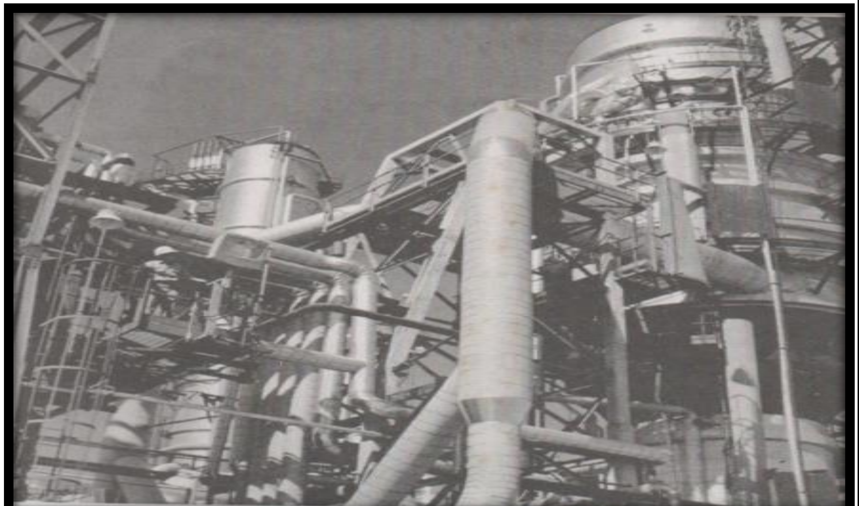
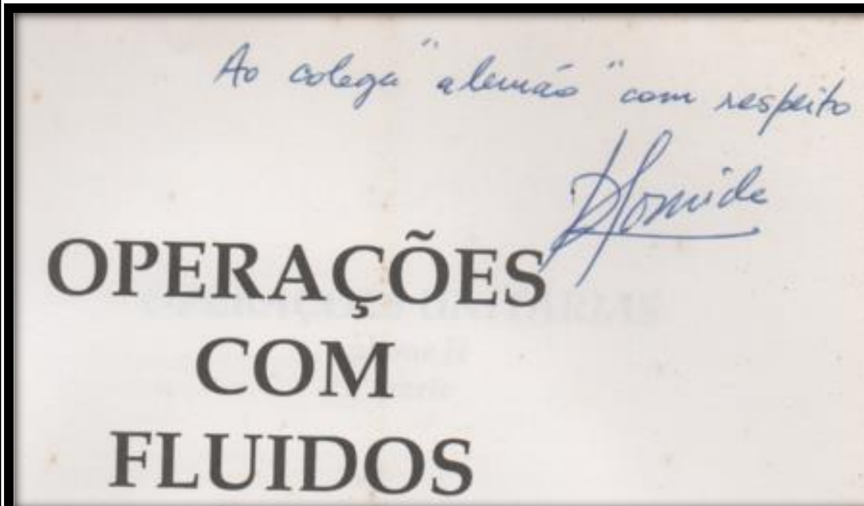
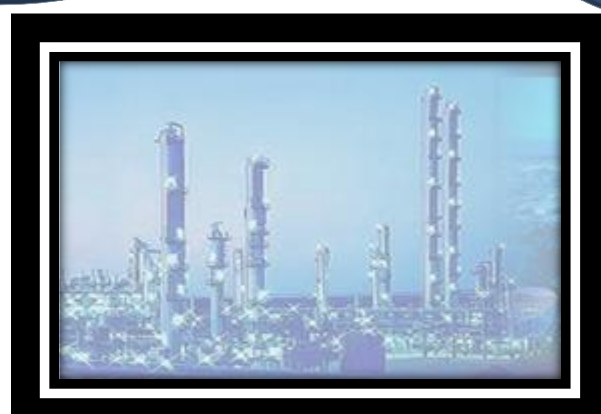


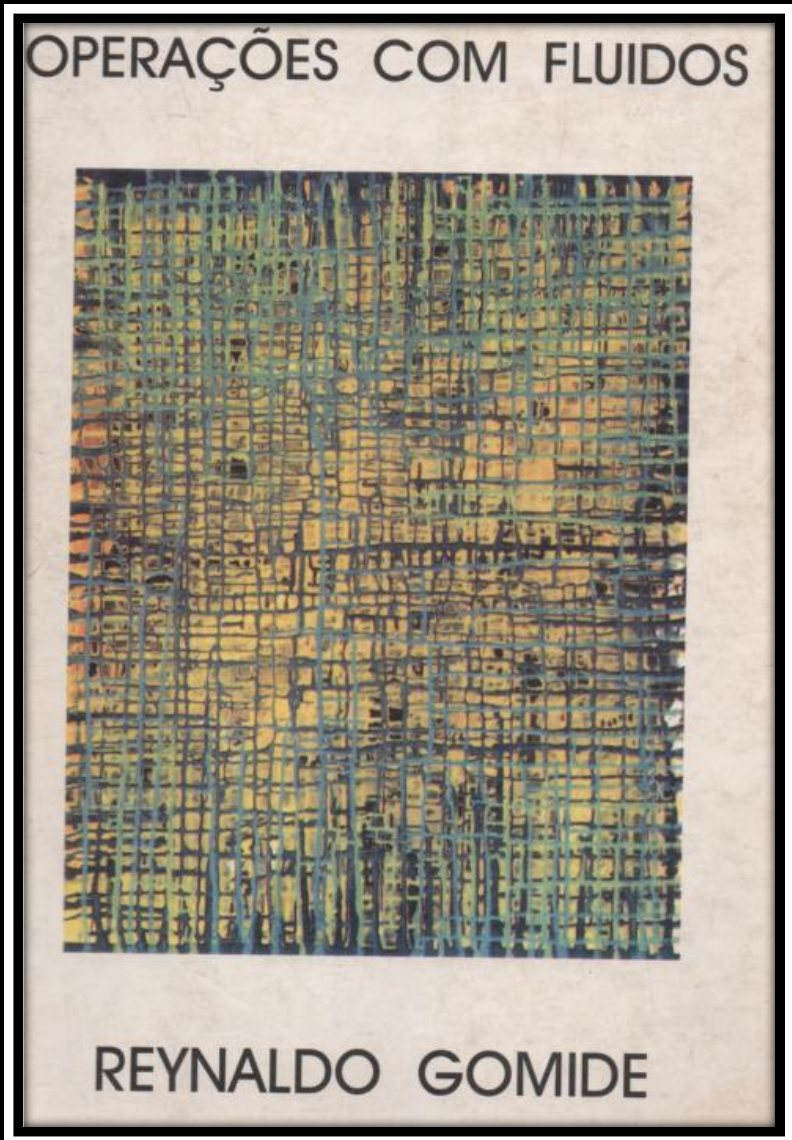

Ao colega "alemão" com respeito
Gomide
OPERAÇÕES
COM
FLUIDOS


Será realmente importante na engenharia química o estudo de bombeamento dos fluidos?




