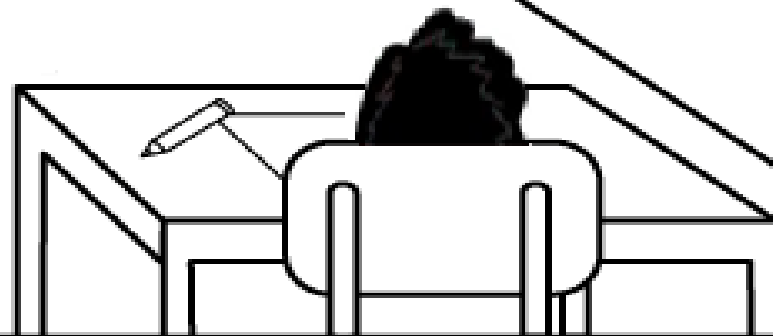
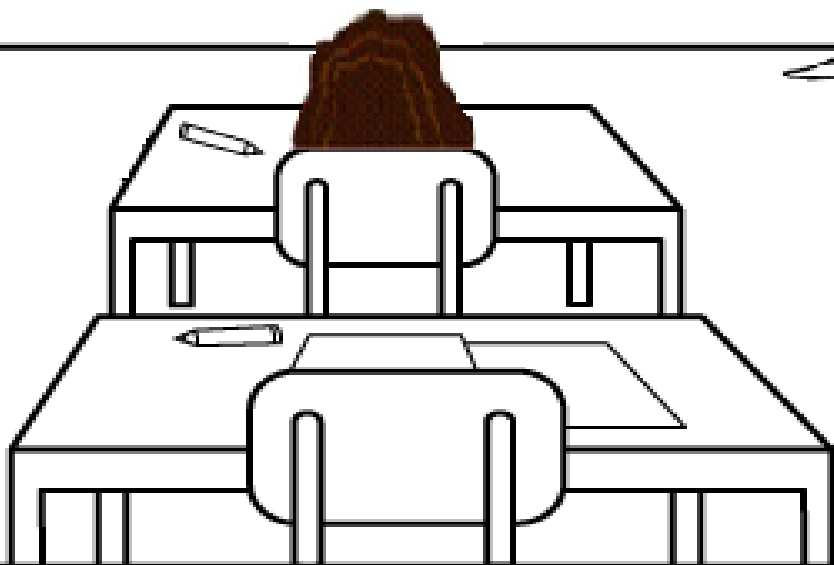
