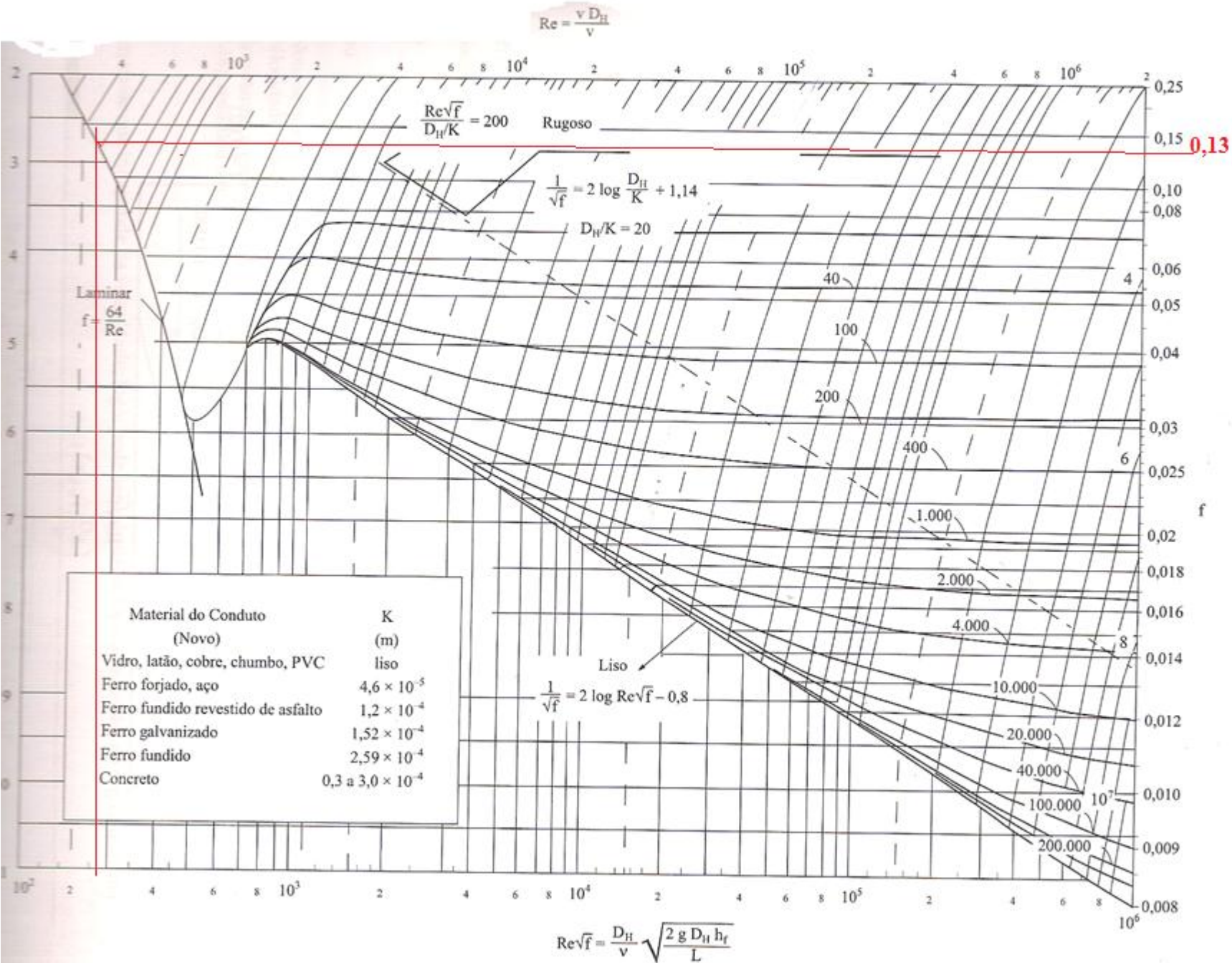


Figura 8.8 - Diagrama de Rouse



0,13

Procurei mostrar que é fundamental se mencionar a bibliografia consultada na solução de um problema, pois podemos ter respostas diferentes!