Uma homenagem ao professor Gomide que nos deixou em janeiro de 2013

Respondendo através do professor Gomide

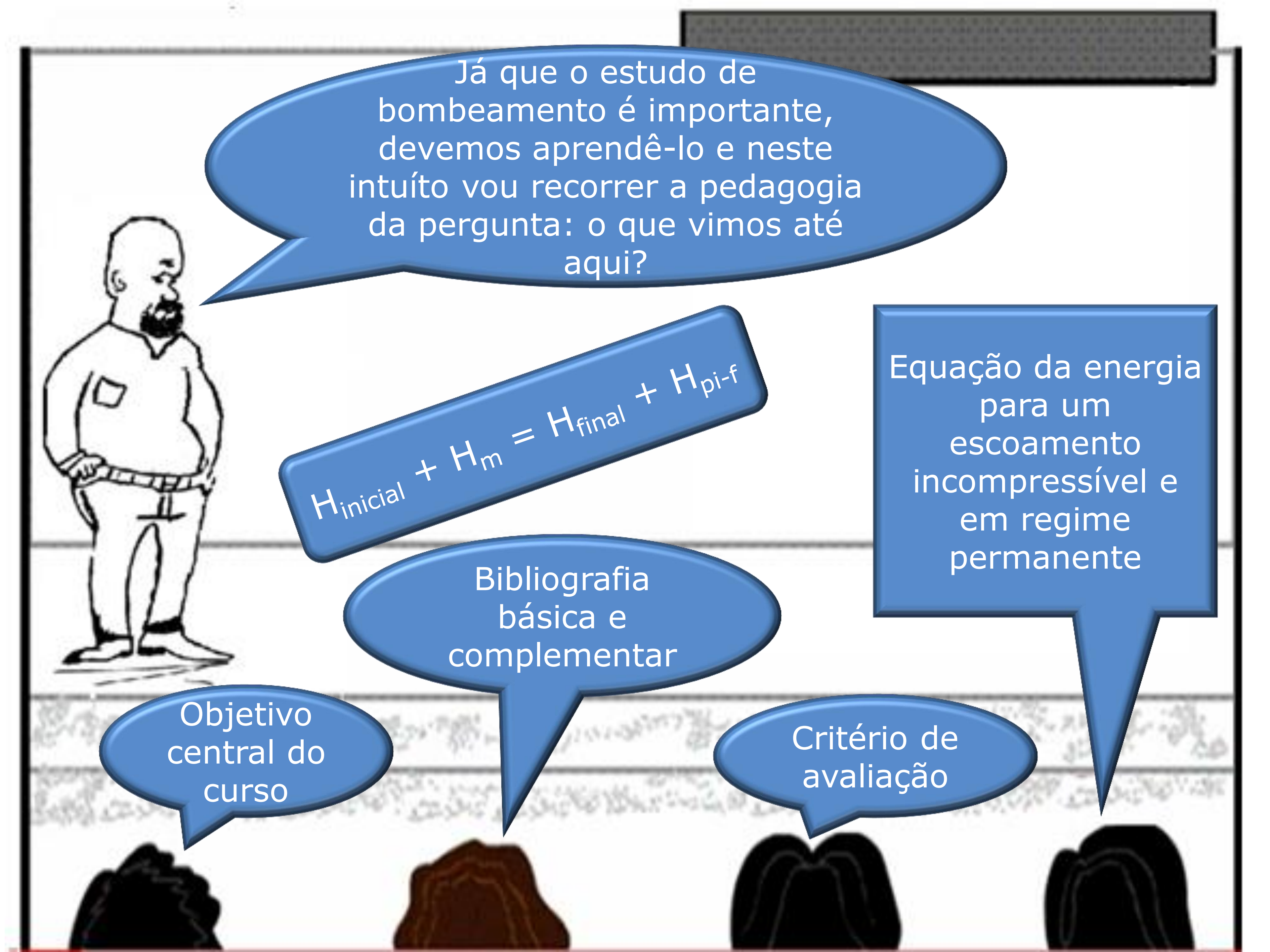


8

BOMBEAMENTO DE LÍQUIDOS

Os fluidos em movimento são a essência dos processos industriais de hoje. Daí a importância dos dispositivos destinados a movê-los ou que por eles são movidos. As tubulações, e por isso a própria unidade produtiva, seriam inoperantes sem esses equipamentos. Trata-se das bombas, ventiladores, sopradores, compressores, bombas de vácuo e uma variedade de outros dispositivos.

O engenheiro químico não os projeta, mas deve saber selecioná-los dentre os tipos e modelos padronizados oferecidos pelos fabricantes para poder especificá-los com acerto. Isto requer familiarização com as características de funcionamento dos tipos gerais existentes. Será útil lembrar que a tecnologia fundamental vem progredindo ao longo dos anos para acompanhar o desenvolvimento da indústria de processo químico, de modo a atender às crescentes necessidades de desempenho, segurança, proteção ambiental e economia. Este fato recomenda uma atualização constante do engenheiro de processo nesta área.



Já que o estudo de bombeamento é importante, devemos aprendê-lo e neste intuíto vou recorrer a pedagogia da pergunta: o que vimos até aqui?
$H_{inicial} + H_m = H_{final} + H_{pi\text{-}f}$
Equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente
Bibliografia básica e complementar
Objetivo central do curso
Critério de avaliação

IMPORTANTE:

1. Em um trecho sem máquina o fluido sempre escoa da maior carga para a menor carga

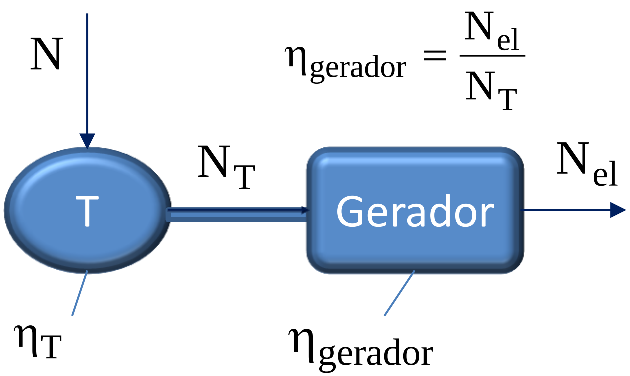
2. A máquina pode ser uma turbina (retira carga do fluido) ou bomba (fornece carga para o fluido).

Até aqui também estudamos:

Noção de potências e rendimentos.

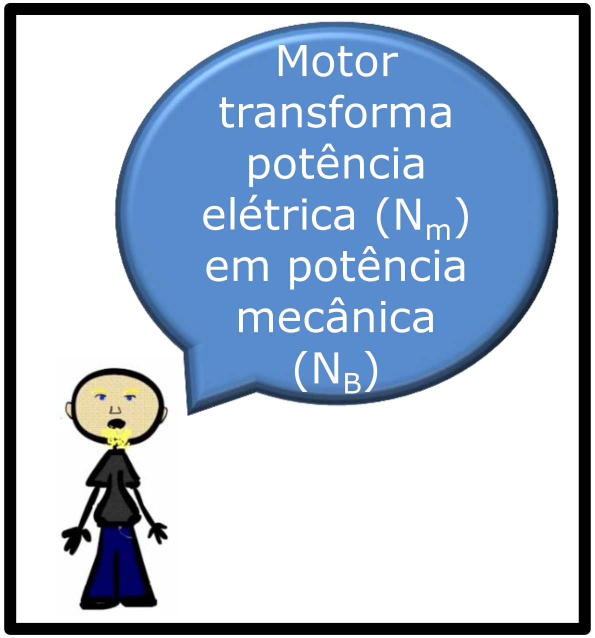
$$H_m = -H_T \qquad \eta_{global} = \eta_T \times \eta_{gerador}$$

$$\eta_{gerador} = \frac{N_{el}}{N_T}$$



Turbina transforma potência hidráulica (N) em potência mecânica (N_T), já o gerador transforma potência mecânica em elétrica (N_{el}).

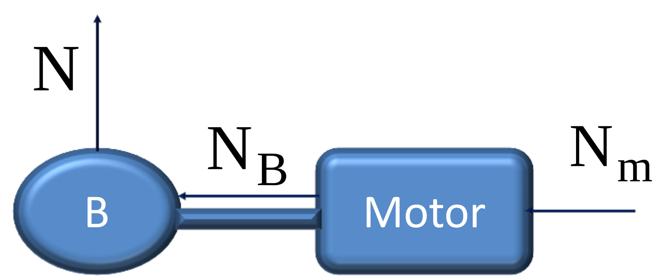
$$N = \gamma \times Q \times H_T \qquad \eta_T = \frac{N_T}{N}$$



$$N = \gamma \times Q \times H_B$$

$$\eta_m = \frac{N_B}{N_m}$$

$$\eta_B = \frac{N}{N_B}$$



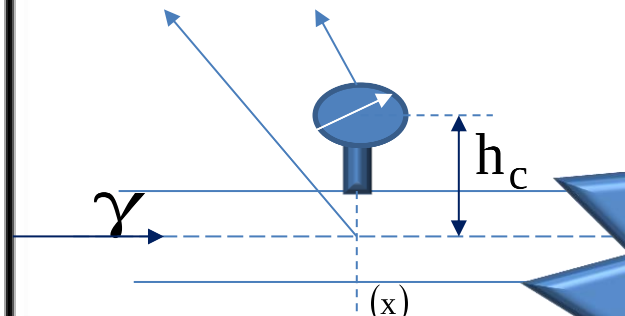
$$\eta_{global} = \eta_m \times \eta_B = \frac{N}{N_m}$$

O único trecho que não consideramos a perda de carga na equação da energia é entre a entrada e a saída da máquina, isto porque a perda já é considerada em seu rendimento.

