

# Aula 3 de ME5330

Segundo semestre de 2012



Vamos evocar os conceitos de mecânica dos fluidos básicas que já abordamos e que são importantes nos desenvolvimentos dos projetos de instalações de bombeamento.

Conceito de vazão e a sua obtenção de forma direta.

$$Q = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{A_t \times \Delta h}{t}$$

Existe outra maneira de calcular a vazão?

$$Q = v_{\text{média}} \times A$$

$$\text{carga cinética} = \alpha \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \times v \times D_H}{\mu} = \frac{v \times D_H}{\nu}$$

$D_H$  = diâmetro hidráulico

$$D_H = \frac{4 \times A}{\sigma}$$

Sim e é importante para o dimensionamento dos tubos, cálculo da carga cinética e número de Reynolds.



A = área da seção formada pelo fluido

$\sigma$  = perímetro molhado, ou seja, aquele formado pelo contato do fluido com superfície sólida.



Pressão em um ponto fluido em repouso:

$$p = \gamma \times h + p_{\text{atm}_{\text{local}}}$$

$$p_{\text{atm}_{\text{local}}} = 0 \Rightarrow \text{escala efetiva}$$

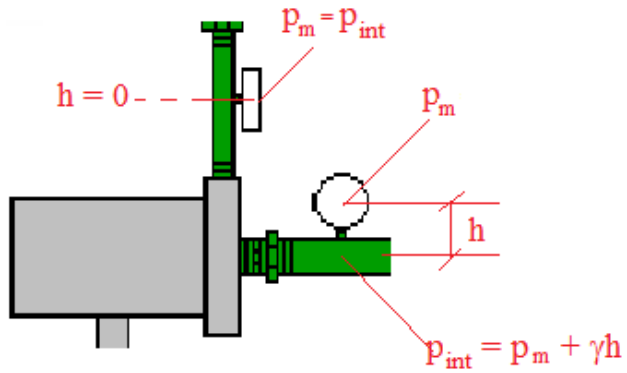
$$p_{\text{atm}_{\text{local}}} \neq 0 \Rightarrow \text{escala absoluta}$$

$$p_{\text{atm}_{\text{local}}} = p_{\text{barométrica}}$$

E pressão manométrica, o que vem a ser?