Eu vou apresentar a solução obtida através do livro do rouse, já que o diagrama é o seu!



Qual eu devo considerar?



$$f = 0,05 \Rightarrow 0,0602 = 0,05 \times \frac{4,5}{0,0206} \times \frac{v^2}{19,6}$$

$$\therefore v \cong 0,329 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

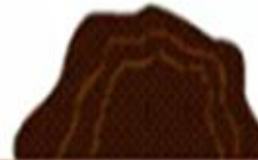
$$Q = v \times A = 0,329 \times \frac{\pi \times 0,0206^2}{4}$$

$$Q \cong 1,1 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cong 394,8 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$



Determinar através da bancada 9, para a uma dada vazão, o comprimento equivalente da válvula globo de 2", 1,5" e 1".

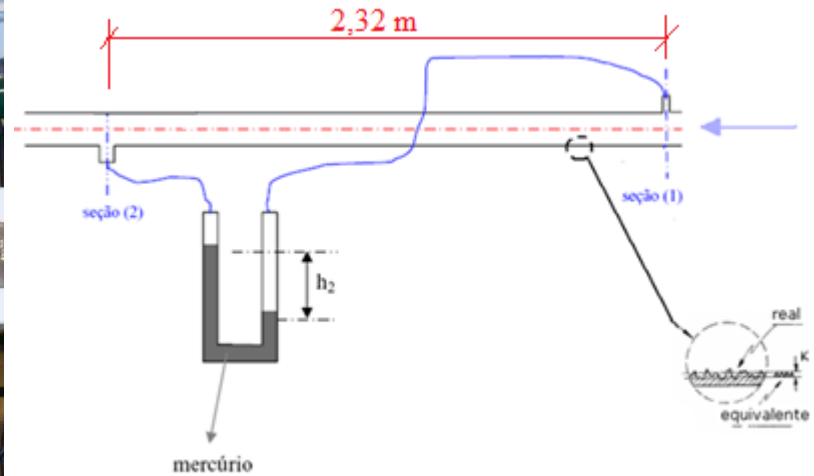
Portanto através esta primeira atividade tem como objetivos:



1. Determinar a vazão de forma direta.
2. Determinar a perda de carga distribuída experimentalmente.
3. Determinar experimentalmente o coeficiente de perda de carga distribuída “f”.
4. Determinar a perda de carga total.
5. Determinar experimentalmente a perda de carga singular ou localizada.
6. Determinar experimentalmente o coeficiente de perda de carga singular.
7. Determinar o comprimento equivalente das válvulas globo de 2”, 1,5” e 1”.
8. Provocar reflexões relacionadas aos cálculos das perdas de carga: distribuída e singular.



Trecho da bancada 9 onde determinamos a perda distribuída nos tubos de 2", 1,5" e 1". Tendo a perda e determinando a vazão, pode-se calcular o "f" experimental.



$$h_{f_{1-2}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

$$h_{f_{1-2}} = h \times \left( \frac{\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{H}_2\text{O}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \right)$$

# Exemplo de dados e cálculos realizados na determinação do comprimento equivalente da válvula globo de 2" na frequência de 60 Hz

Temperatura d'água :  $68^{\circ}\text{F}$

$$h_2 = 26\text{mm}$$

$$t_c = \frac{100}{180} \times (68 - 32) = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\therefore \rho_{\text{água}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow \rho_{\text{Hg}} = 13546 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{26 \times 10^{-3} \times (13546 - 998,2) \times 9,8}{998,2 \times 9,8}$$

$$\therefore h_f \cong 0,327\text{m} \rightarrow \frac{h_f}{L} = \frac{0,327}{2,32} \cong 0,141 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