$$H_e - H_T = H_s \rightarrow H_e + H_B = H_s$$

Muitas vezes temos que corrigir a pressão lida no manômetro metálico para determinarmos a pressão em uma seção do escoamento

$$p_x = p_m + \gamma \times h_c$$



importante

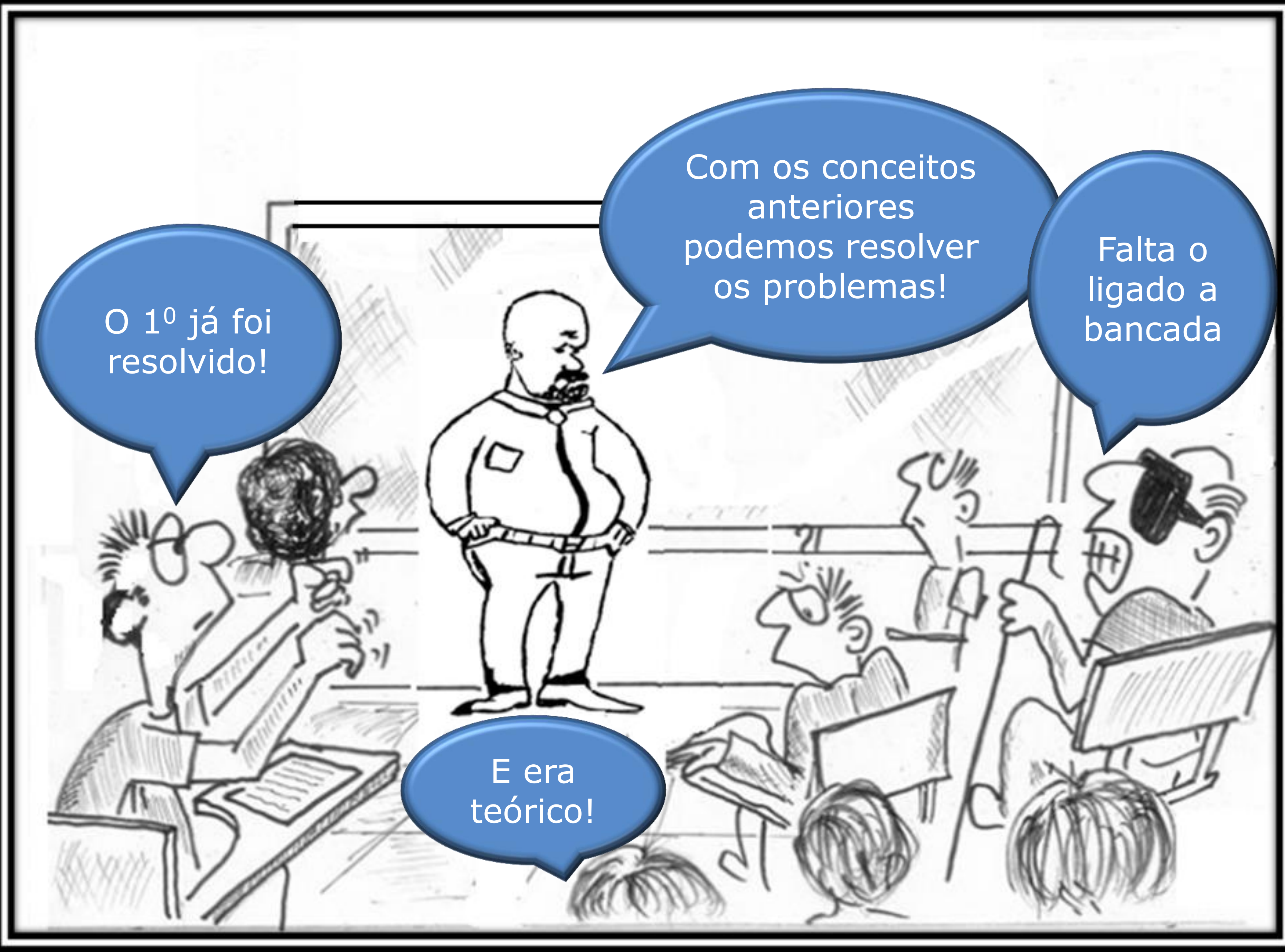
A carga total em uma seção (x) do escoamento incompressível e em regime permanente que é considerada na equação da energia é:

$$H_x = z_x + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{\alpha_x \times v_x^2}{2g}$$

$$\alpha_x = 2{,}0 \Rightarrow Re \leq 2000 \Rightarrow \text{la min ar}$$

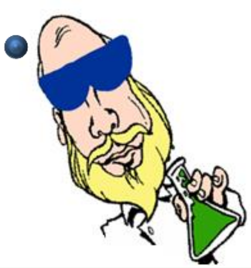
$$\alpha_x \cong 1{,}0 \Rightarrow Re \geq 4000 \Rightarrow \text{turbulento}$$

Caso a altura para correção (hc) não seja dada, devemos considerá-la desprezível.

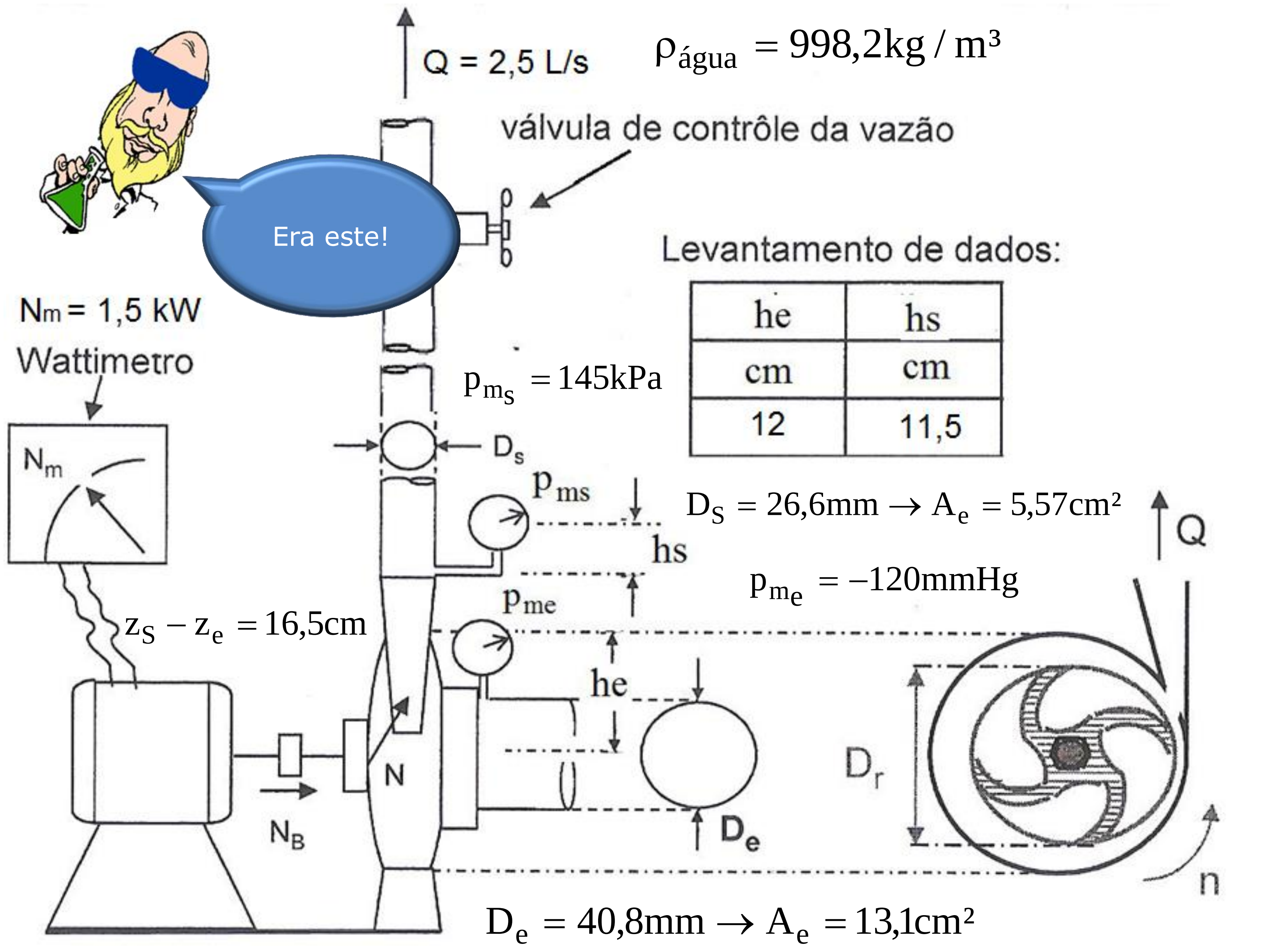

O 1⁰ já foi resolvido!
Com os conceitos anteriores podemos resolver os problemas!
Falta o ligado a bancada
E era teórico!

