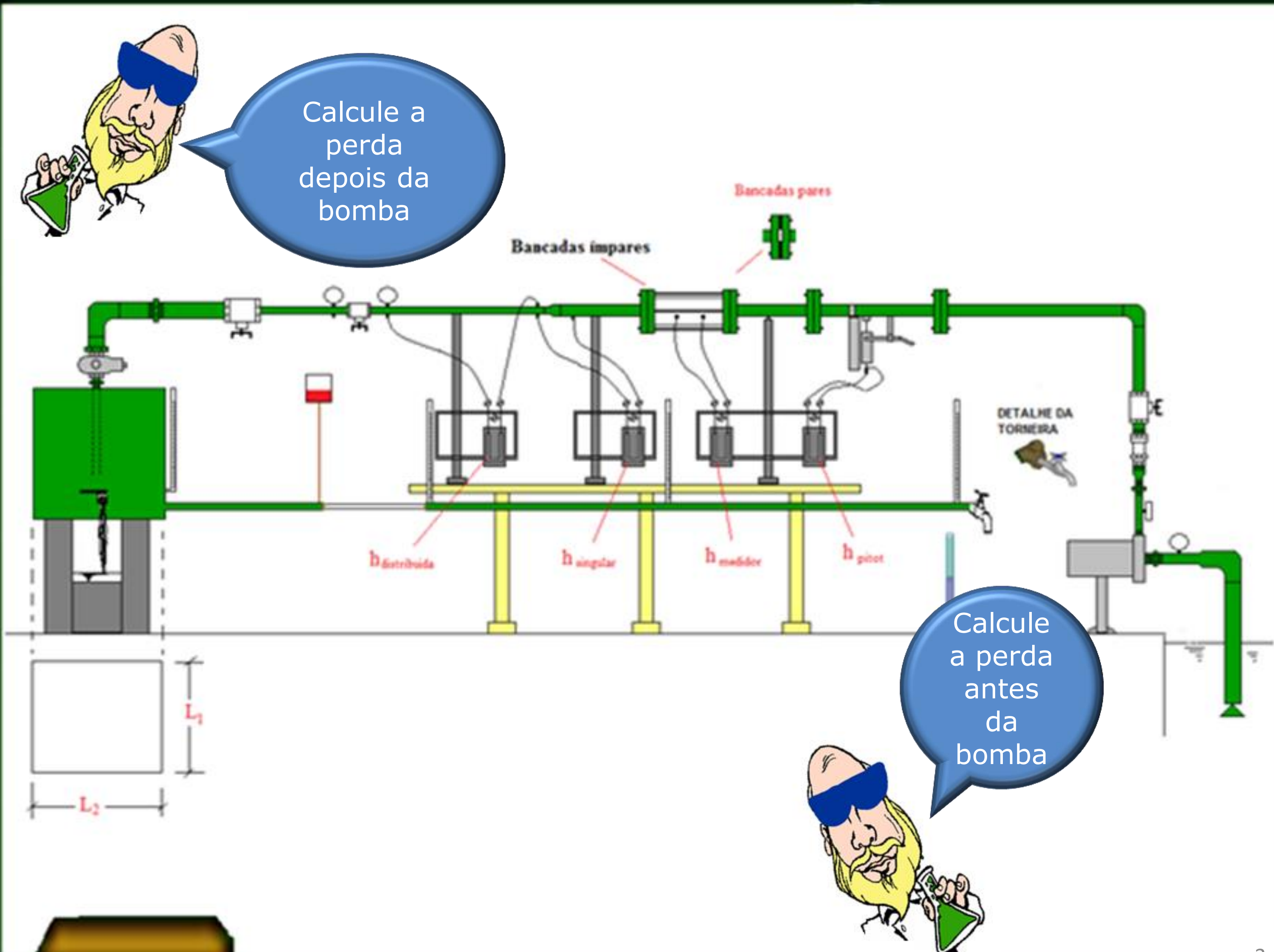
Segunda aula de teoria da disciplina Me5330

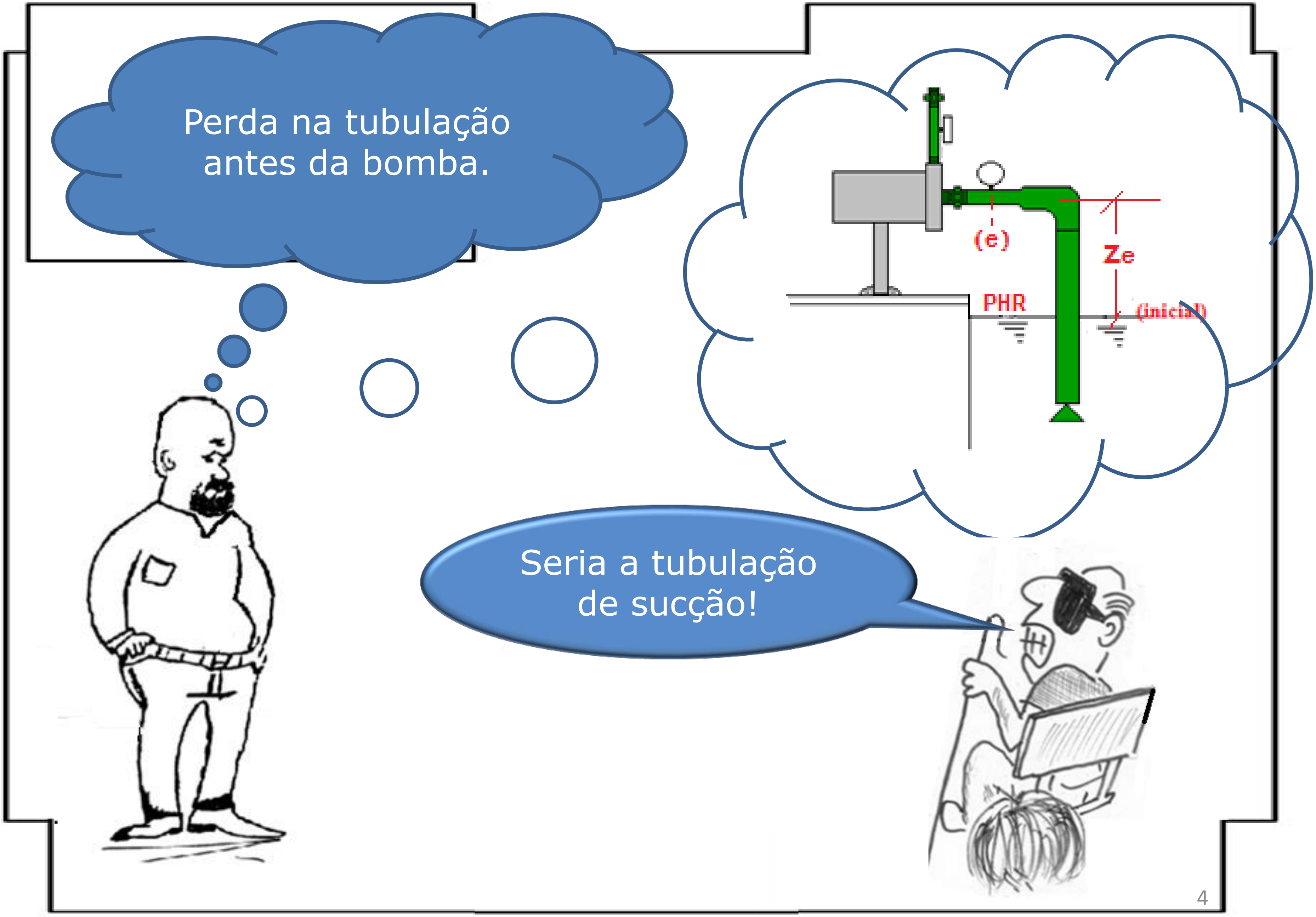
Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

13/08/2013

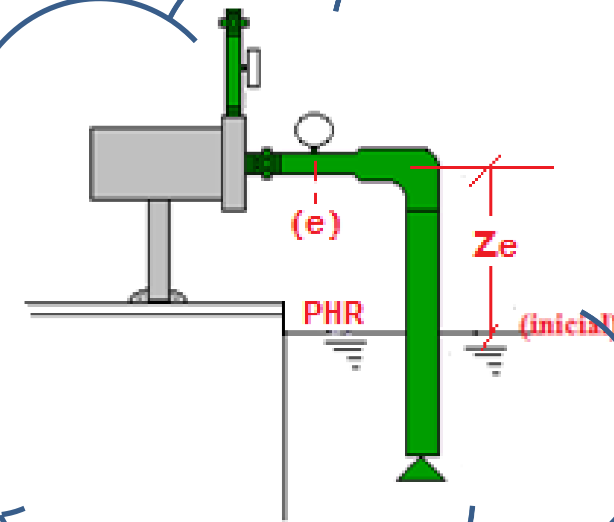

Resolvendo o exercício proposto!