## Determinação da vazão



Obtenção  
da  $Q$  pelo  
tanque



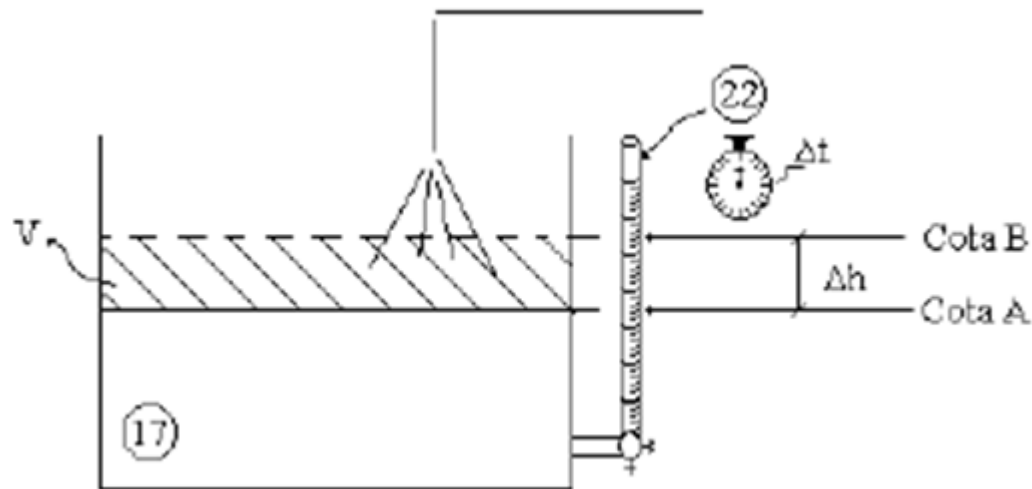
25 8 2004



2 6 2004

# Determinação da vazão de forma direta

$$Q = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t}$$





# Exemplo de dados e cálculos realizados na determinação do comprimento equivalente da válvula globo de 2" na frequência de 60 Hz

Temperatura d'água :  $68^{\circ}\text{F}$

$$h_2 = 26\text{mm}$$

$$t_c = \frac{100}{180} \times (68 - 32) = 20^{\circ}\text{C}$$

dimensões do reservatório superior :  $73,9 \times 73,9\text{cm}$

$$\Delta h = 10\text{cm} \rightarrow t = 15,15\text{s}$$

$$\therefore Q = \frac{10 \times 10^{-2} \times 0,739 \times 0,739}{15,15}$$

$$Q \cong 3,605 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

# Determinação experimental do coeficiente de perda de carga distribuída.

Após ter calculado a perda distribuída e a vazão, temos:



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

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

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

# Determinação experimental do coeficiente de perda de carga distribuída no tubo de 2" de aço com designação de espessura 40

$$2'' \rightarrow \text{esp.40} \Rightarrow D_{\text{int}} = 52,5\text{mm e } A = 21,7\text{cm}^2$$