Bancada que representa uma instalação de recalque

Onde o escoamento não é espontâneo, já que ocorre da cota inferior para superior




Sintetizo a solução do primeiro e em seguida resolvo o segundo proposta na bancada, lembrando que o terceiro está no facebook e para acessá-lo copie o endereço abaixo e navegue: http://www.facebook.com/home.php#!/groups/568521456493062/



$\rho_{água} = 998{,}2 kg/m^3$

Levantamento de dados:

he	hs
cm	cm
12	11,5

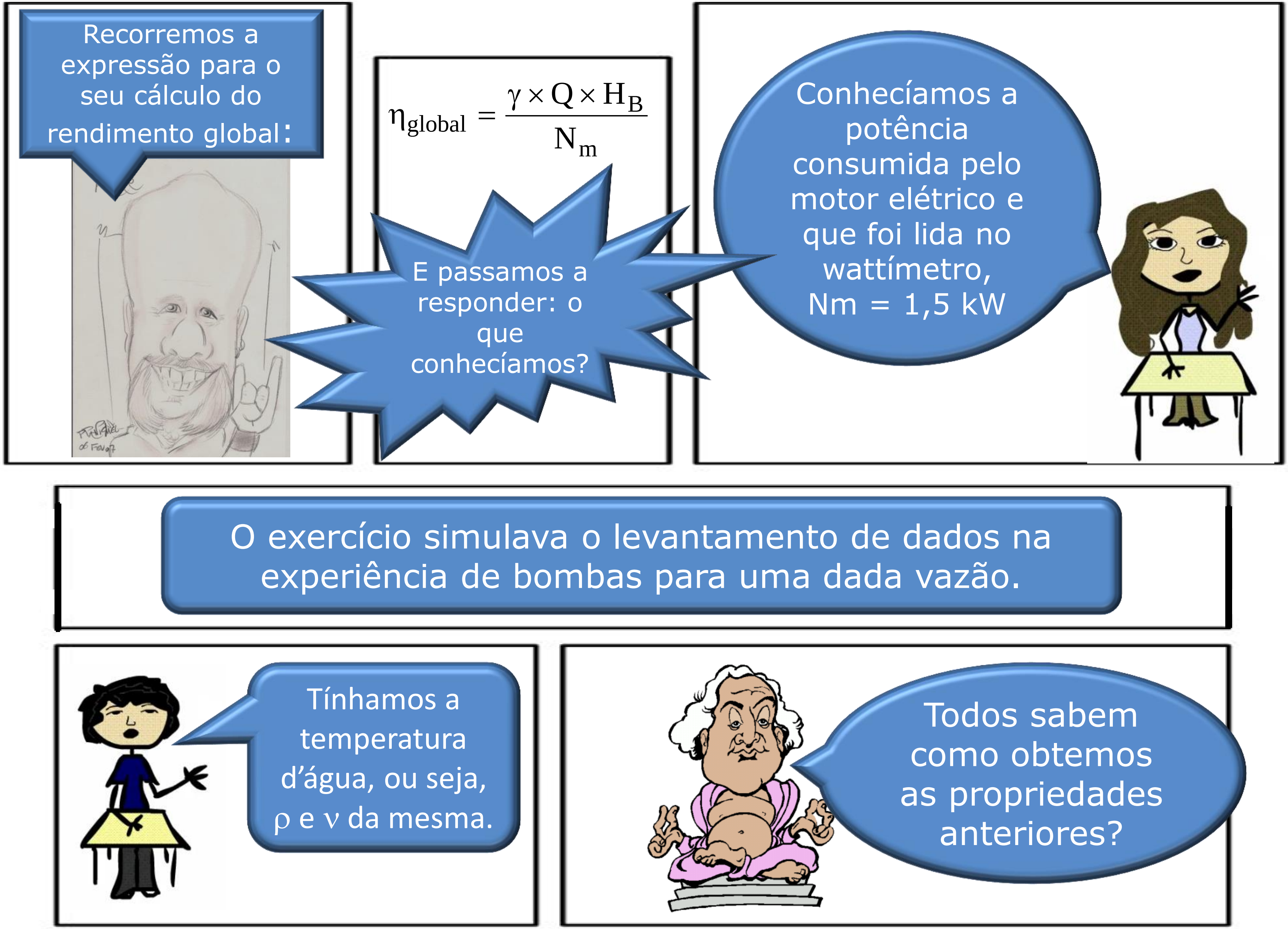
$p_{m_S} = 145 kPa$

$D_S = 26{,}6 mm \rightarrow A_e = 5{,}57 cm^2$

$p_{m_e} = -120 mmHg$

$z_S - z_e = 16{,}5 cm$

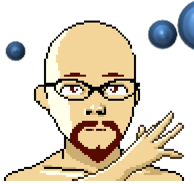
$D_e = 40{,}8 mm \rightarrow A_e = 13{,}1 cm^2$


Recorremos a expressão para o seu cálculo do rendimento global:
$\eta_{global} = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{N_m}$
E passamos a responder: o que conhecíamos?
Conhecíamos a potência consumida pelo motor elétrico e que foi lida no wattímetro, Nm = 1,5 kW
O exercício simulava o levantamento de dados na experiência de bombas para uma dada vazão.
Tínhamos a temperatura d’água, ou seja, ρ e ν da mesma.
Todos sabem como obtemos as propriedades anteriores?


Entramos na página:
http://www.escoladavida.eng.br
Clicamos "Na engenharia"
Aí clicamos em "mecânica dos fluidos"
Clicamos então: "para a engenharia química"
Obrigado Zé!
Aí em "planejamento atual"

Clicamos em “consultas”

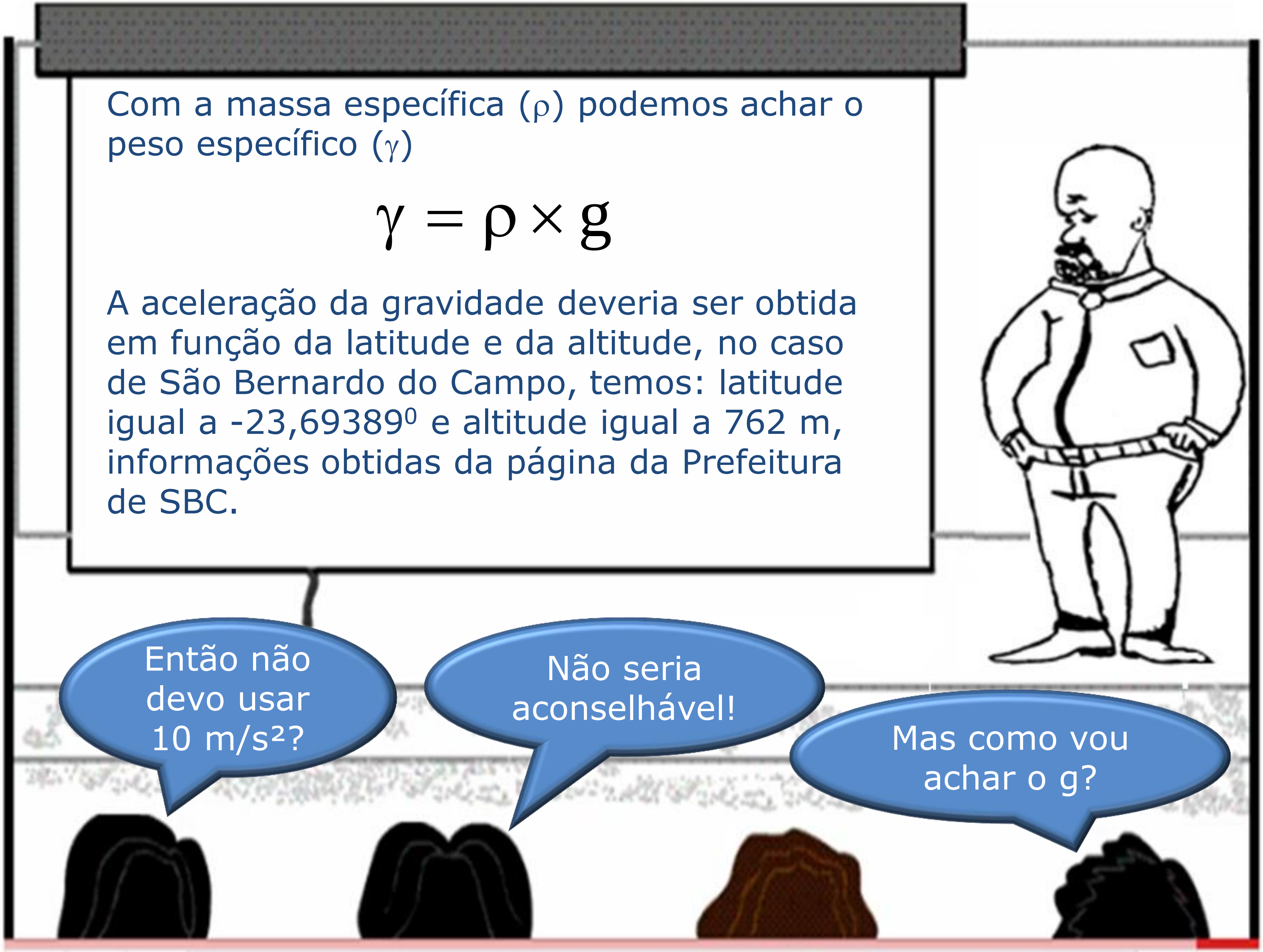
Finalmente em “Obtenção das propriedades do mercúrio e d’água em função da temperatura”