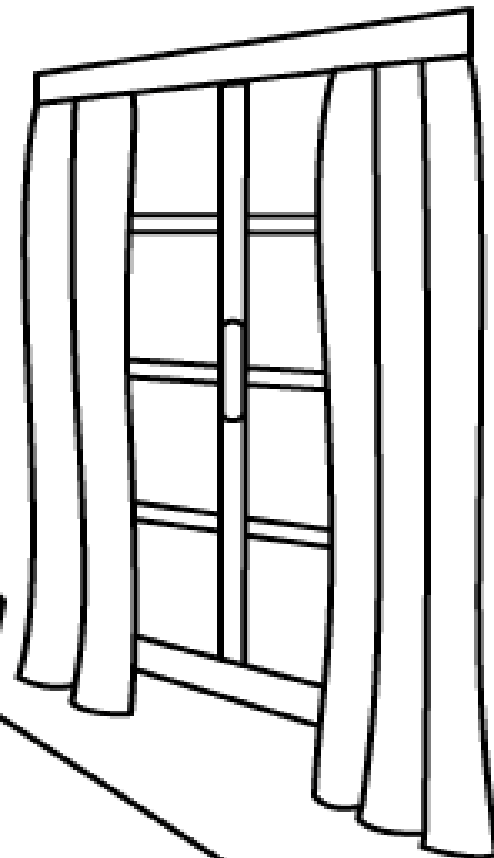
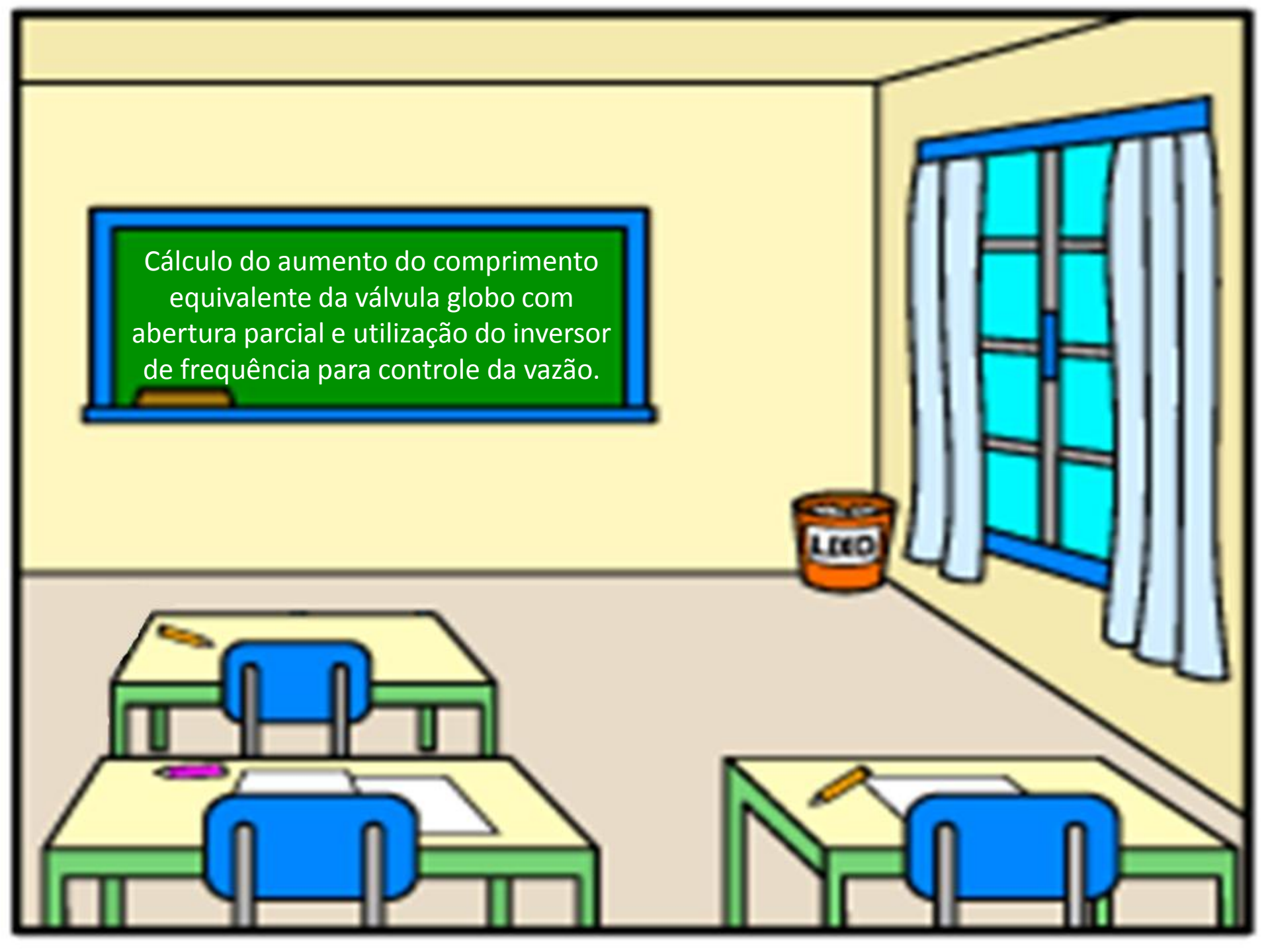