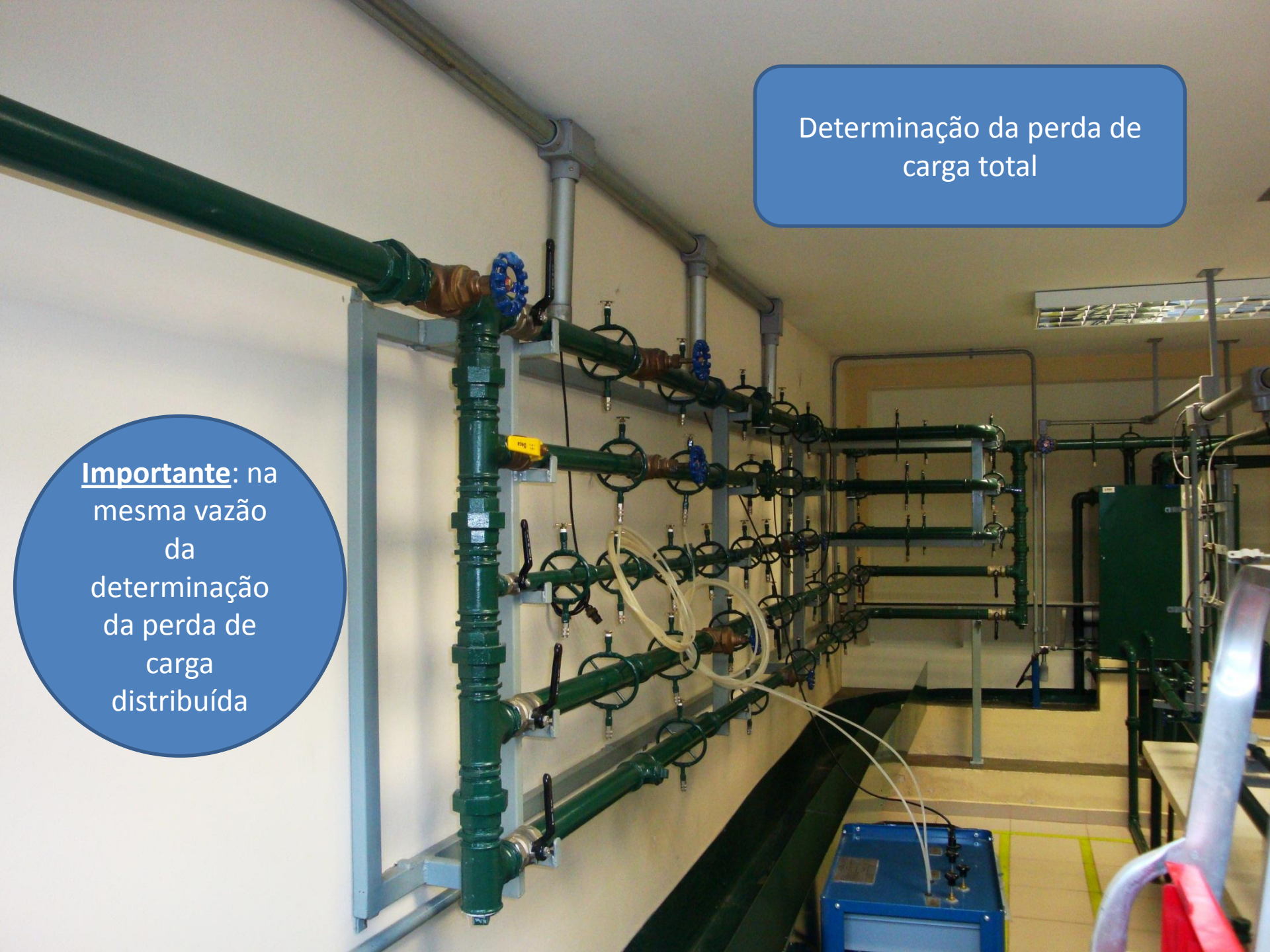
$$L = 232\text{cm}$$

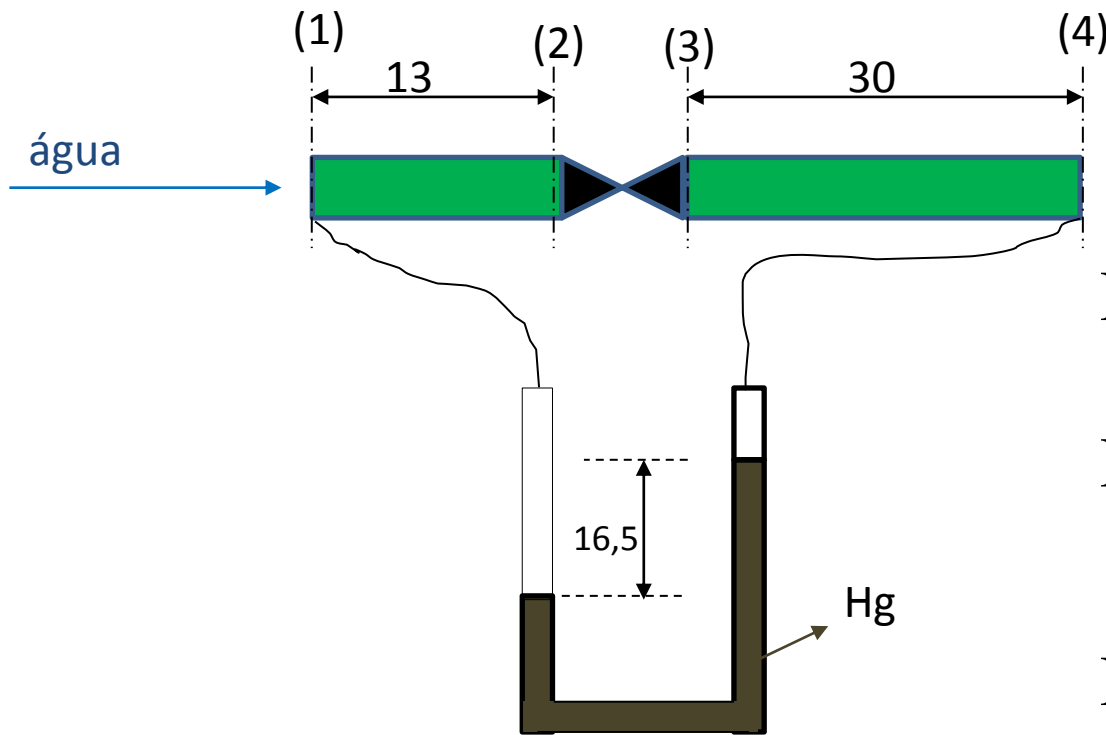
$$v = \frac{3,605 \times 10^{-3}}{21,7 \times 10^{-4}} \cong 1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f = \frac{0,327 \times 52,5 \times 10^{-3} \times 2 \times 9,8}{2,32 \times 1,7^2} \cong 0,0502$$

Determinação da perda de carga total

**Importante:** na mesma vazão da determinação da perda de carga distribuída





Cotas e altura dadas  