$P_m$  = pressão manométrica = pressão efetiva

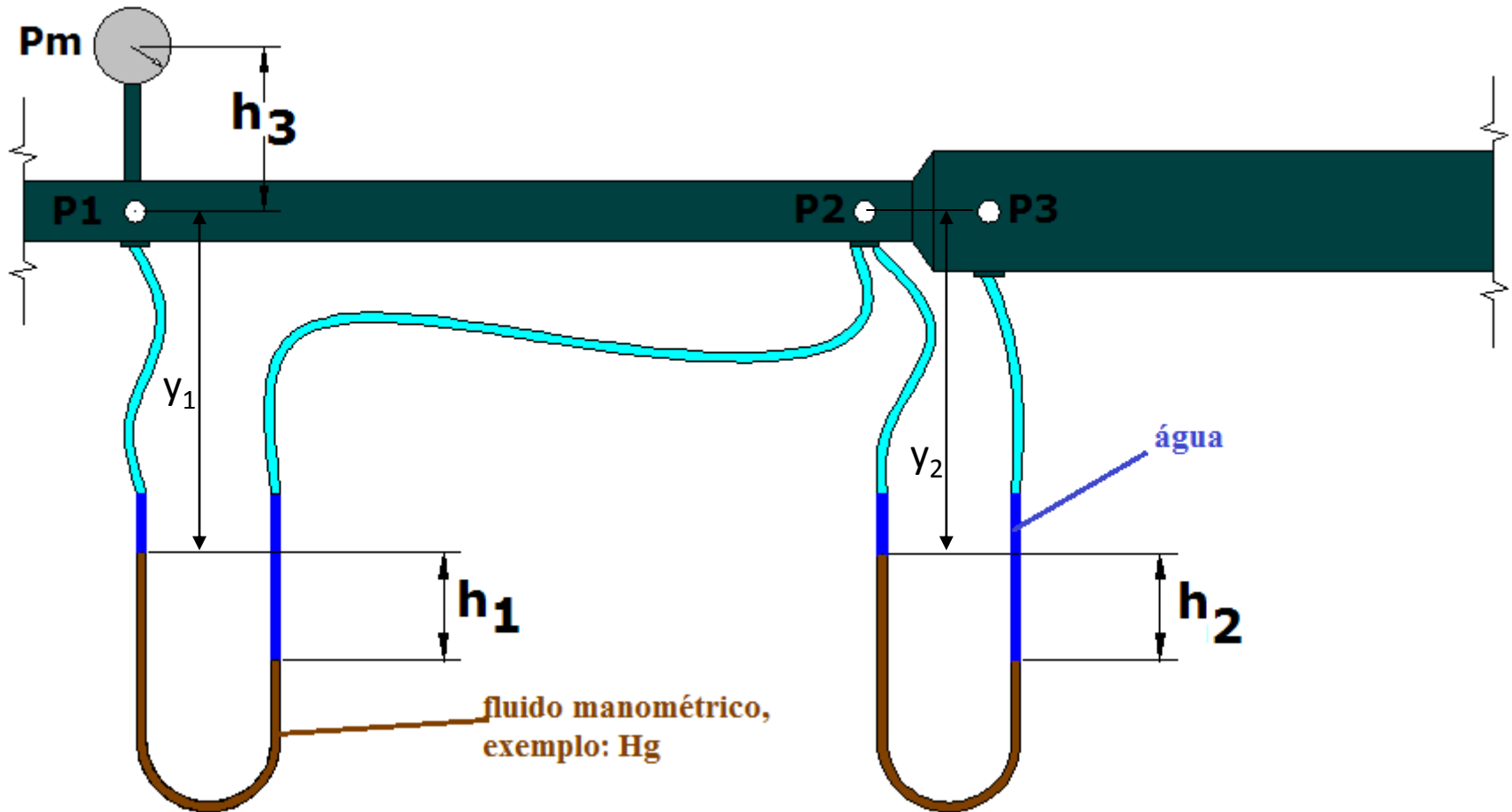


Pressão manométrica é sinônimo de pressão efetiva



E como escrevamos a equação manométrica?

Já aplicamos a equação manométrica nas aulas de laboratório na determinação tanto de perda de carga distribuída (trecho de  $p_2$  a  $p_1$ ), como na determinação da perda de carga singular (trecho de  $p_3$  a  $p_2$ ), vide esquema a seguir.



Para escrevermos a equação manométrica nós adotamos um dos pontos como origem e marcamos a pressão que atua no mesmo e a ela somamos os  $\gamma \times h$  correspondentes as colunas descendentes e subtraímos os  $\gamma \times h$  correspondentes as colunas ascendentes, a expressão obtida deve ser igualada a pressão que atua no ponto que não foi adotado como origem.

Do esquema anterior, vamos considerar o trecho onde ocorre a perda distribuída e através da equação manométrica com origem em (2), temos:

$$p_2 + y_1 \times \gamma_{H_2O} + h_1 \times \gamma_{H_2O} - h_1 \times \gamma_{Hg} - y_1 \times \gamma_{H_2O} = p_1$$

Mas na determinação da perda de carga nós aplicávamos a equação da energia, certo?