Primeiro semestre de 2012
Mecânica dos Fluidos para a
engenharia química
Aula 6 de teoria





Cálculo do aumento do comprimento equivalente da válvula globo com abertura parcial e utilização do inversor de frequência para controle da vazão.

LEGO



Considerando o final da aula anterior

$$H_B = -0,0005 \times (45,1)^2 - 0,2292 \times 45,1 + 33,49 = 22,01\text{m}$$

Como a vazão de projeto é 45,1 m³/h podemos fechar a válvula globo até esta vazão e aí calculamos o novo H_B



Este procedimento muda a equação da CCI.



$$H_s = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + (f_{5''} \times 143465,74 + f_{4''} \times 572694,41) \times Q^2$$

CCI com as válvulas
globo totalmente
abertas.

Vamos controlar a vazão
com a válvula globo após
a bomba (tubulação de
recalque).

$$H_{\text{estática}} = H_{\text{est}} = 15\text{m}$$

$$H_{\text{estática}} = H_{\text{est}} = (z_f + z_i) + \frac{(p_f - p_i)}{\gamma}$$



Calculando as perdas

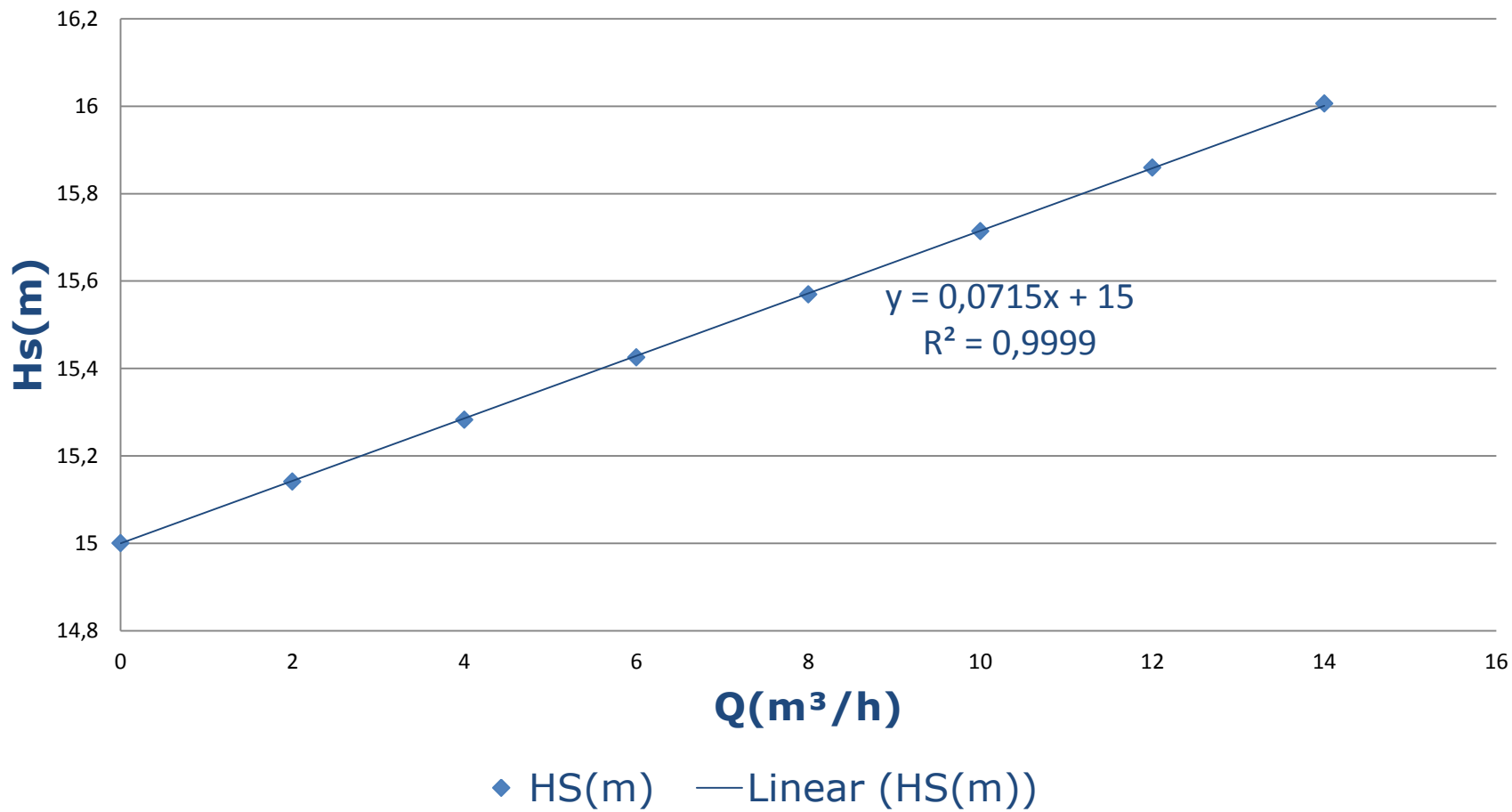
	L(m)	ΣLeq		
		Cotovêlo	VGA	
5"	3,2	3 x 4,7	1 x 43	
		Curva	VGA	V _{RetVert}
4"	19,6	5 x 2,18	1 x 34	1 x 12,9