em cm


$$H_1 = H_4 + H_{p_{1-4}}$$

$$H_{p_{1-4}} = \frac{p_4 - p_1}{\gamma}$$

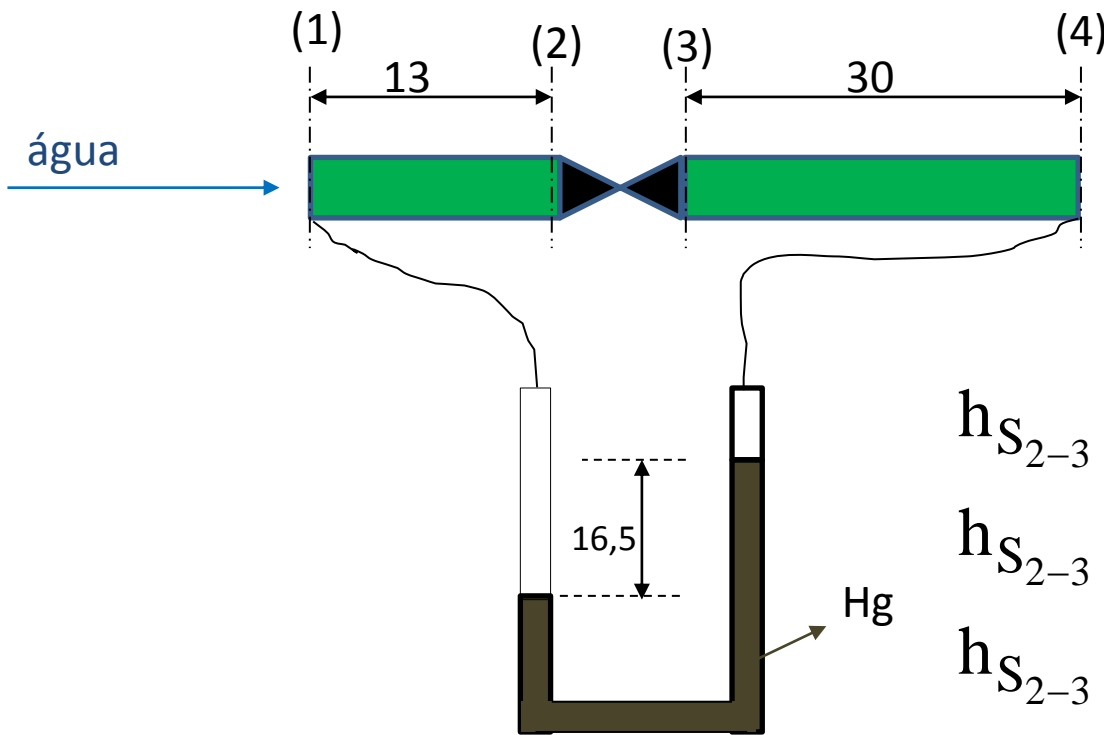
$$H_{p_{1-4}} = h \times \frac{(\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{H}_2\text{O}})}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$H_{p_{1-4}} = 0,165 \times \frac{(13546 - 998,2) \times 9,8}{998,2 \times 9,8}$$