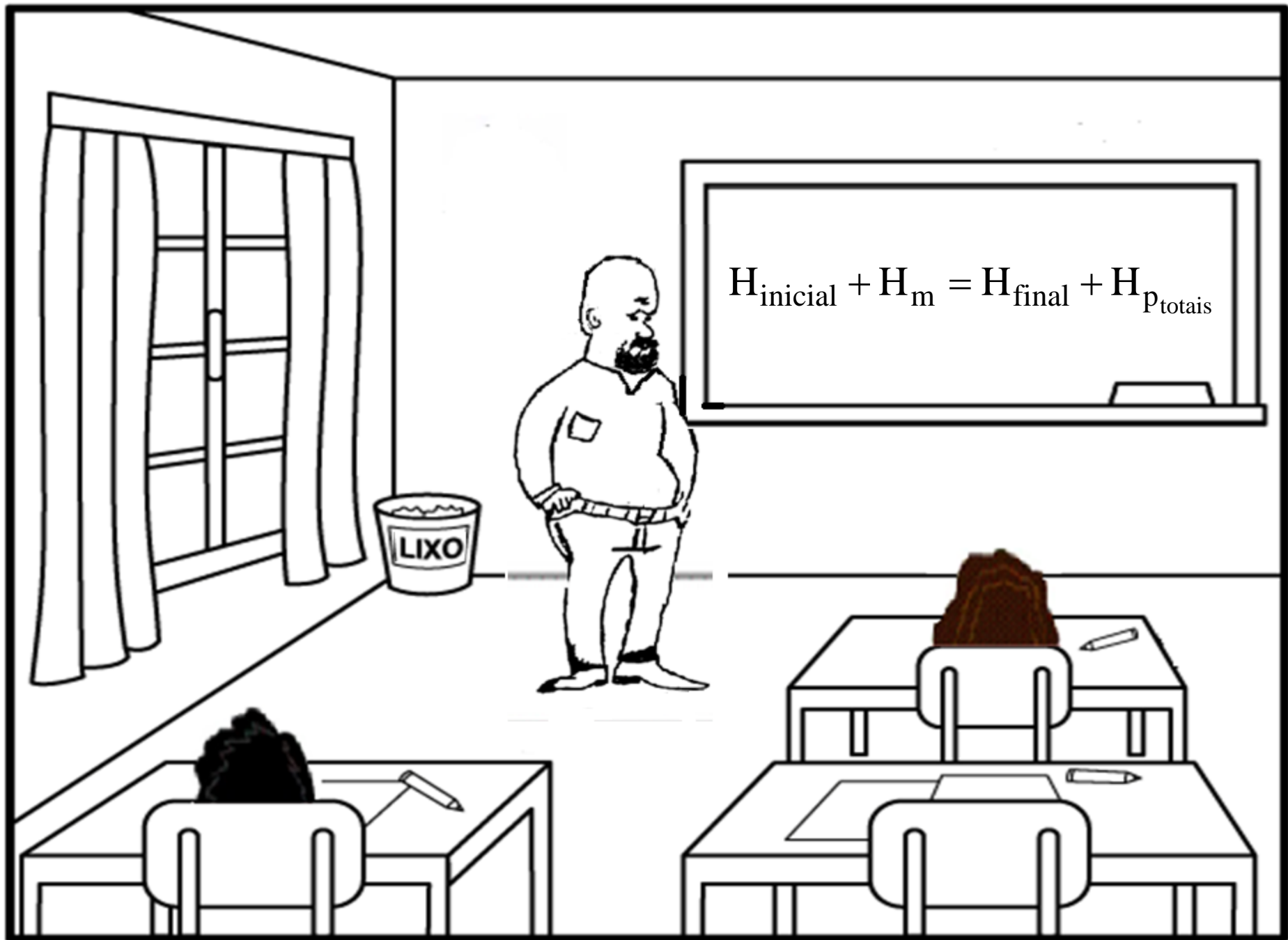


Certo!

E como ela é muito importante nos projetos, podemos recordá-la?

LIXO





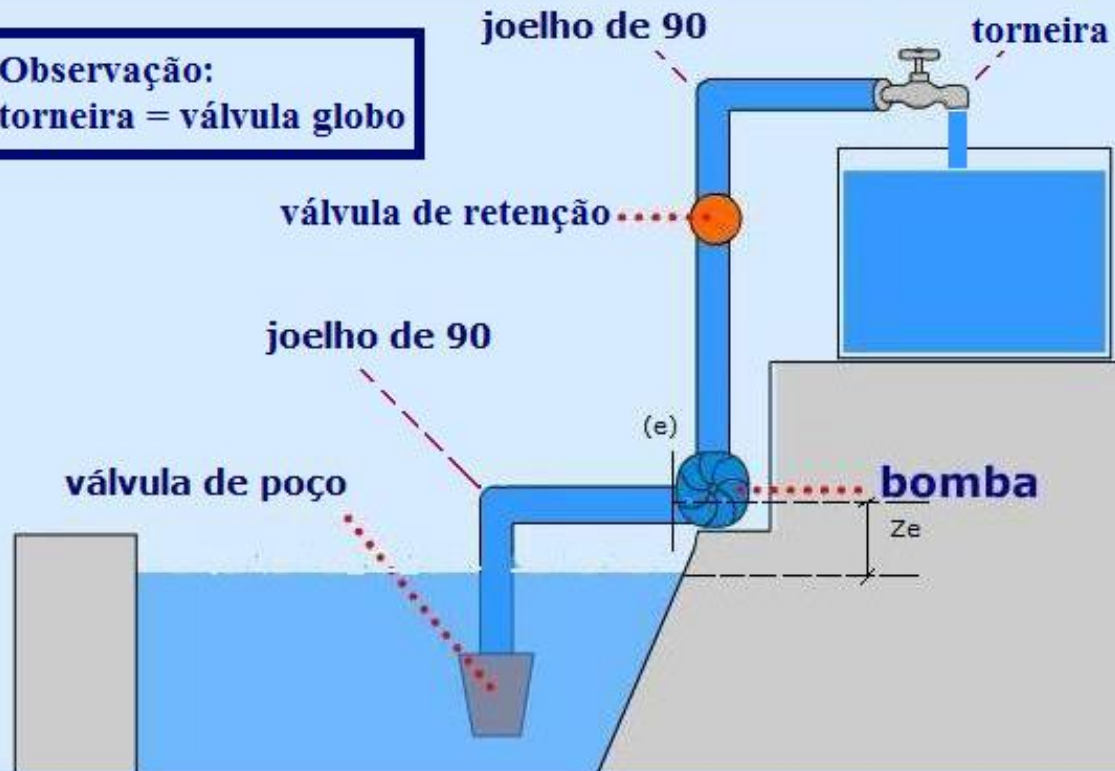
A equação anterior vale para instalações com uma única entrada e uma única saída.