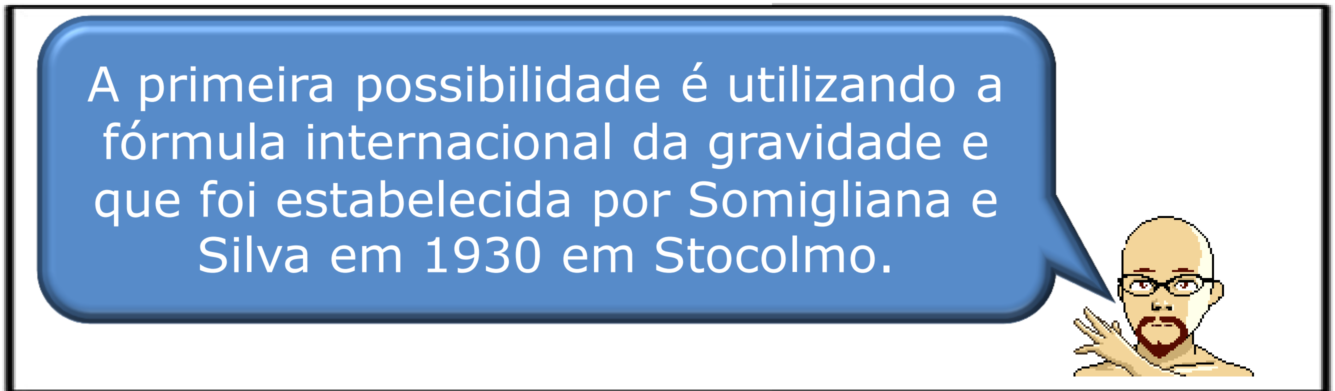


Propriedades do mercúrio em função da temperatura

θ	ρ_w	ν_w	ρ_{Hg}
		* 10^6	
[°C]	[kg/m³]	[m²/s]	[kg/m³]
0	999,8	1,791	13595
1	999,9	1,731	13593
2	1000,0	1,674	13590
3	1000,0	1,620	13588
4	1000,0	1,568	13585
5	999,9	1,520	13583
6	999,9	1,473	13580
7	999,9	1,429	13578
8	999,9	1,387	13575
9	999,8	1,346	13573
10	999,7	1,308	13570
11	999,6	1,271	13568
12	999,5	1,236	13565
13	999,4	1,202	13563
14	999,2	1,170	13561

θ	ρ_w	ν_w	ρ_{Hg}
		* 10^6	
[°C]	[kg/m³]	[m²/s]	[kg/m³]
21	998,0	0,980	13543
22	997,8	0,957	13541
23	997,5	0,934	13538
24	997,3	0,913	13536
25	997,0	0,892	13534
26	996,8	0,873	13531
27	996,5	0,854	13529
28	996,2	0,835	13526
29	995,9	0,817	13524
30	995,7	0,800	13521
31	995,3	0,784	13519
32	995,0	0,768	13516
33	994,7	0,753	13514
34	994,4	0,738	13511


Com a massa específica (ρ) podemos achar o peso específico (γ)
$\gamma = \rho \times g$
A aceleração da gravidade deveria ser obtida em função da latitude e da altitude, no caso de São Bernardo do Campo, temos: latitude igual a -23,69389⁰ e altitude igual a 762 m, informações obtidas da página da Prefeitura de SBC.
Então não devo usar 10 m/s²?
Não seria aconselhável!
Mas como vou achar o g?



$$g_{\varphi} = 978{,}049 \times \left(1 + 0{,}005288 \times \operatorname{sen}^2\varphi - 0{,}0000059 \times \operatorname{sen}^2 2\varphi\right)$$

$g_{\varphi} \rightarrow$ aceleração da gravidade em função da latitude (φ) ao nível do mar

$978{,}049 \rightarrow$ é o valor de referência da aceleração da gravidade em cm^2/s e considerado na linha do Equador.

$\varphi \rightarrow$ latitude em graus

A correção para a altitude (z) é feita pela expressão da balança de Jolly :

$$g_z = g_{\varphi} \times (1 - 0{,}000000309 \times z)$$

$z \rightarrow$ altitude em metro

A segunda possibilidade é utilizando a fórmula apresentada no Manual de Hidráulica escrito pelo professor Azevedo Netto e outros e editado pela Edgard Blucher em sua 8ª edição

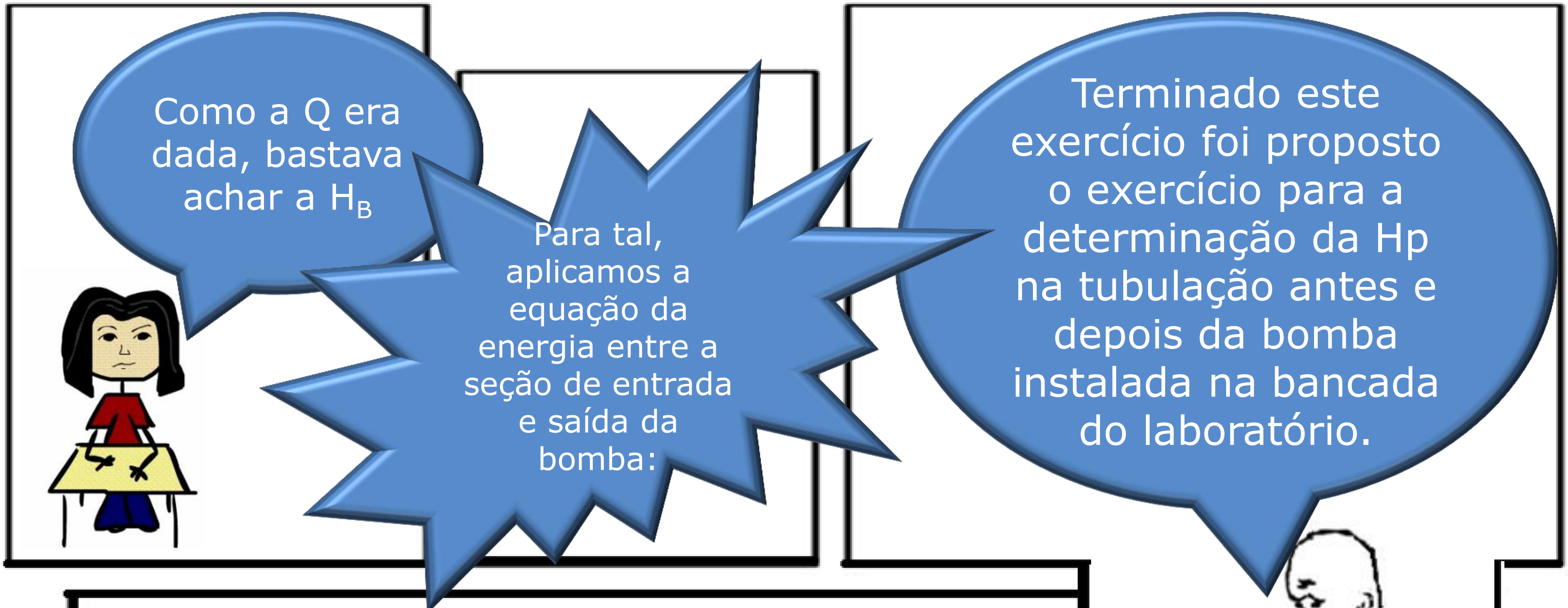
$$g = 980{,}616 - 2{,}5928 \times \cos 2\varphi + 0{,}0069 \times (\cos 2\varphi)^2 - 0{,}3086 \times H$$