$$H_{p_{1-4}} \cong 2,08\text{m}$$



Determinação  
da perda de  
carga localizada  
na válvula  
globo de 2"



Cotas e altura dadas em cm

$$h_{S_{2-3}} = H_{p_{1-4}} - (h_{f_{1-2}} + h_{f_{3-4}})$$

$$h_{S_{2-3}} = 2,08 - 0,141 \times (0,13 + 0,30)$$

$$h_{S_{2-3}} \cong 2,02\text{m}$$



Conhecida a perda singular, podemos calcular o  $K_S$

$$h_S = K_S \times \frac{v^2}{2g} \therefore 2,02 = K_S \times \frac{1,7^2}{19,6}$$

$$\therefore K_S \cong 13,7$$

$$Leq_{VGL} = \frac{K_S \times D_H}{f}$$

$$Leq_{VGL} = \frac{13,7 \times 0,0525}{0,0502}$$

$$Leq_{VGL} \cong 14,33\text{m}$$

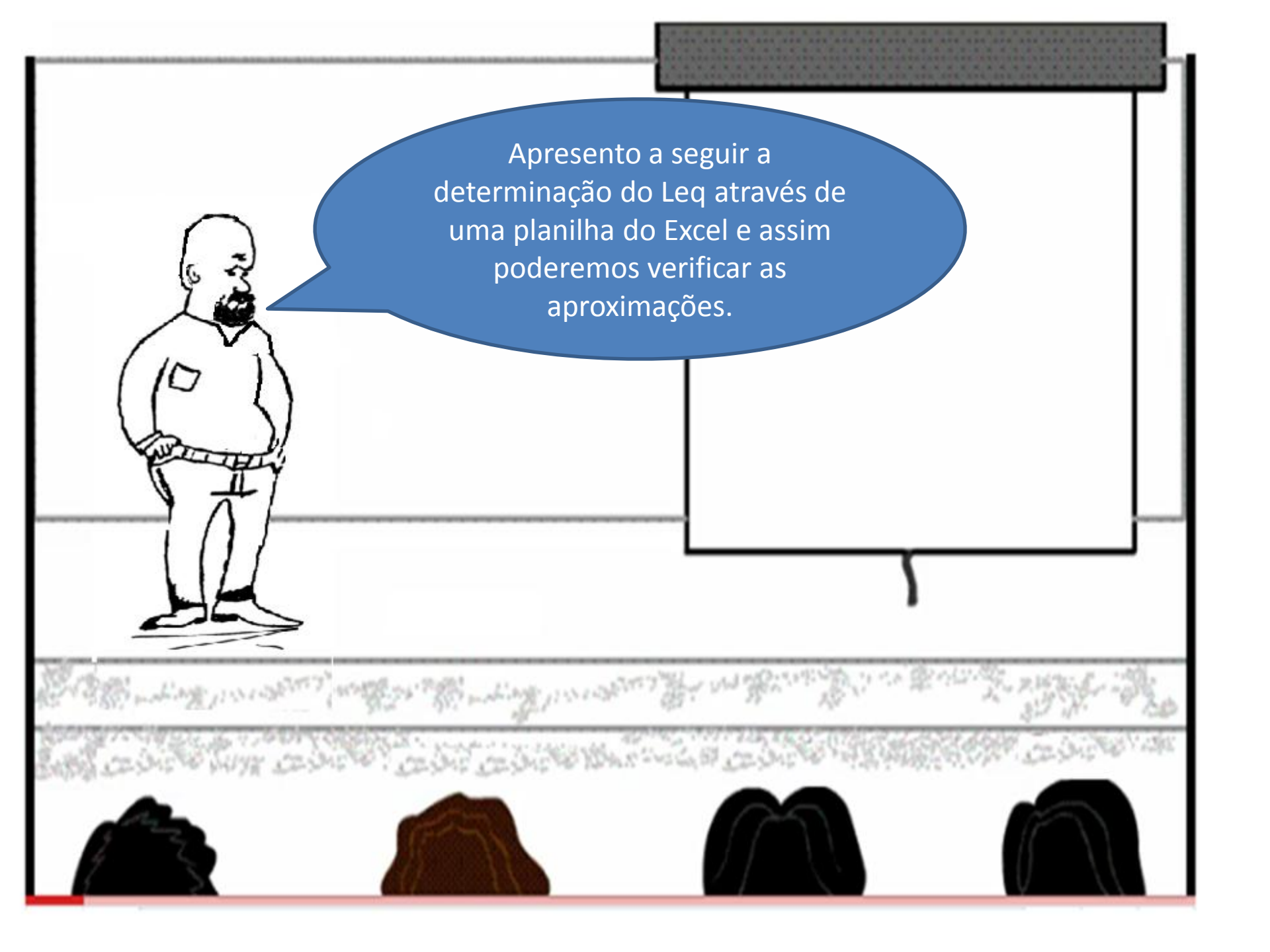
Cálculo do comprimento equivalente da válvula globo de 2"



Agora seria comparar com os valores tabelados!

E as aproximações, foram adequadas?





Apresento a seguir a  
determinação do Leq através de  
uma planilha do Excel e assim  
poderemos verificar as  
aproximações.

### Reservatório

$L_1$ (cm)	$L_2$ (cm)	$A$ (cm <sup>2</sup> )
73,9	73,9	5461,2

### Tubulações

2" sch 40		1,5" Sch 40		1" Sch 40	
Dint (mm)	A(cm <sup>2</sup> )	Dint (mm)	A(cm <sup>2</sup> )	Dint (mm)	A(cm <sup>2</sup> )
52,5	21,7	40,8	13,1	26,6	5,57

### propriedades água

$T(^{\circ}C)$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (kg/ms)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
20	998,2	0,000958	13543

Hg

Comparem os resultados!

### Tabela de dados

Ensaio	Frequência	Tubo	$\Delta h$ (mm)	t(s)	Perda distribuída		Perda total	
					h(mm)	L (m)	h'(mm)	L' (m)
1	60	2"	100	15,15	26	2,32	165	0,43

### Tabela de resultados

Q(m <sup>3</sup> /s)	v(m/s)	Re	$h_f$ (m)	f	Hp (m)	hs(m)	Ks	Leq (m)
0,00360	1,7	90871,5	0,327	0,0525	2,1	2,0	14,3	14,3