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i \times v_i^2}{2g} + H_B = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{\alpha_f \times v_f^2}{2g} + \sum h_f + \sum h_s$$

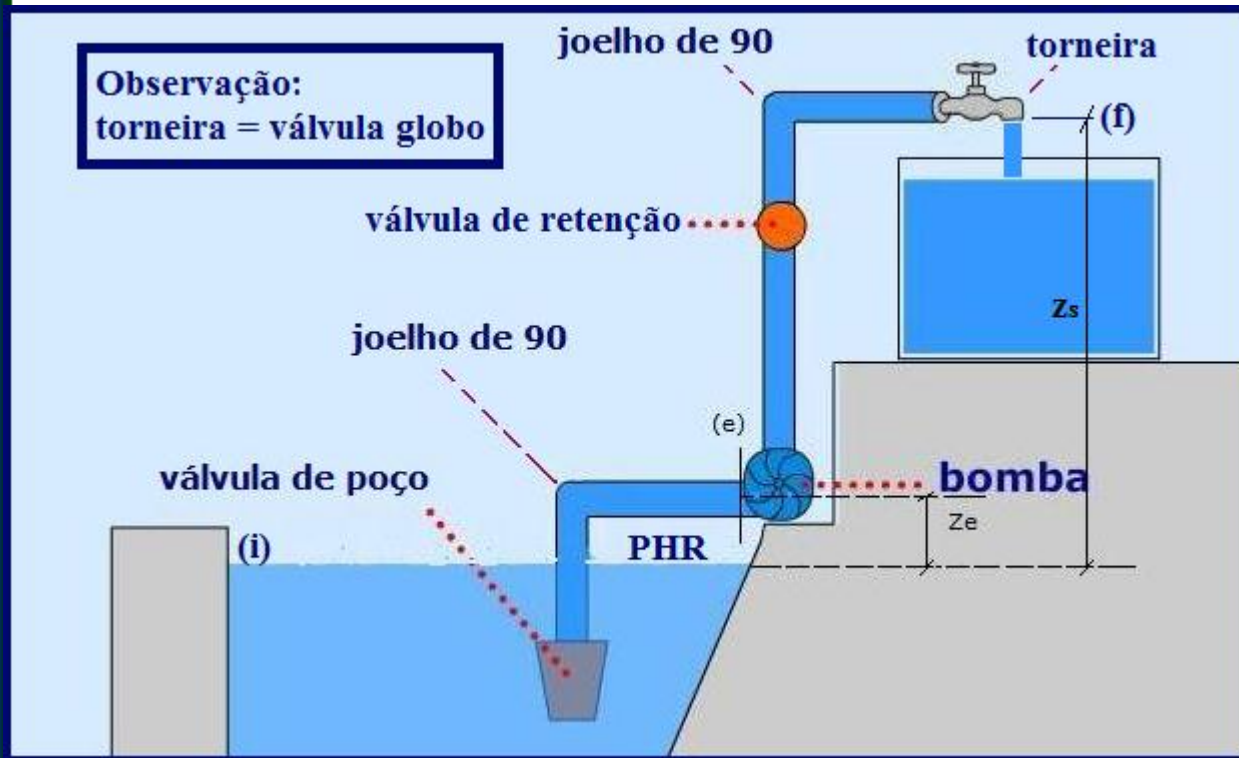
Precisamos adotar um PHR e fixar (i) e (f)



Observação:  
torneira = válvula globo



Não é adequado considerar a seção inicial “junto” a válvula de poço, portanto, sempre que possível, a seção inicial deve ser considerada no nível do reservatório de captação.





## Cálculo das perdas

Singular ou localizada ( $h_s$ )

Distribuída  
( $h_f$ )

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

$$h_s = K_S \times \frac{v^2}{2g} = K_S \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$H_p = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$g = 980,616 - 2,5928 \times \cos 2\varphi + 0,0069 \times (\cos 2\varphi)^2 - 0,3086 \times H$$

$$[g] = \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}; [\varphi] = \text{latitude em graus}; [H] = \text{altitude em km}$$

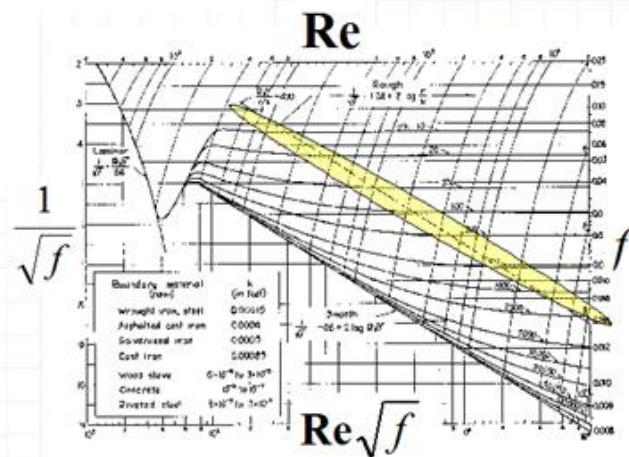
## Determinação do “f”