Calcule a perda depois da bomba
Bancadas pares
Bancadas ímpares
DETALHE DA TORNEIRA
h distribuida
h singular
h medidor
h pitot
L1
L2
Calcule a perda antes da bomba


Perda na tubulação antes da bomba.
(e)
Ze
PHR
(inicial)
Seria a tubulação de sucção!

Perda na tubulação antes da bomba.



$$H_{inicial} = H_e + H_{paB}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_{paB}$$

$$H_{paB} = -\left[z_e + \left(\frac{p_{me} + \gamma \times h_e}{\gamma}\right) + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g}\right]$$

Exemplo de cálculo na bancada 1 do laboratório

Bancada	L1 (m)	L2 (m)	he (cm)
exp. Monitores	0,74	0,74	11,5

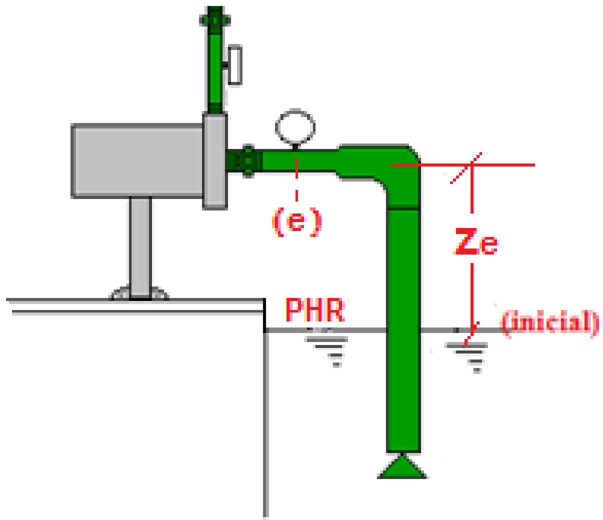
Dados coletados pelos monitores

Bancada	Ensaios	Δh (mm)	t(s)	pme (mmHg)	ze (cm)
1	1	100	20,1	-180	124
	2	100	27,68	-140	
	3	100	46,03	-110	

Bancada	Ensaios	Q (L/s)	v_e (m/s)	p_e (Pa)	H_{paB} (m)
1	1	2,7	2,1	-22770,6	0,868
	2	2,0	1,5	-17460,6	0,429
	3	1,2	0,9	-13478,1	0,096


Concluimos que com o aumento da vazão ocorre um aumento da perda de carga.
Será isto coerente?

Analisando a coerência:



$$H_{paB} = f \times \frac{\left(L + \sum Leq\right)_{aB}}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$\left(L + \sum Leq\right)_{aB} = L_{total_{aB}} = \text{cons tan te}$$

$$\frac{H_{paB}}{L_{total_{aB}}} = f \times \left(\frac{1}{D_H \times 2g \times A^2}\right) \times Q^2$$

$$\frac{H_{paB}}{L_{total_{aB}}} = f \times cte \times Q^2$$

Vejam a tabela:

Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Churchill}$	hf/Ltotal
9,8	2,1	88663,4	0,02303	0,125
7,1	1,5	64383,5	0,02381	0,068
4,3	0,9	38716,8	0,02543	0,026

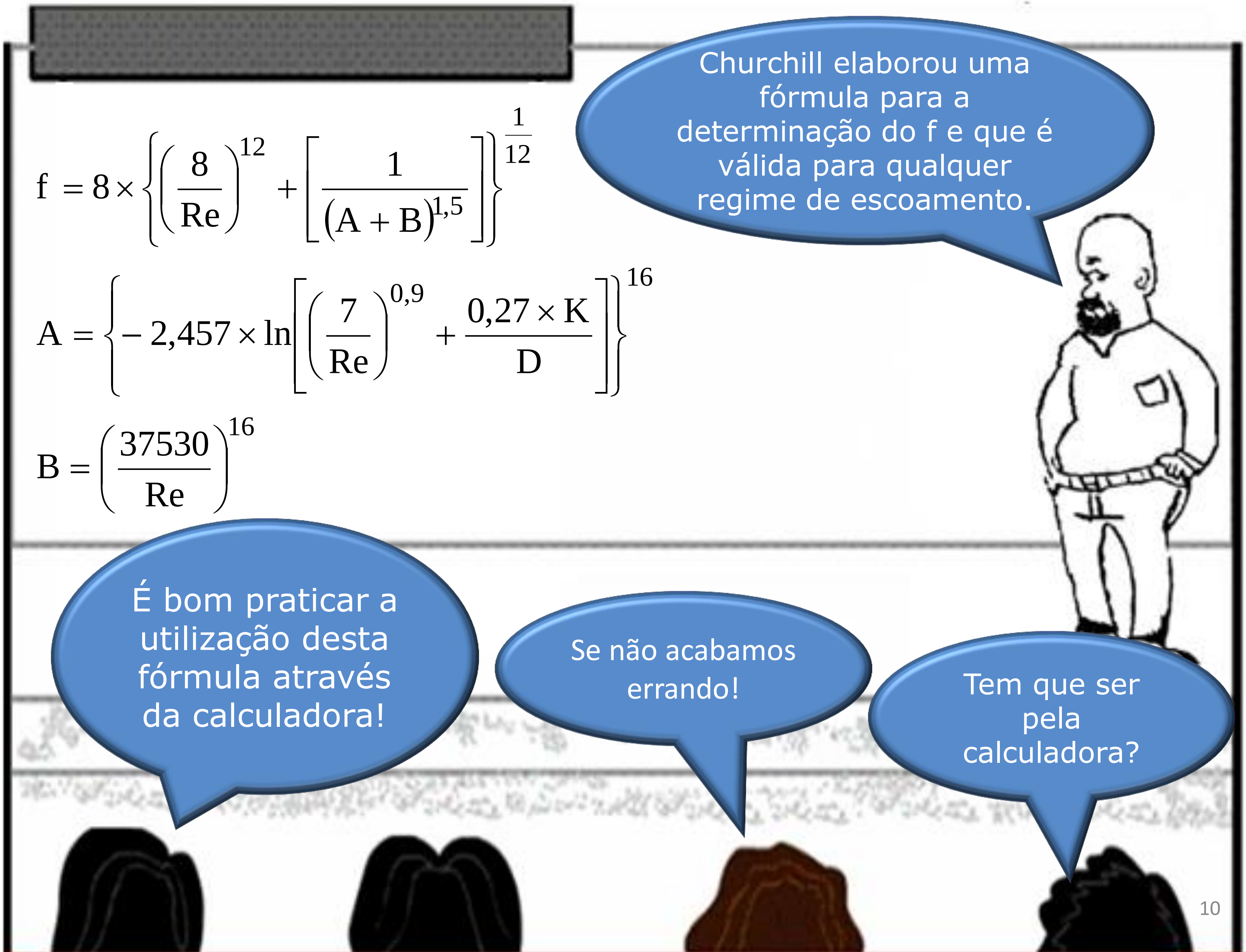
Pela tabela acima a conclusão é coerente!

O que vem a ser $f_{Churchill}$?

$$f = 8 \times \left\{ \left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \left[\frac{1}{(A + B)^{1,5}} \right] \right\}^{\frac{1}{12}}$$

$$A = \left\{ -2,457 \times \ln \left[\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + \frac{0,27 \times K}{D} \right] \right\}^{16}$$