$\varphi \rightarrow$ latitude em graus

$H \rightarrow$ altitude em km

$g \rightarrow$ aceleração da gravidade em cm/s²

Considerando os dados de SBC em ambas as fórmulas obtemos g aproximadamente igual a 9,8 m/s²



$$H_e + H_B = H_s$$

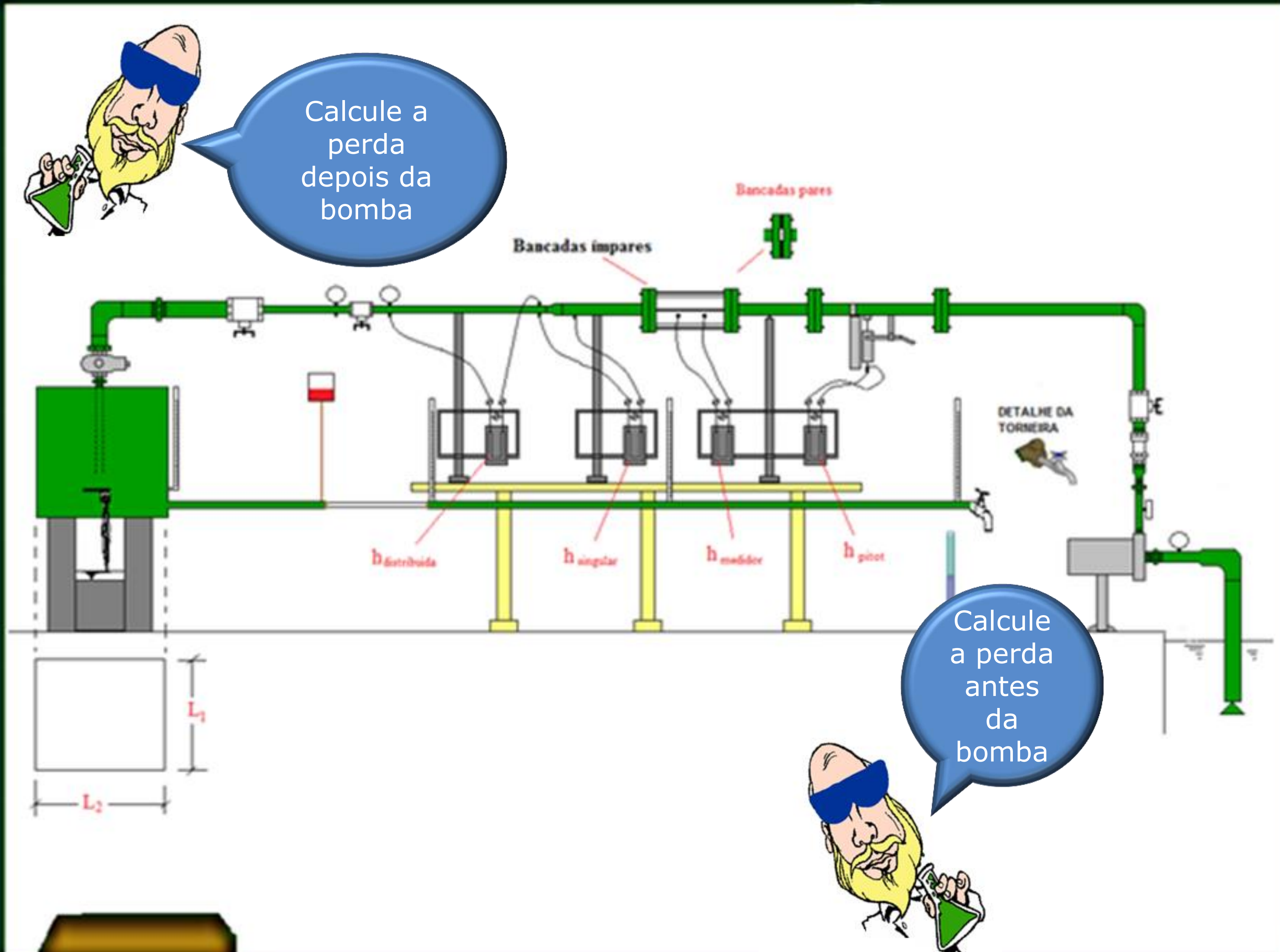
$$z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_B = z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2}{2g}$$

Obtínhamo a H_B e em seguida o η_{global}

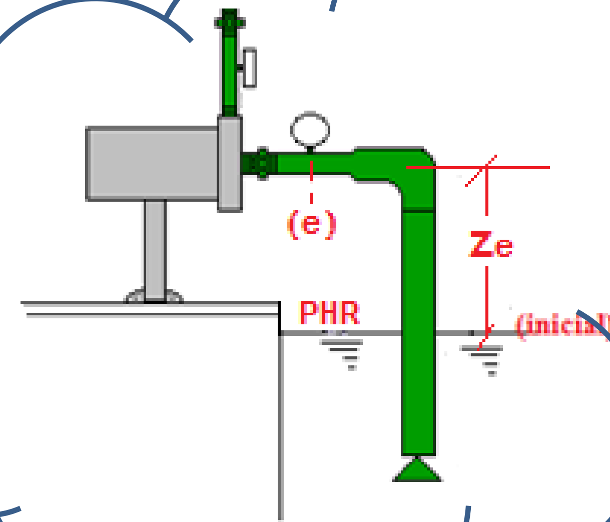
"O saber se aprende com os mestres. A sabedoria só com o corriqueiro da vida."

Cora Coralina

Reflitam sobre isto!


Calcule a perda depois da bomba
Bancadas pares
Bancadas impares
DETALHE DA TORNEIRA
$h_{distribuida}$
$h_{singular}$
$h_{medidor}$
h_{pitot}
L_1
L_2
Calcule a perda antes da bomba

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

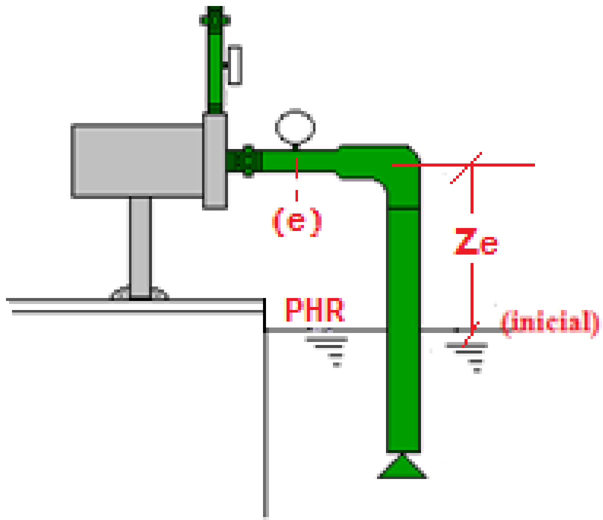
Dados coletados pelos monitores

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:

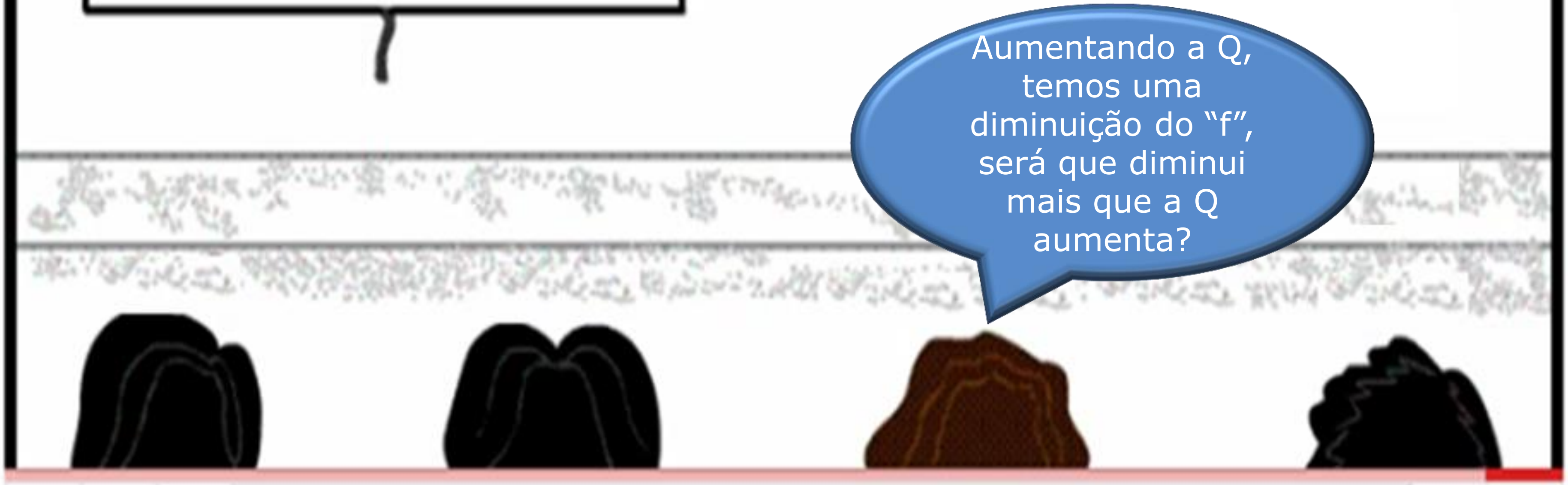


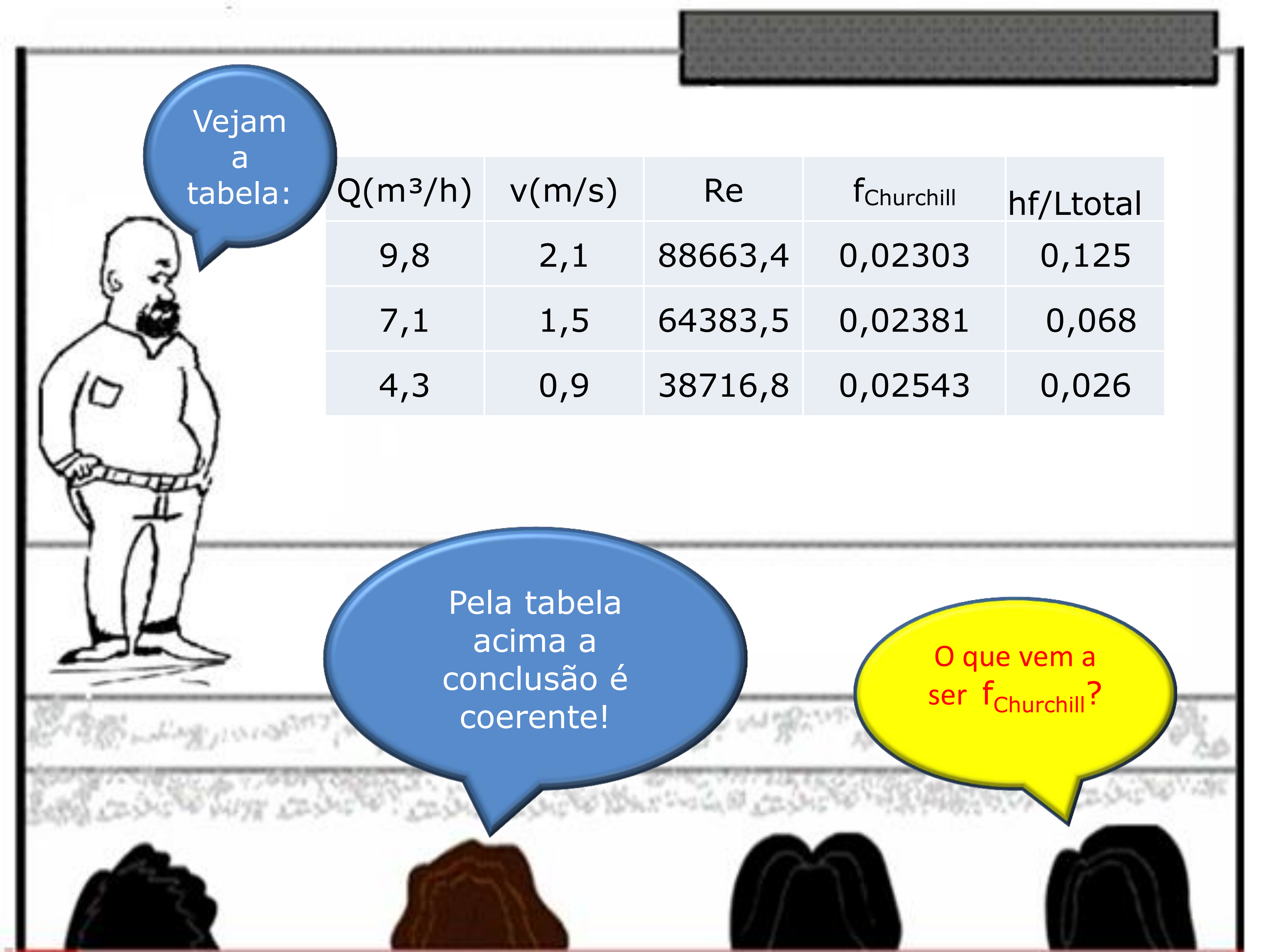
$$H_{paB} = f \times \frac{\left(L + \sum Leq\right)_{aB}}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

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

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

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



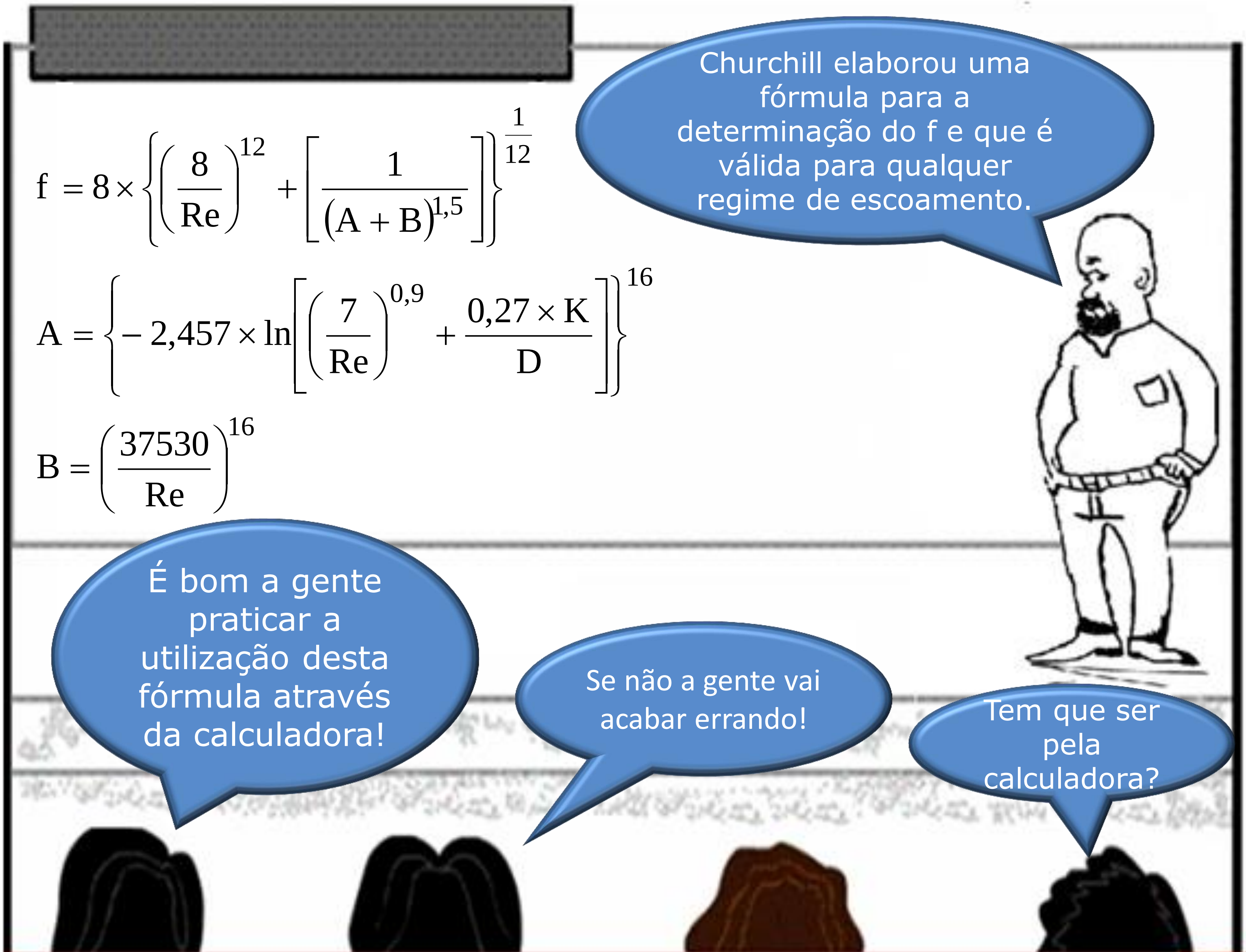


Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Churchill}$	hf/Ltotal
9,8	2,1	88663,4	0,02303	0,125
7,1	1,5	64383,5	0,02381	0,068
4,3	0,9	38716,8	0,02543	0,026