$$H_{pD} = f_D \times \frac{(L + \sum Leq)_D}{D_{HD}} \times \frac{Q^2}{2g \times A_D^2}$$

$$H_{p_{total}} = f_{5''} \times \frac{(3,2 + 57,1)}{0,1283} \times \frac{Q^2}{19,6 \times \left(\frac{\pi \times 0,1283^2}{4} \right)^2} + f_{4''} \times \frac{(19,6 + 57,8)}{0,1023} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p_{total}} = f_{5''} \times 143465,74 \times Q^2 + f_{4''} \times 572694,41 \times Q^2$$

CCI válvula globo de 4" totalmente aberta



$$-0,0005Q^2 - 0,2292Q + 33,49 = 0,0715Q + 15$$

$$0,0005Q^2 + 0,3007Q - 18,49 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{-0,3007 + \sqrt{0,3007^2 + 4 \times 0,0005 \times 18,49}}{2 \times 0,0005} \cong 56,23 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_B = -0,0005 \times (56,23)^2 - 0,2292 \times 56,23 + 33,49$$

$$H_B = 19,02\text{m}$$

ou

$$H_B = 0,0715 \times 56,23 + 15 = 19,02\text{m}$$

Na situação descrita no slide anterior temos o ponto de trabalho:

$$\eta_B = -0,0124 \times 56,23^2 + 1,1802 \times 56,23 + 18,977$$

$$\eta_B \cong 46,1\%$$

$$N_B = \frac{1530 \times 9,8 \times \left(\frac{56,23}{3600} \right) \times 19,02}{0,461}$$

$$N_B \cong 9663,6\text{W}$$



Fechando parcialmente a válvula globo de 4"

	L(m)	ΣLeq		
		Cotovêlo	VGA	
5"	3,2	3 x 4,7	1 x 43	
		Curva	VGA_pf	V _{RetVert}
4"	19,6	5 x 2,18	L _{eqn}	1 x 12,9

$$H_{pD} = f_D \times \frac{(L + \sum Leq)_D}{D_{HD}} \times \frac{Q^2}{2g \times A_D^2}$$

$$H_{p_{total}} = f_{5''} \times \frac{(3,2 + 57,1)}{0,1283} \times \frac{Q^2}{19,6 \times \left(\frac{\pi \times 0,1283^2}{4} \right)^2} + f_{4''} \times \frac{(19,6 + 23,8 + L_{eqn})}{0,1023} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p_{total}} = f_{5''} \times 143465,74 \times Q^2 + f_{4''} \times 321123,22 \times Q^2 + f_{4''} \times 7399,2 \times L_{eqn} \times Q^2$$