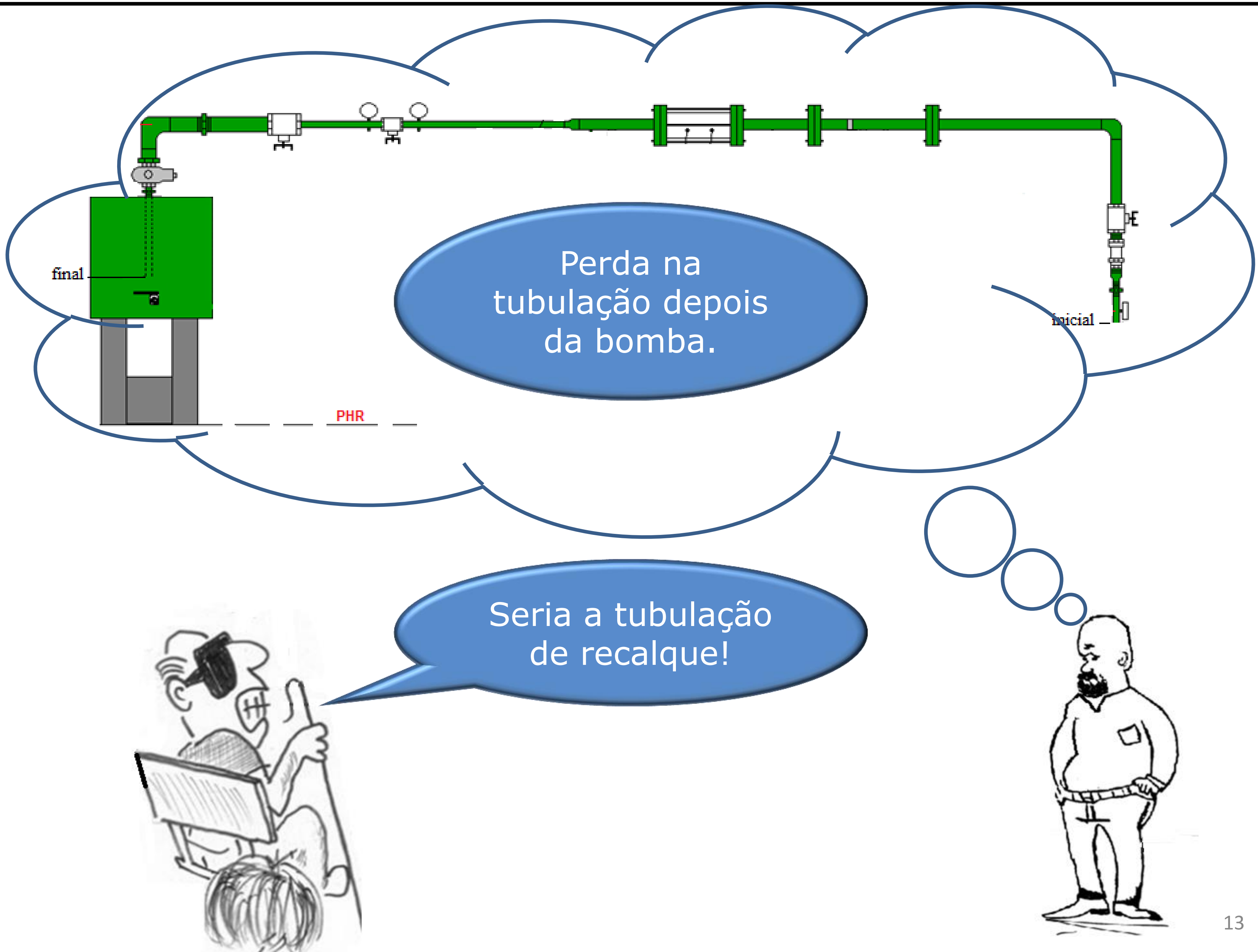
$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

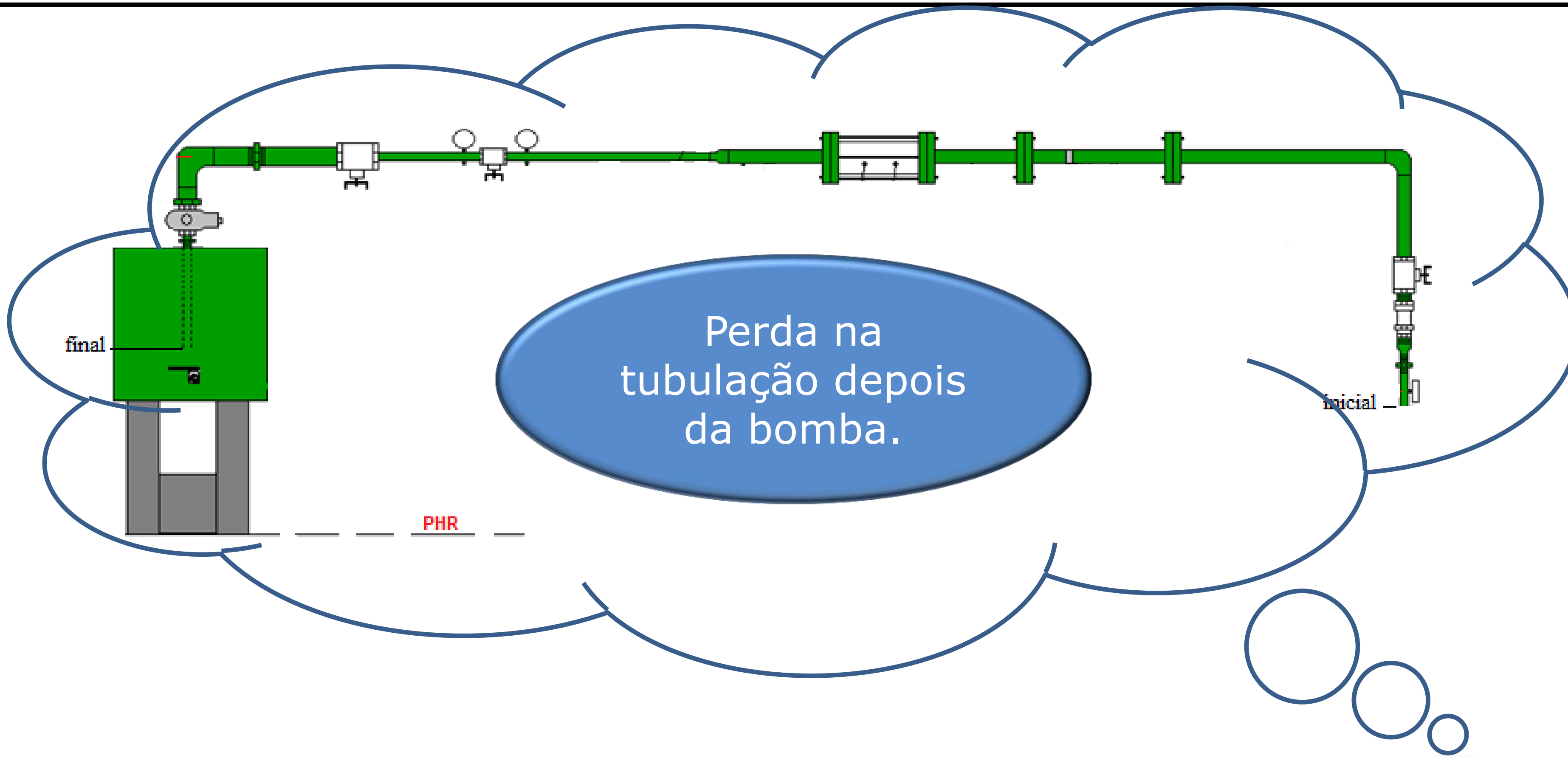


propriedades do fluido transportado					
temp (ºC)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m³)	p_v (Pa)	ν (m²/s)
18		1,05E-03	998,6		1,055E-06
propriedades do local					
g =		m/s²			
patm =		Pa			

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/consulta7.htm


Vamos agora calcular a perda na tubulação após a bomba através do mesmo procedimento.

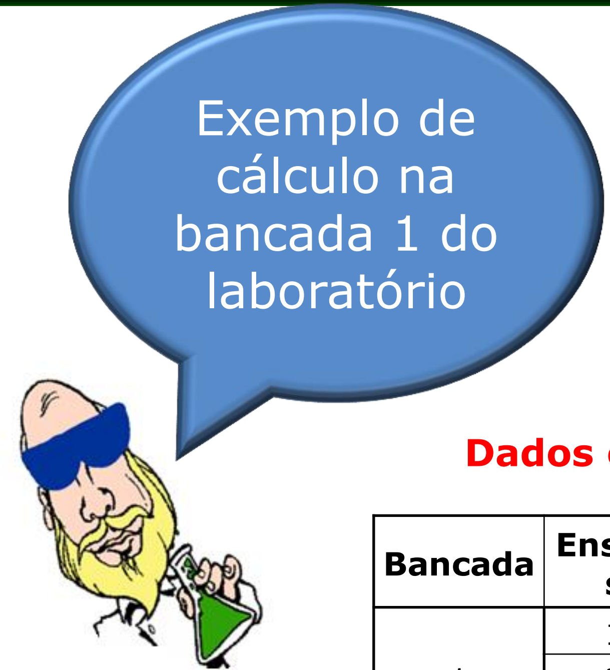

final
inicial
PHR
Perda na tubulação depois da bomba.
Seria a tubulação de recalque!



$$H_s = H_{final} + H_{pdB}$$

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{\alpha_f \times v_f^2}{2g} + H_{pdB}$$

$$H_{pdB} = (z_s - z_f) + \frac{p_{ms} + \gamma \times h_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2 - \alpha_f \times v_f^2}{2g}$$



Bancada	L1 (m)	L2 (m)	hs (cm)
1	0,74	0,74	9

Dados coletados pelos monitores

Bancada	Ensaios	Δh (mm)	t(s)	pms (Kpa)	z_s (cm)	z_1 (cm)	z_2 (cm)	z_f (cm)
1	1	100	20,1	190	101	202	114	88
	2	100	27,68	225				
	3	100	46,03	260				

Bancada	Ensaios	Q (L/s)	v_s (m/s)	v_f (m/s)	ps (Pa)	H_{pdB} (m)
1	1	2,7	4,9	4,9	190880,1	19,7
	2	2,0	3,6	3,6	225880,1	23,2
	3	1,2	2,1	2,1	260880,1	26,8


Observamos que com o aumento da vazão ocorre uma diminuição da perda de carga.
Isto é o oposto ao observado aB!
E agora?

$$H_{pdB} = f \times \frac{\left(L + \sum Leq\right)_{dB}}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$\left(L + \sum Leq\right)_{dB} = L_{total_{dB}} = \text{aumenta com a diminuição da Q}$$

$$H_{paB} = f \times \left(\frac{L_{total_{dB}}}{D_H \times 2g \times A^2}\right) \times Q^2$$

$$H_{paB} = f \times \frac{L_{total_{dB}}}{cte} \times Q^2$$

Reflitam: diminuindo a Q, temos um aumento tanto do "f" como do $L_{total\ dB}$, será que aumentam mais que a Q diminui?