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

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

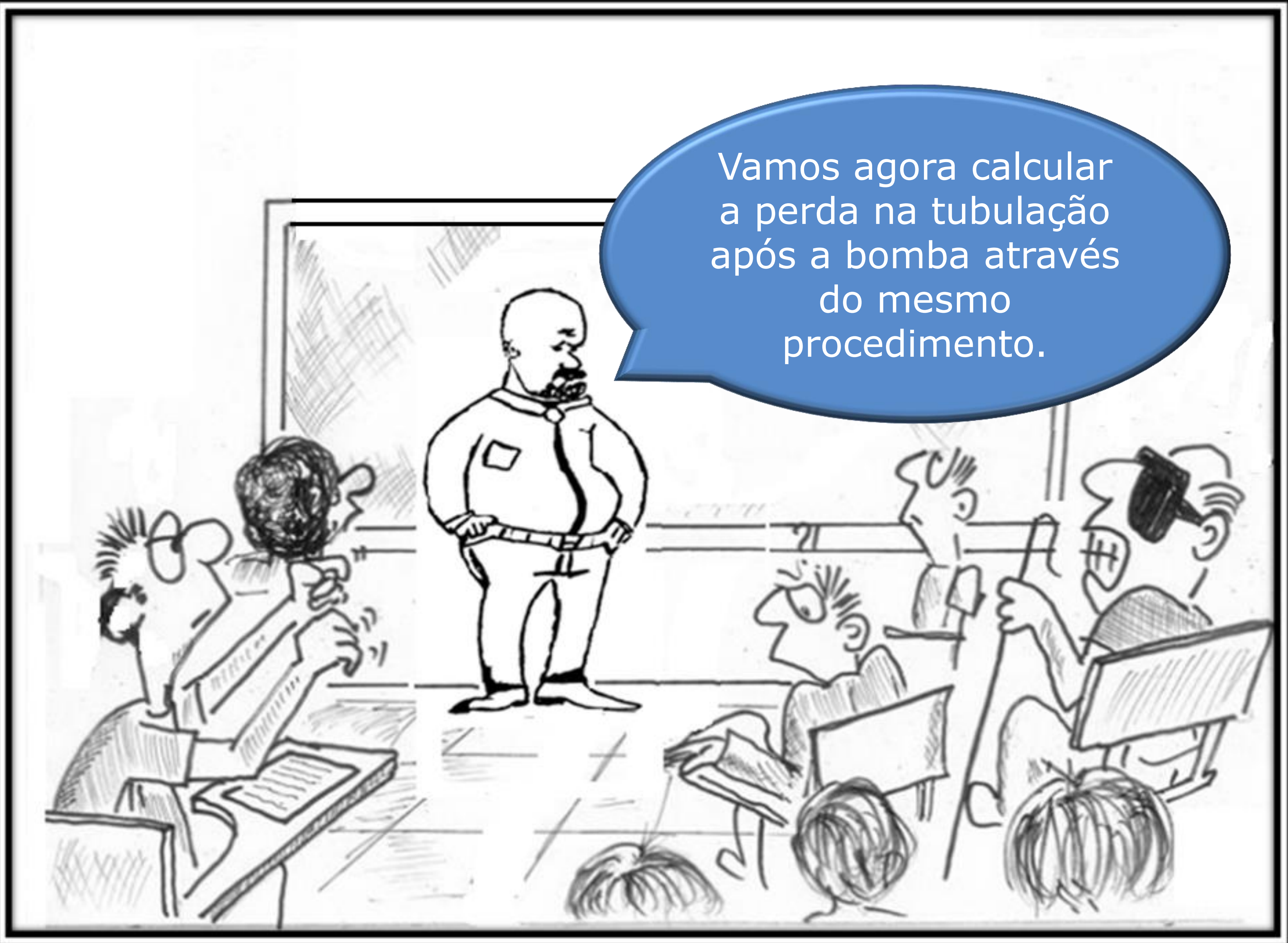
$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

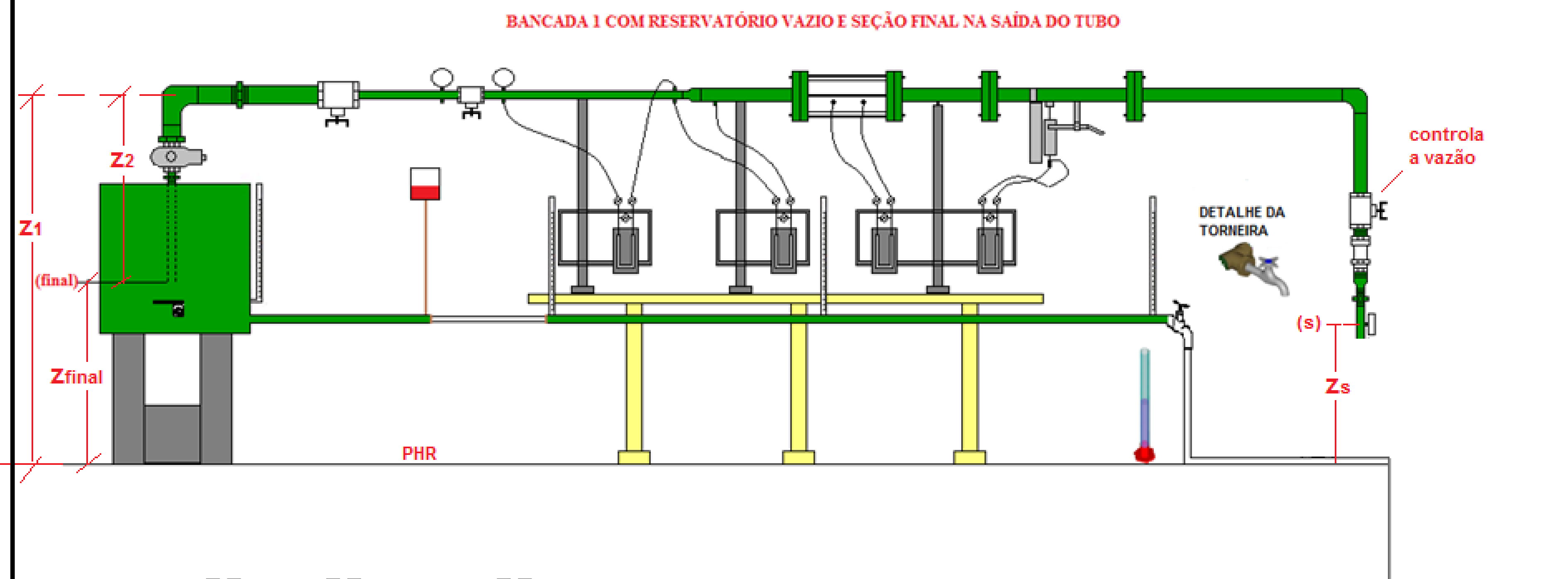


[redacted]

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

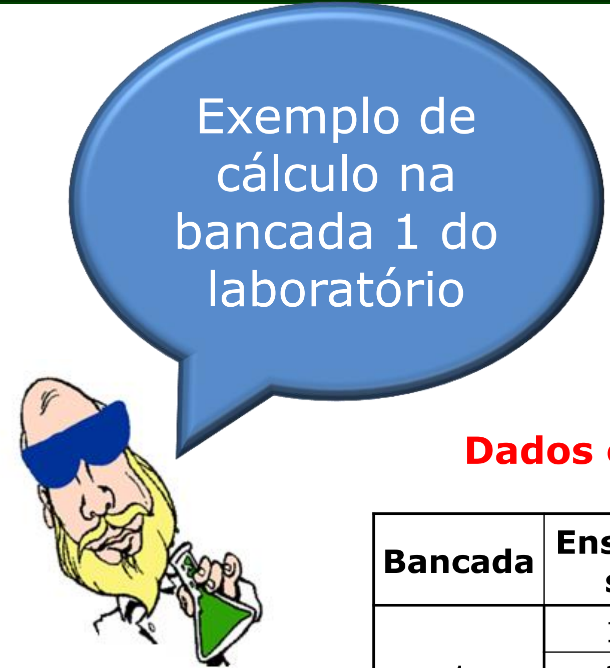

Vamos agora calcular a perda na tubulação após a bomba através do mesmo procedimento.



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

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

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



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


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

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

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

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

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

Aumentando a Q, temos uma diminuição tanto do “f” como do $L_{total\ dB}$, será que diminuem mais que a Q aumenta?


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