Nova CCI

$$H_{sn} = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + f_{5''} \times 143465,74 \times Q^2 + f_{4''} \times 321123,22 \times Q^2 + f_{4''} \times 7399,2 \times L_{eqn} \times Q^2$$

Para a vazão de
45,1 m³/h e
HB = 22,01 m ,
temos:



propriedades do fluido transportado

temp (°C)	μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	pv (Pa)	v (m ² /s)
20	1,00E-01	1530		6,536E-05

propriedades do local

g =	9,8	m/s ²
patm =	700	mmHg

5"

mat. tubo aço

espessura	Dint (mm)	A (cm ²)
40	128,3	129,3

K(m)	DH/k
4,60E-05	2789

Q
m³/h
41,5

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f_{Haaland}	f _{Swamee e Jain}	f _{Churchill}	f _{planilha}	f
41,5	0,89	1750	0,0536	0,0366	0,0366	0,0365	0,0366

Nova CCI (cont)

$$H_{sn} = 15 + 756,94 \times \alpha_f \times Q^2 + f_{5''} \times 143465,74 \times Q^2 + f_{4''} \times 321123,22 \times Q^2 + f_{4''} \times 7399,2 \times L_{eqn} \times Q^2$$

Para a vazão de 45,1 m³/h, temos:

propriedades do fluido transportado					
temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	pv (Pa)	v (m ² /s)
20		1,00E-01	1530		6,536E-05

propriedades do local		
g =	9,8	m/s ²
patm =	700	mmHg

4"

mat. tubo aço			
espessura	Dint (mm)	A (cm ²)	
40	102,3	82,1	
K(m)	DH/k		
4,60E-05	2224		

Q
m³/h
41,5

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f_{Haaland}	Swamee e Jain	f _{Churchill}	f_{planilha}	f _{experimental}
41,5	1,40	2198	0,0495	0,0300	0,0301	0,0483	0,0291



$$22,01 = 15 + 756,94 \times 2 \times \left(\frac{45,1}{3600}\right)^2 + 0,0366 \times 143465,74 \times \left(\frac{45,1}{3600}\right)^2$$

$$+ 0,0301 \times 321123,22 \times \left(\frac{45,1}{3600}\right)^2$$

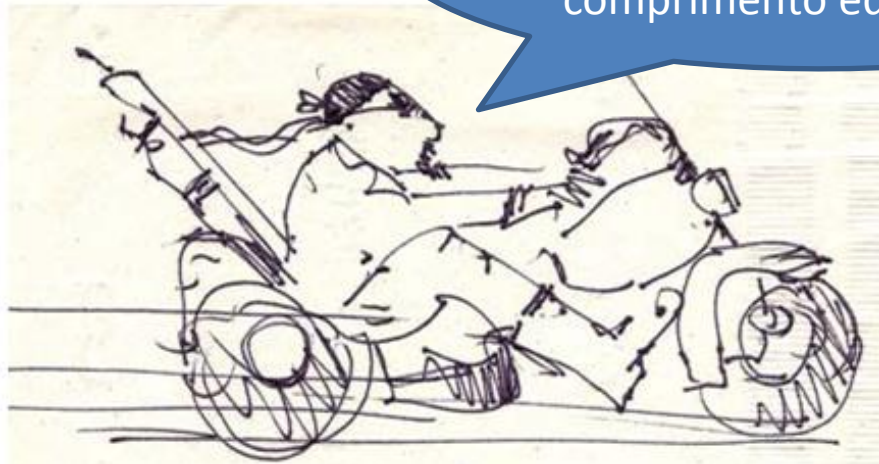
$$+ 0,0301 \times 7399,2 \times L_{eqn} \times \left(\frac{45,1}{3600}\right)^2$$