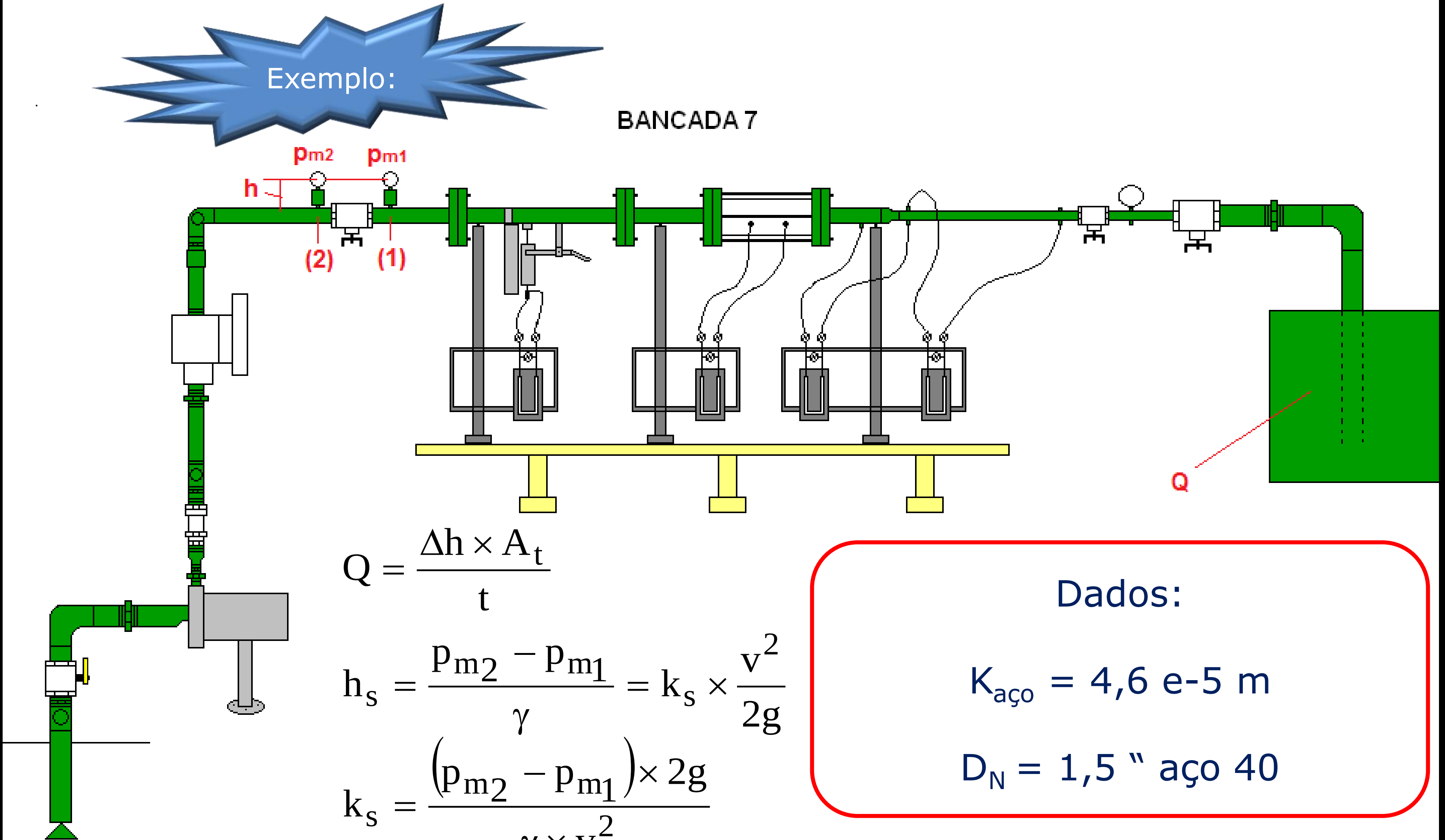

Para responder a este novo questionamento, vamos à bancada do laboratório para calcular os comprimentos equivalentes da válvula globo com o seu fechamento parcial!


O engenheiro
além de
resolver
problemas tem
que criar
oportunidade!

Resolvendo problemas e criando oportunidades será feliz em sua profissão!


Refletindo o porque da perda ter aumentado com a diminuição da vazão na tubulação após a bomba.


Proponho que vocês determinem o comprimento equivalente da válvula globo da bancada 7 para no mínimo quatro vazões sendo que uma deve ser a vazão máxima.
Não podemos esquecer de anotar a temperatura d’água.



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

$$h_s = \frac{p_{m_2} - p_{m_1}}{\gamma} = k_s \times \frac{v^2}{2g}$$

$$k_s = \frac{\left(p_{m_2} - p_{m_1}\right) \times 2g}{\gamma \times v^2}$$

$f \rightarrow$ determinado na página www.escoladavida.eng.br

$$Leq = \frac{K_s \times D_H}{f}$$

Dados:

$K_{aço}$ = 4,6 e-5 m

D_N = 1,5 " aço 40

Ensaio	Δh (mm)	t(s)	P_{m2} (______)	P_{m1} (______)
1				
2				
3				
4				

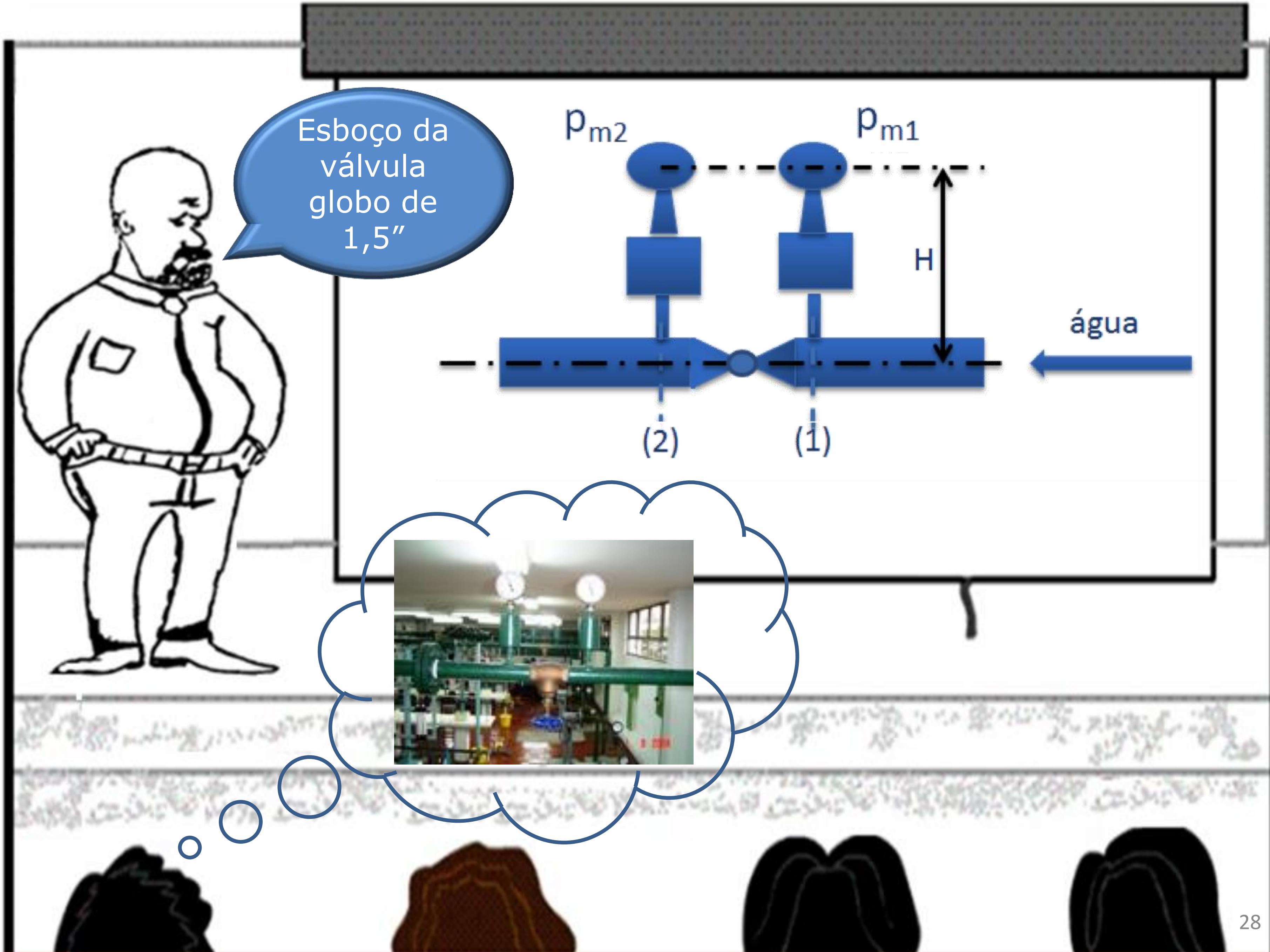
Tanque: L_1 = e L_2 =

Temperatura d'água: ……^{0}F


Calculando o comprimento equivalente da válvula globo das bancadas 7.