## Mecflu 1

$$\text{Re} \Rightarrow \text{se } \text{Re} \leq 2000 \Rightarrow f = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$\Rightarrow \text{se } \text{Re} \geq 4000 \Rightarrow \frac{D_H}{K} \rightarrow \text{Rouse}$$

Hunter Rouse, 1942



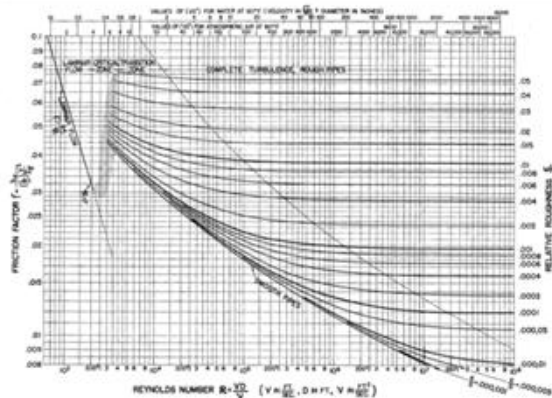
## Determinação do “f”

## Mecflu 1

$$\text{Re} \Rightarrow \text{se } \text{Re} \leq 2000 \Rightarrow f = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$\Rightarrow \text{se } \text{Re} \geq 4000 \Rightarrow \frac{\varepsilon}{D_H} \rightarrow \text{Moody}$$

## Lewis Moody, 1944



# Determinação do “f”

# Mecflu 2

[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento\\_22012/consulta6.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_22012/consulta6.htm)

Microsoft Excel interface showing a spreadsheet for determining the friction factor (f) for fluid flow. The spreadsheet is titled "determinação\_dos\_f [Somente leitura] [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel".

The spreadsheet is organized into sections for fluid properties, local properties, and material properties. A legend explains the color coding used for cells: blue for "deve ser preenchida" (must be filled), green for "será calculada" (will be calculated), orange for "preenchimento opcional" (optional filling), and purple for "copiado de outra planilha" (copied from another sheet).

**propriedades do fluido transportado**

temp (°C)	$\mu$ (kg/ms)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$P_v$ (Pa)	$v$ (m <sup>2</sup> /s)
18	1,05E-03	998,6		1,055E-06

**propriedades do local**

g =  
patm =

mat. tubo aço

espessura Dint (mm) A (cm<sup>2</sup>)

K(m) DH/k #DIV/0!

**Legenda**

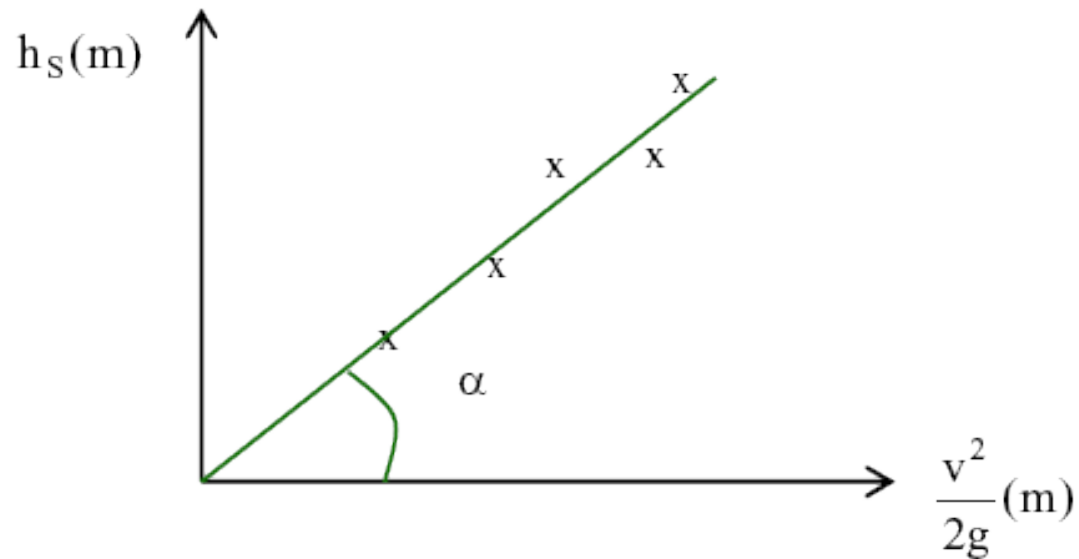
- deve ser preenchida
- será calculada
- preenchimento opcional
- copiado de outra planilha