E simulando uma prova de laboratório.
Essa eu quero ver!

Considerando os dados a seguir que foram obtidos na bancada 7 do laboratório e sendo conhecidas as equações dadas, pede-se calcular o comprimento equivalente da válvula globo reta sem guia de 1,5”.


Esboço da válvula globo de 1,5”
p_{m2}
p_{m1}
H
água
(2)
(1)

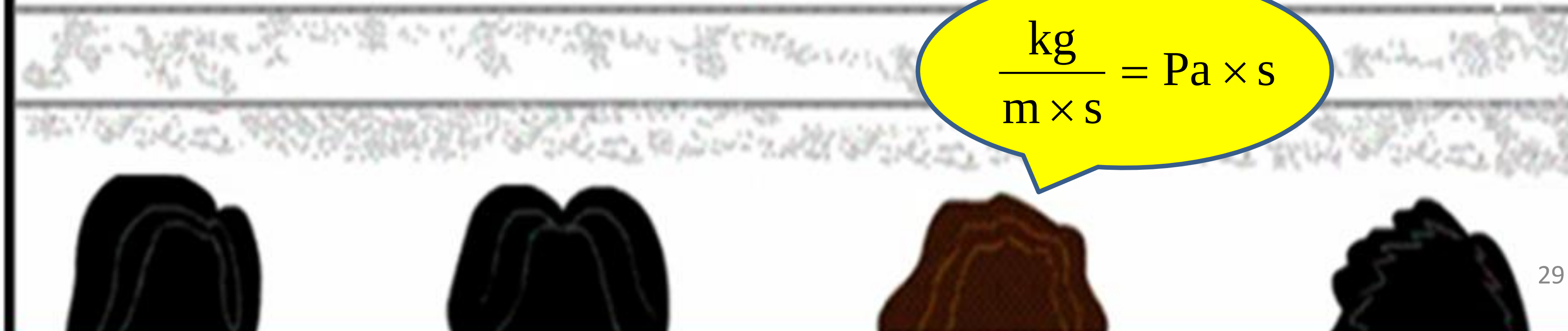
Ensaio	P_{m1} (kPa)	P_{m2} (kPa)	Δh (mm)	t (s)
3	300	46	100	43
Tanque superior $L_1 = L_2 = 738$ mm				
Temperatura da água $76{,}1\,^0F$				

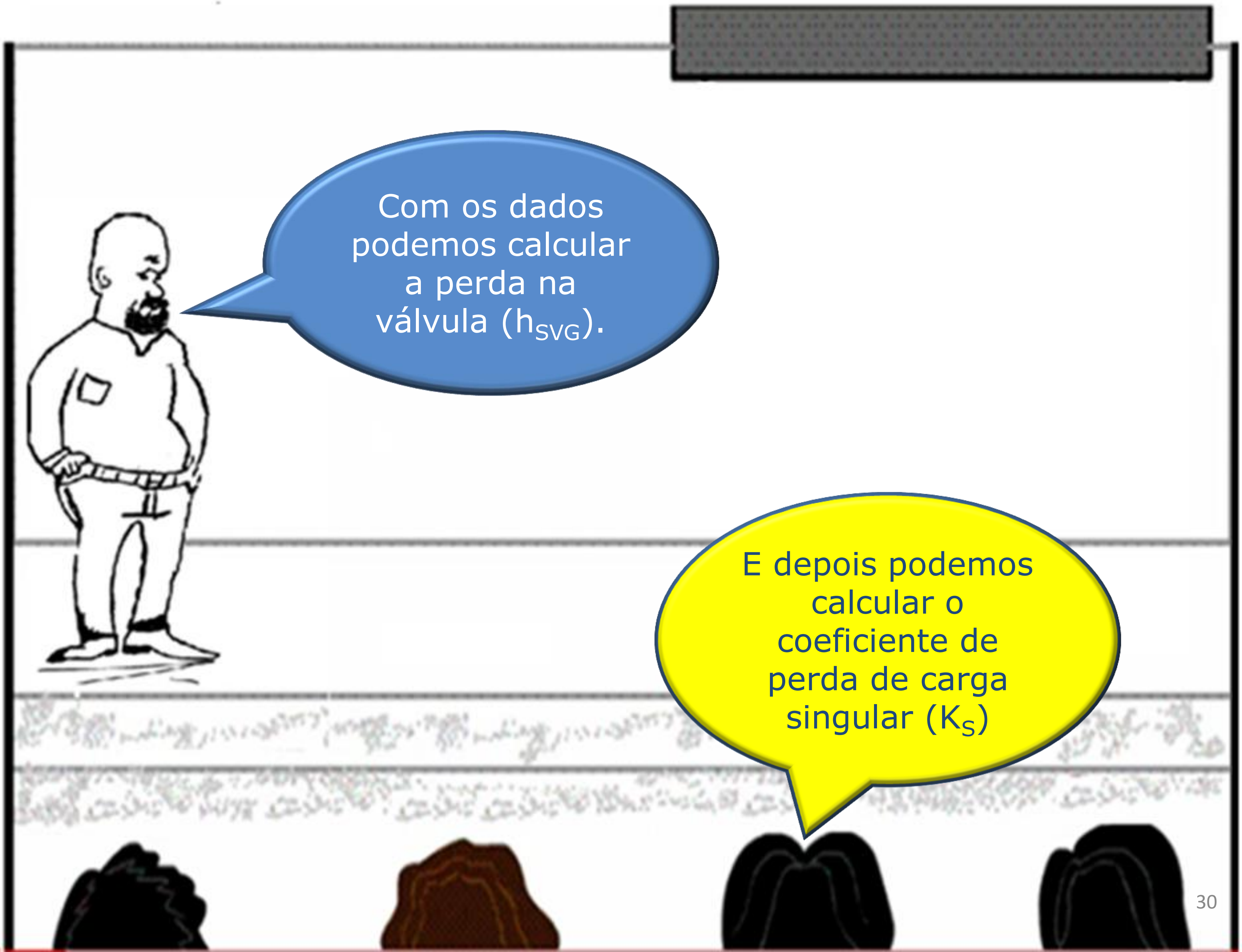
$$z = \frac{273(K)}{T(K)}$$

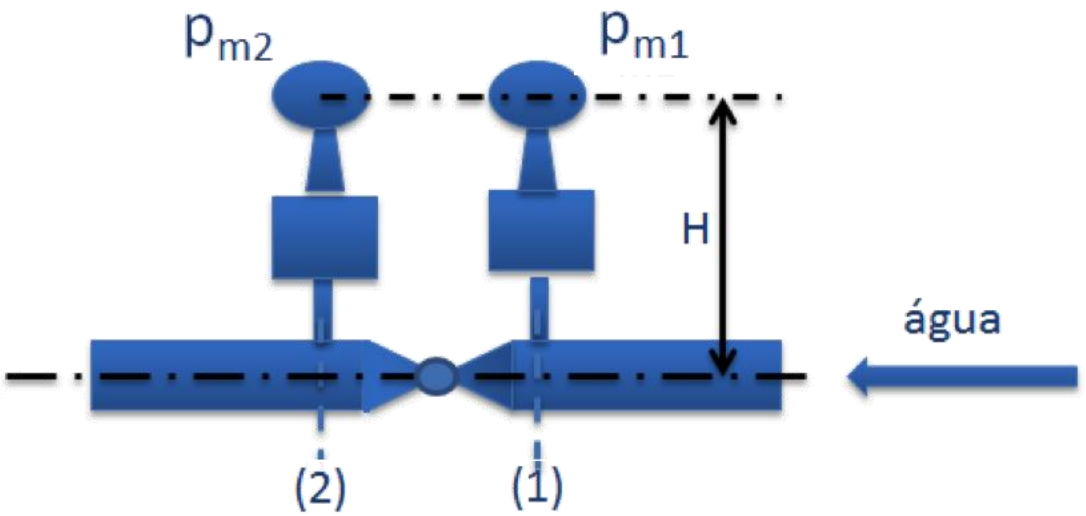
$$\rho_{água} = 1000 - 0{,}0178 \times |tc - 4|^{1{,}7} \pm 0{,}2\% \rightarrow [\rho_{água}] = \frac{kg}{m^3}$$

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} \cong -1{,}704 - 5{,}306 \times z + 7{,}003 \times z^2 \rightarrow \mu_0 = 1{,}788 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \times s}.$$

$$\frac{kg}{m \times s} = Pa \times s$$




Com os dados podemos calcular a perda na válvula (h_{SVG}).
E depois podemos calcular o coeficiente de perda de carga singular (K_S)



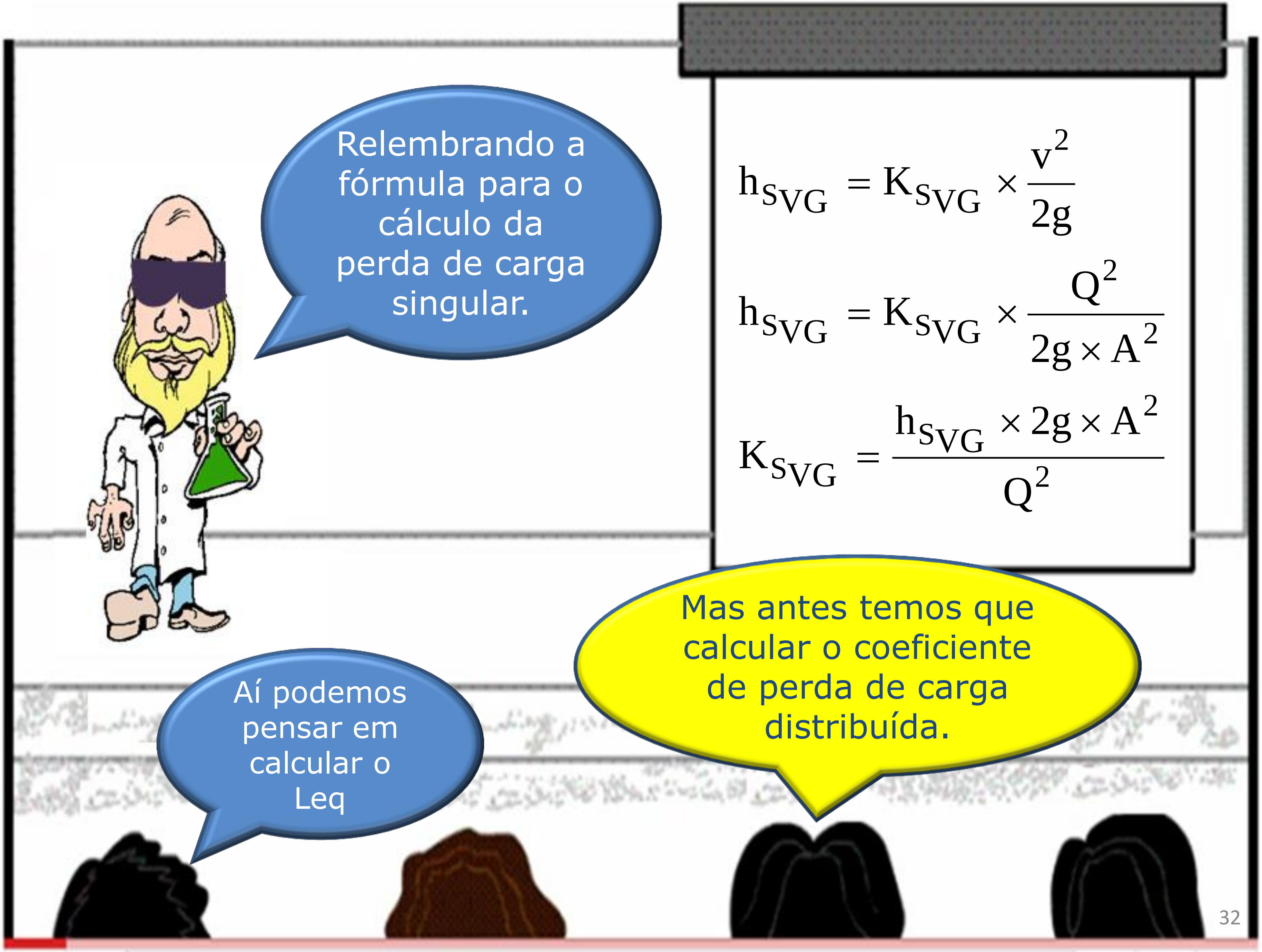
$$H_1 = H_2 + H_{p1-2}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \times v_2^2}{2g} + h_{s_{VG}}$$

$$PH \Rightarrow z_2 = z_1 = \text{cons tan te}$$

$$D = \text{cte} \Rightarrow v_2 = v_1 \Rightarrow \alpha_2 = \alpha_1$$

$$\therefore h_{s_{VG}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{p_{m_1} + \gamma \times H - p_{m_2} - \gamma \times H}{\gamma} = \frac{p_{m_1} - p_{m_2}}{\gamma}$$


Relembrando a fórmula para o cálculo da perda de carga singular.
$h_{SVG} = K_{SVG} \times \frac{v^2}{2g}$
$h_{SVG} = K_{SVG} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$
$K_{SVG} = \frac{h_{SVG} \times 2g \times A^2}{Q^2}$
Mas antes temos que calcular o coeficiente de perda de carga distribuída.
Aí podemos pensar em calcular o Leq

Proponho a fórmula de Churchill já que ela vale tanto para o escoamento laminar como para o turbulento.

Determinação do f pela fórmula de Churchill

$$f = 8 \times \left\{ \left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \left[\frac{1}{(A+B)^{1,5}} \right] \right\}^{\frac{1}{12}}$$

$$A = \left\{ -2,457 \times \ln \left[\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + \frac{0,27 \times K}{D} \right] \right\}^{16}$$

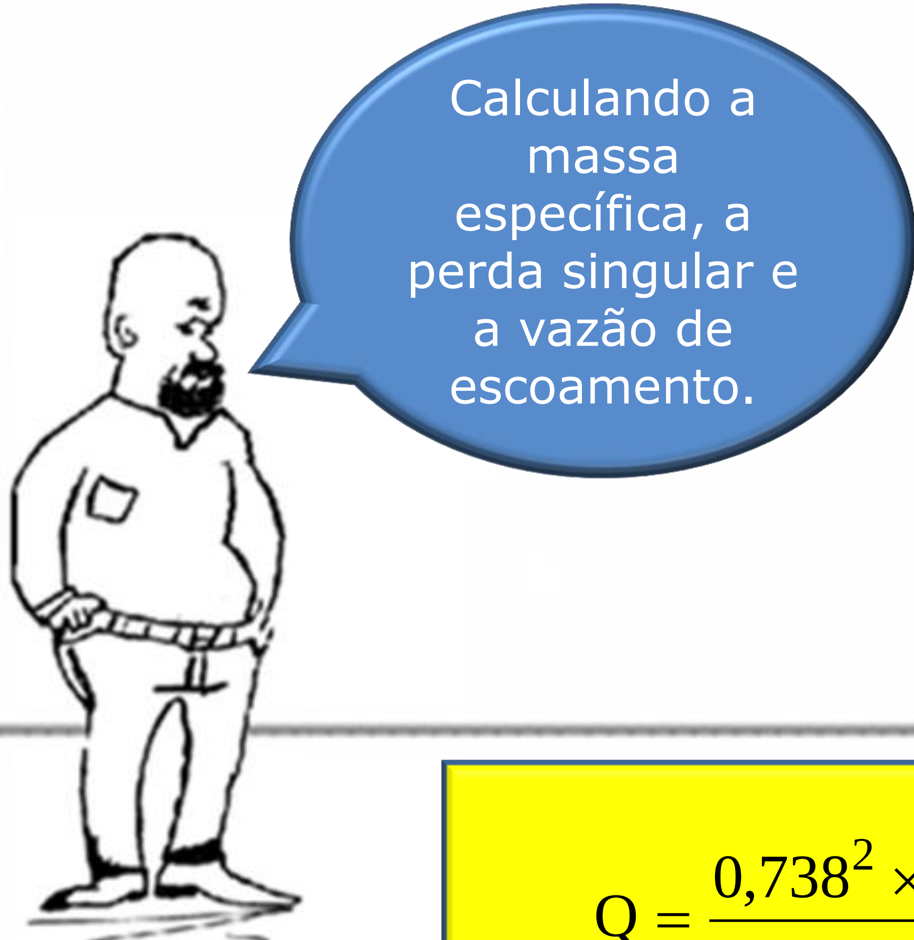
$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

$$Re = \frac{v \times D}{\nu}$$

Dados:
Tubo de aço 40 com diâmetro nominal de 1,5" portanto Dint = 40,8 mm e A = 13,1 cm²


Como eu
começo?