**Q** m<sup>3</sup>/h Q(m<sup>3</sup>/s) Q(L/s) Q(L/min)  
deve transformar para m<sup>3</sup>/h

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



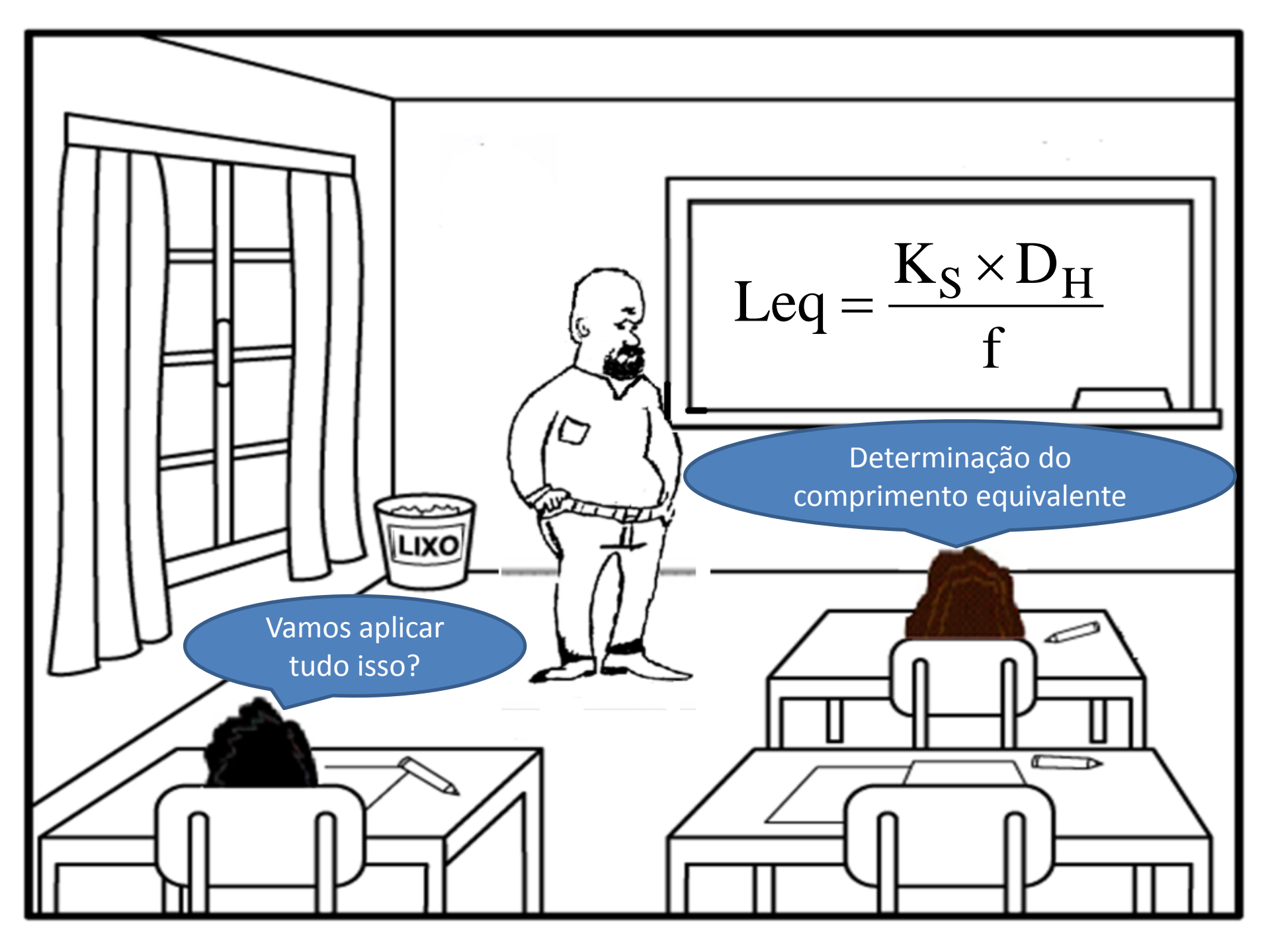
## Determinação do $K_S$



$$\operatorname{tg}\alpha = K_S$$

$$y = \text{número} \times x \Rightarrow y = h_S \rightarrow x = \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{número} = K_S$$

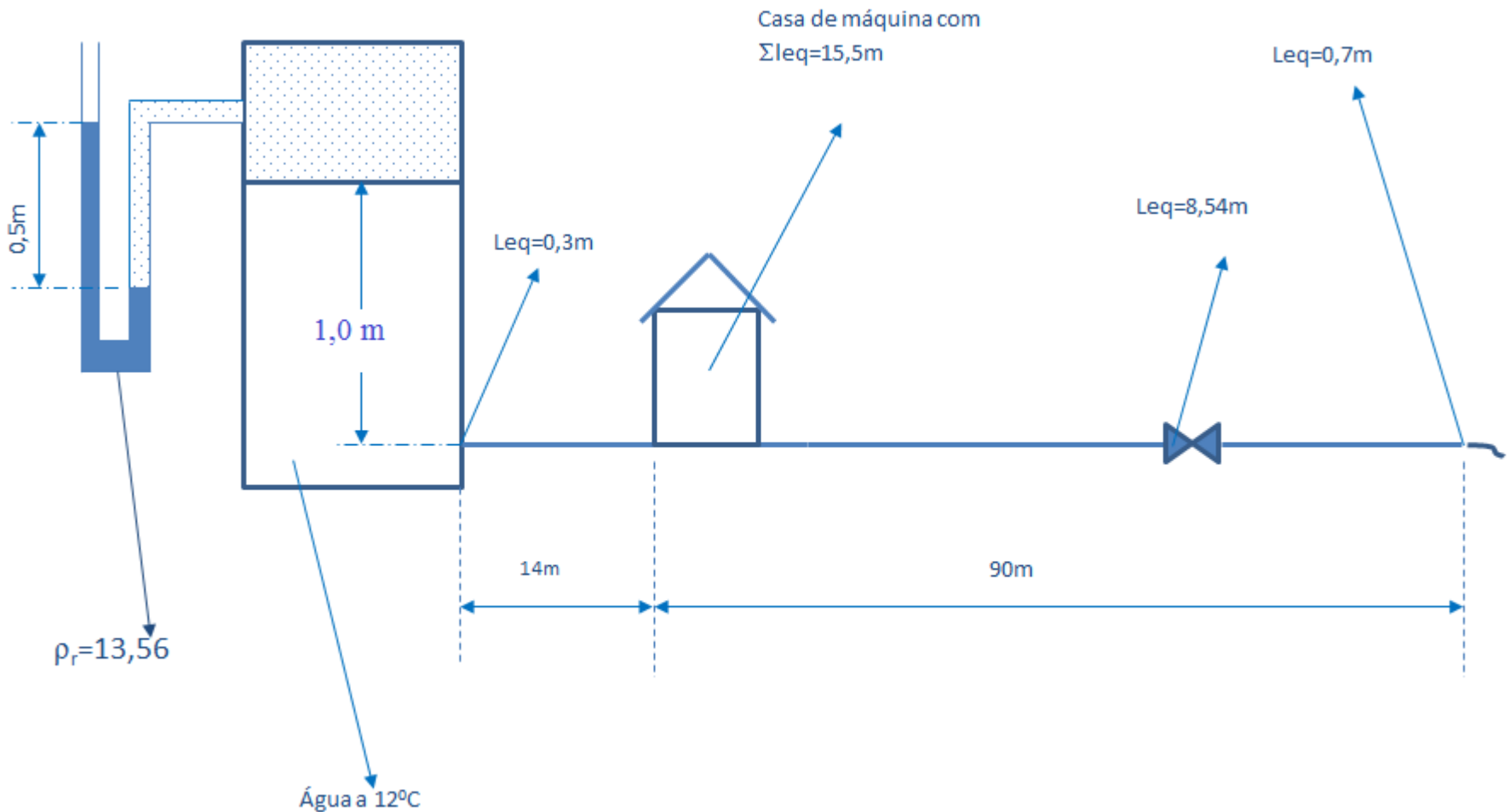

$$L_{eq} = \frac{K_S \times D_H}{f}$$

Determinação do comprimento equivalente

Vamos aplicar tudo isso?

A instalação de bombeamento a seguir, foi projetada para transportar água a 12°C. Pede-se:

- a equação da curva característica da instalação (CCI);
- a sua representação gráfica;
- a possibilidade da mesma trabalhar em queda livre.



## Obtendo dados:

$$\text{água} \rightarrow 12^{\circ}\text{C} \Rightarrow \rho_{\text{água}} = 999,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu_{\text{água}} = 1,24 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}$$