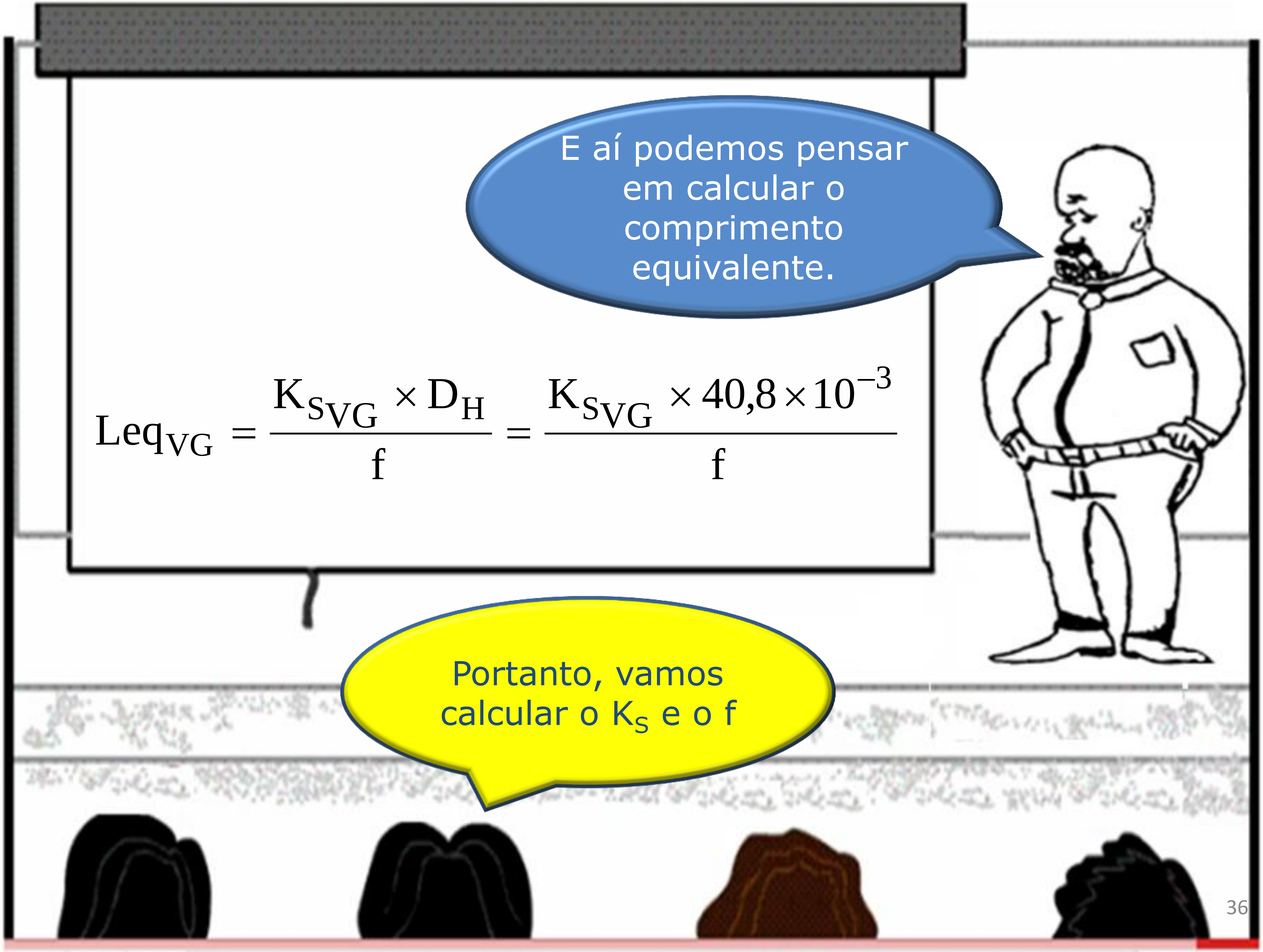
$$t_C = \frac{100}{180} \times (76{,}1 - 32) = 24{,}5^0\,C$$

$$\rho_{24{,}5^0 C} = 1000 - 0{,}0178 \times |24{,}5 - 4|^{1{,}7}$$

$$\rho_{24{,}5^0 C} \cong 996{,}98 \approx 997 \frac{kg}{m^3}$$

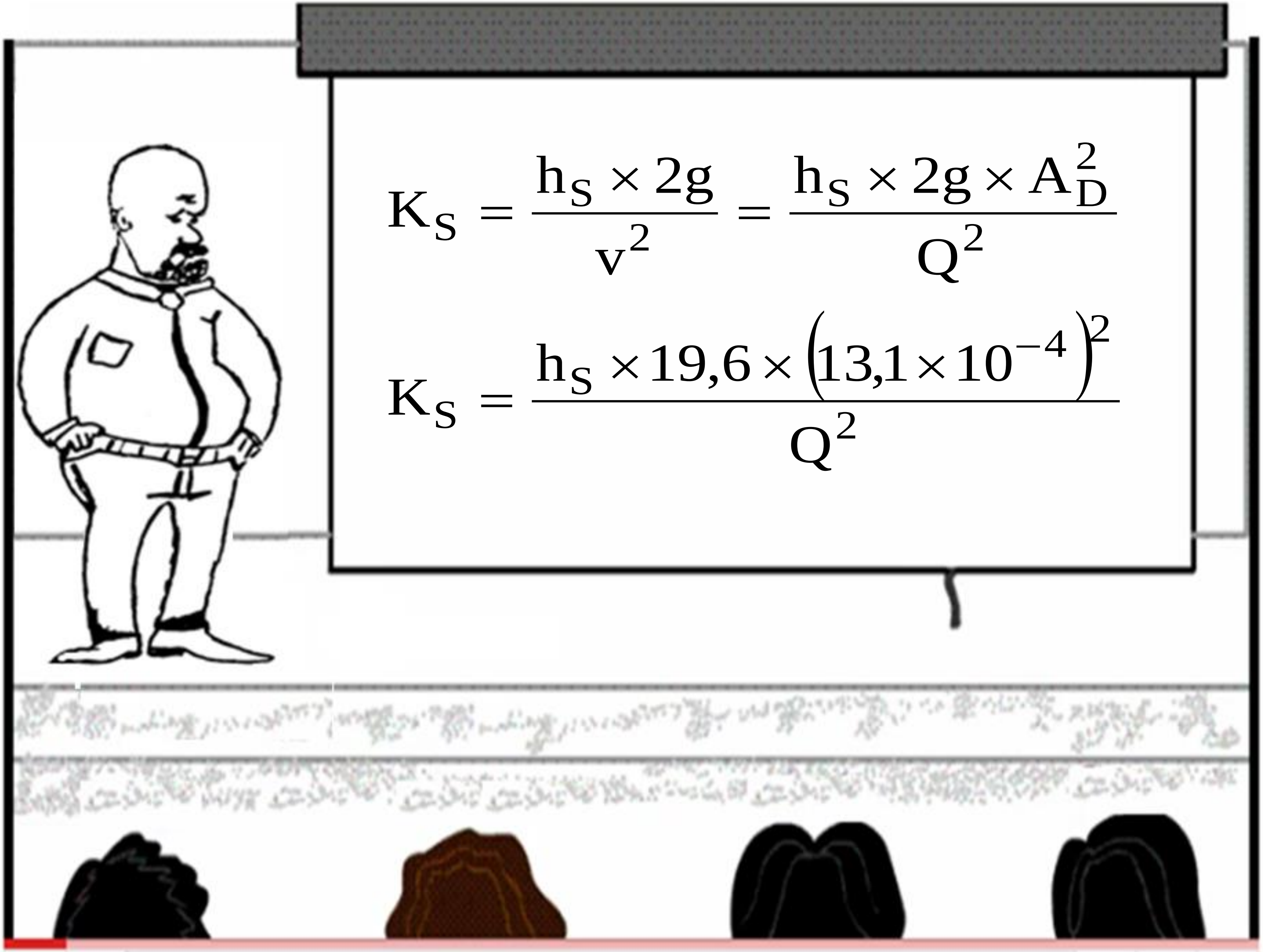
$$h_{s_{VG}} = \frac{(300 - 46) \times 1000}{997 \times 9{,}8} \cong 26m$$

$$Q = \frac{0{,}738^2 \times 0{,}1}{43} \cong 1{,}27 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$



$$Leq_{VG} = \frac{K_{S_{VG}} \times D_H}{f} = \frac{K_{S_{VG}} \times 40{,}8 \times 10^{-3}}{f}$$


Já que calculamos a perda de carga na válvula globo (h_{SVG}) e a vazão, podemos calcular o coeficiente de perda singular.