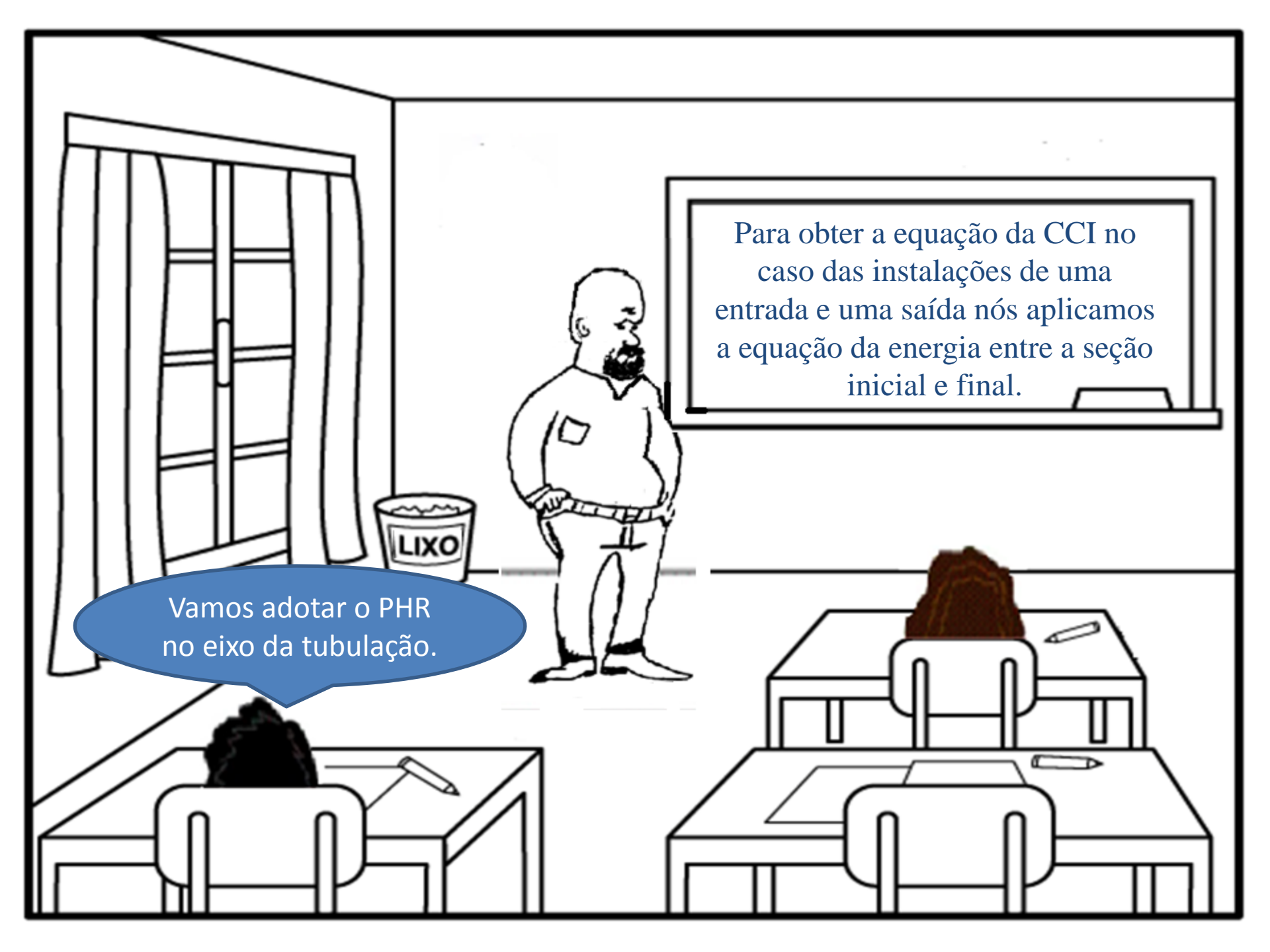
$$v_{\text{água}} = 1,236 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{aço} \Rightarrow D_N = 1'' \rightarrow \text{espessura } 40 \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6\text{mm} \rightarrow A = 5,57\text{cm}^2$$

$$K = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} \rightarrow \frac{D_H}{K} \cong 578$$

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{\text{padrão}}} \therefore \rho_{\text{Hg}} = 13,56 \times 1000 = 13560 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$p_{\text{ar}} = 0,5 \times \gamma_{\text{Hg}} = 0,5 \times 13560 \times 9,8 = 66444 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ (ou Pa)}$$



Para obter a equação da CCI no caso das instalações de uma entrada e uma saída nós aplicamos a equação da energia entre a seção inicial e final.

Vamos adotar o PHR no eixo da tubulação.

$$H_{\text{inicial}} + H_{\text{sistema}} = H_{\text{final}} + H_{\text{p totais}}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{y_i \times \alpha_i \times Q^2}{2g \times A_i^2} + H_S = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{y_f \times \alpha_f \times Q^2}{2g \times A_{1''}^2} + f \times \frac{(L + \sum L_{eq})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{1''}^2}$$

$$1 + \frac{66444}{999,5 \times 9,8} + 0 + H_S = 0 + 0 + \frac{1 \times \alpha_f \times Q^2}{19,6 \times (5,57 \times 10^{-4})^2} +$$

$$f \times \frac{(104 + 0,3 + 15,5 + 8,54 + 0,7)}{0,0266} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (5,57 \times 10^{-4})^2}$$

$$7,8 + H_S = 164449,9 \times \alpha_f \times Q^2 + 797767346,2 \times f \times Q^2$$

⇒ equação da CCI

$$H_S = -7,8 + 164449,9 \times \alpha_f \times Q^2 + 797767346,2 \times f \times Q^2$$