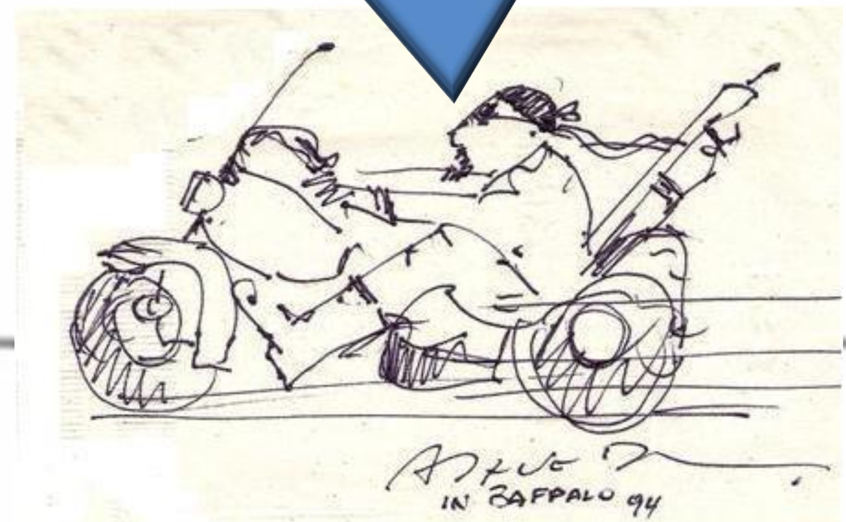
$$K_S = \frac{h_S \times 2g}{v^2} = \frac{h_S \times 2g \times A_D^2}{Q^2}$$

$$K_S = \frac{h_S \times 19{,}6 \times \left(13{,}1 \times 10^{-4}\right)^2}{Q^2}$$

$$K_S = \frac{26 \times 19{,}6 \times \left(13{,}1 \times 10^{-4}\right)^2}{\left(1{,}27 \times 10^{-3}\right)^2}$$

$$\therefore K_S \cong 542{,}21$$

Agora é só calcular o coeficiente de perda de carga distribuída.



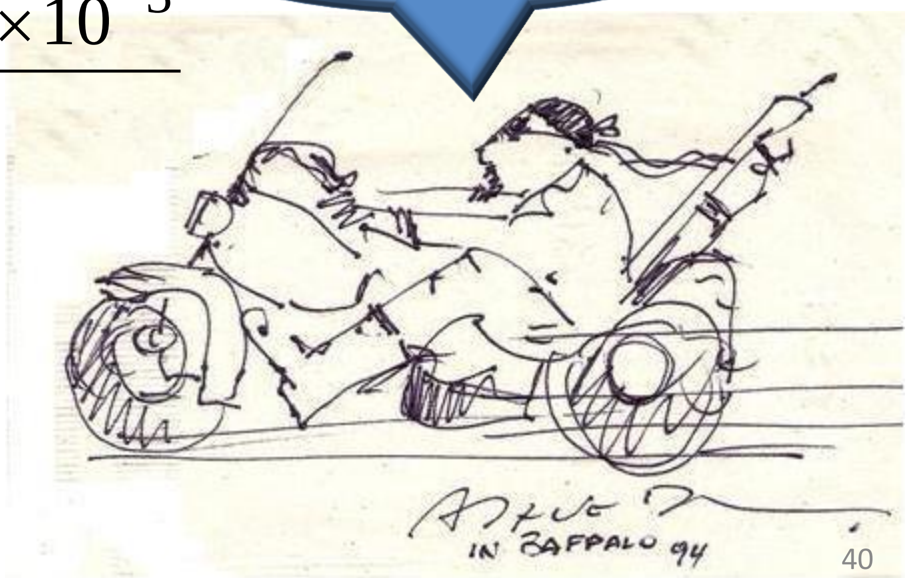
Começamos calculando o número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{\rho \times Q \times D}{\mu \times A}$$

$$Re = \frac{997 \times 1{,}27 \times 10^{-3} \times 40{,}8 \times 10^{-3}}{\mu \times 13{,}1 \times 10^{-4}}$$

$$Re = \frac{39{,}43553588}{\mu}$$

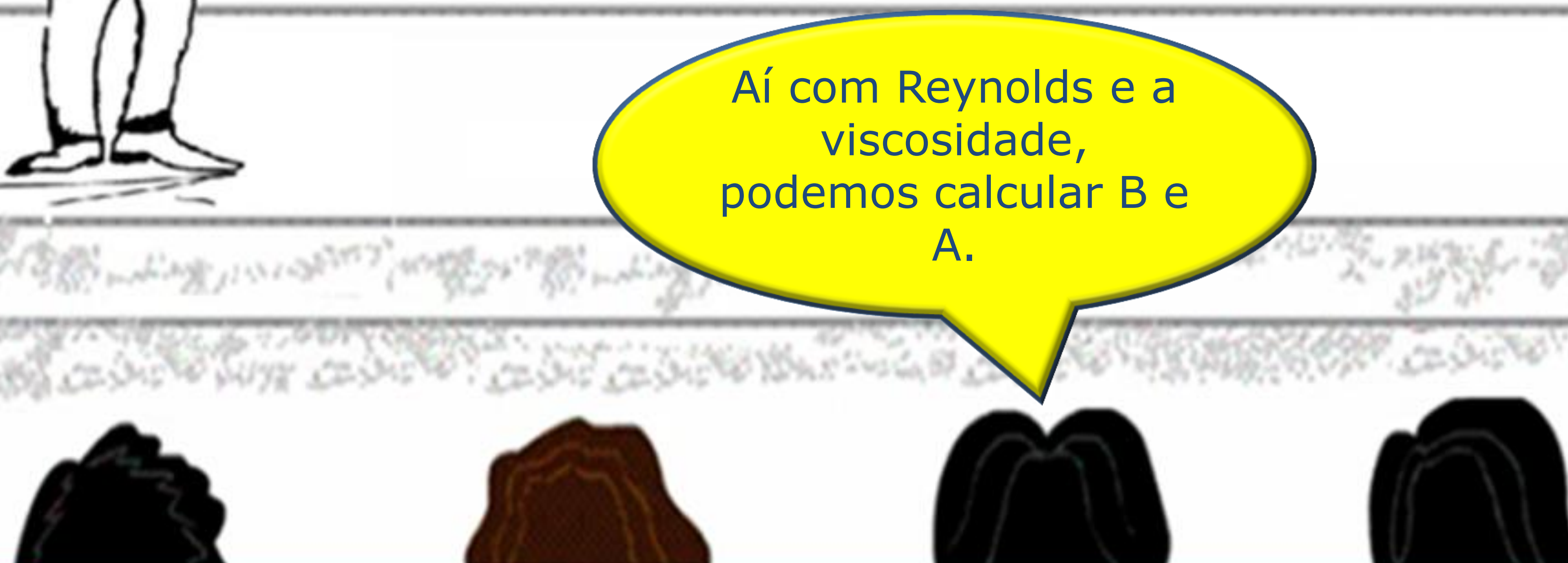
E aí, temos que calcular a viscosidade!



$$\ln\frac{\mu}{1{,}788\times10^{-3}} \cong -1{,}704 - 5{,}306\times z + 7{,}003\times z^2 \rightarrow z = \frac{273}{273+24{,}5}$$

$$\ln\frac{\mu}{1{,}788\times10^{-3}} \cong -1{,}704 - 5{,}306\times\left(\frac{273}{273+24{,}5}\right) + 7{,}003\times\left(\frac{273}{273+24{,}5}\right)^2$$

$$\mu = 1{,}788\times10^{-3}\times e^{-0{,}675976193} \therefore \mu \cong 9{,}1\times10^{-4}\left(\mathrm{Pa}\times\mathrm{s}\right)$$



$$\mathrm{Re} = \frac{39{,}43553588}{9{,}1 \times 10^{-4}} \cong 43335{,}8$$

$$B = \left(\frac{37530}{43335{,}8}\right)^{16} \cong 0{,}100$$

$$A = \left\{ -2{,}457 \times \ln\left[\left(\frac{7}{43335{,}8}\right)^{0{,}9} + \frac{0{,}27 \times 4{,}6 \times 10^{-5}}{40{,}8 \times 10^{-3}}\right]\right\}^{16}$$

$$A \cong 1{,}091 \times 10^{20}$$

$$f = 8 \times \left\{ \left(\frac{8}{43335{,}8} \right)^{12} + \left[\frac{1}{\left(1{,}091 \times 10^{20} + 0{,}100 \right)^{1{,}5}} \right] \right\}^{\frac{1}{12}}$$

$$f \cong 0{,}02502407 \approx 0{,}0251$$

$$Leq = \frac{542{,}21 \times 40{,}8 \times 10^{-3}}{0{,}0251} \cong 881{,}4\,m$$

$$H_p = f \times \frac{\left(L + \sum Leq + Leq_{VG} \right)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2} \rightarrow Q \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow Leq_{VG} \uparrow\uparrow\uparrow \therefore H_p \uparrow$$

que é opostodo observado na tubulação antes da bomba