$$22,01 = 15 + 0,2376 + 0,8241 + 1,517 + 0,0350 \times L_{eqn}$$

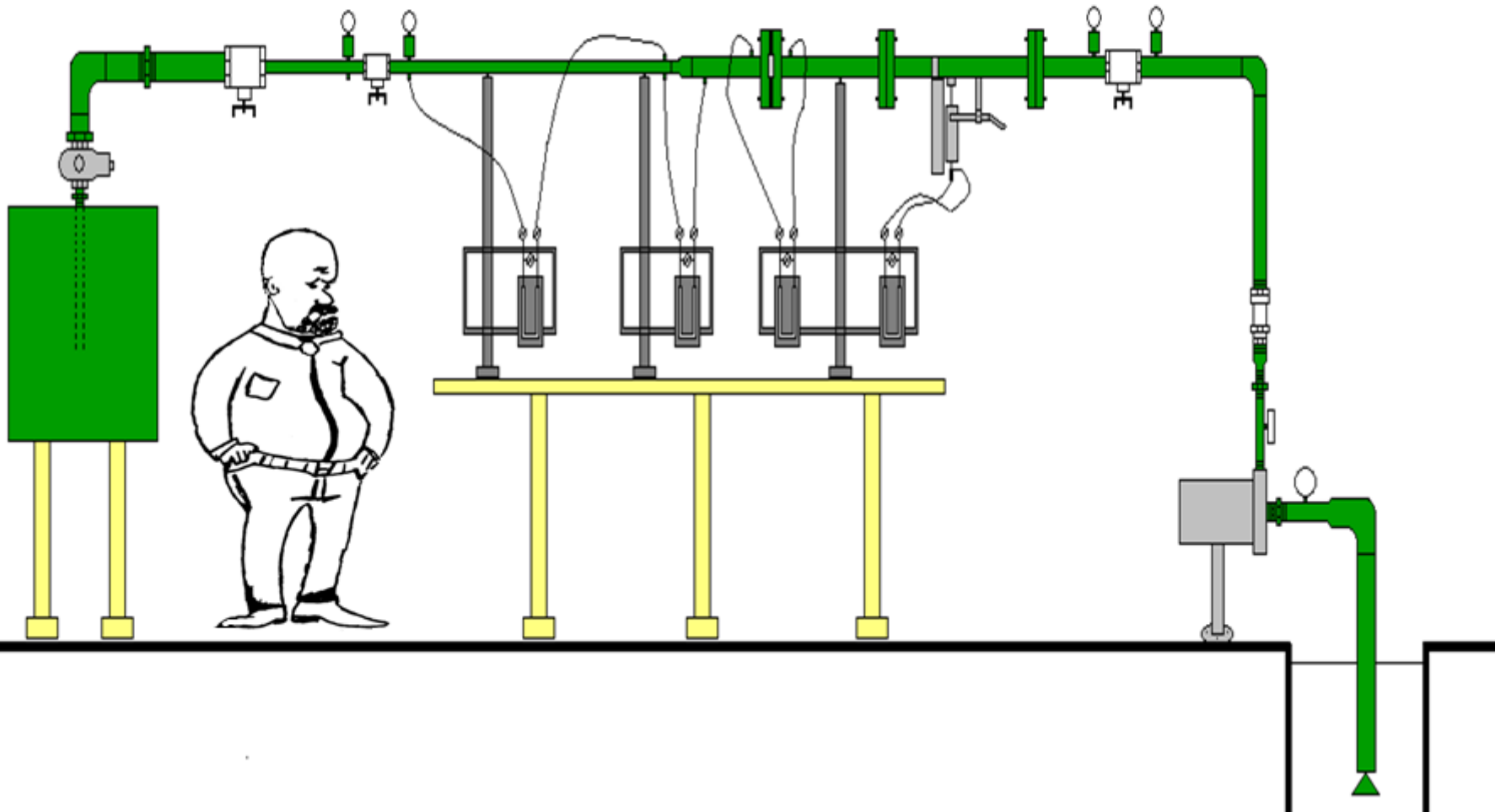
$$L_{eqn} \cong 127m$$

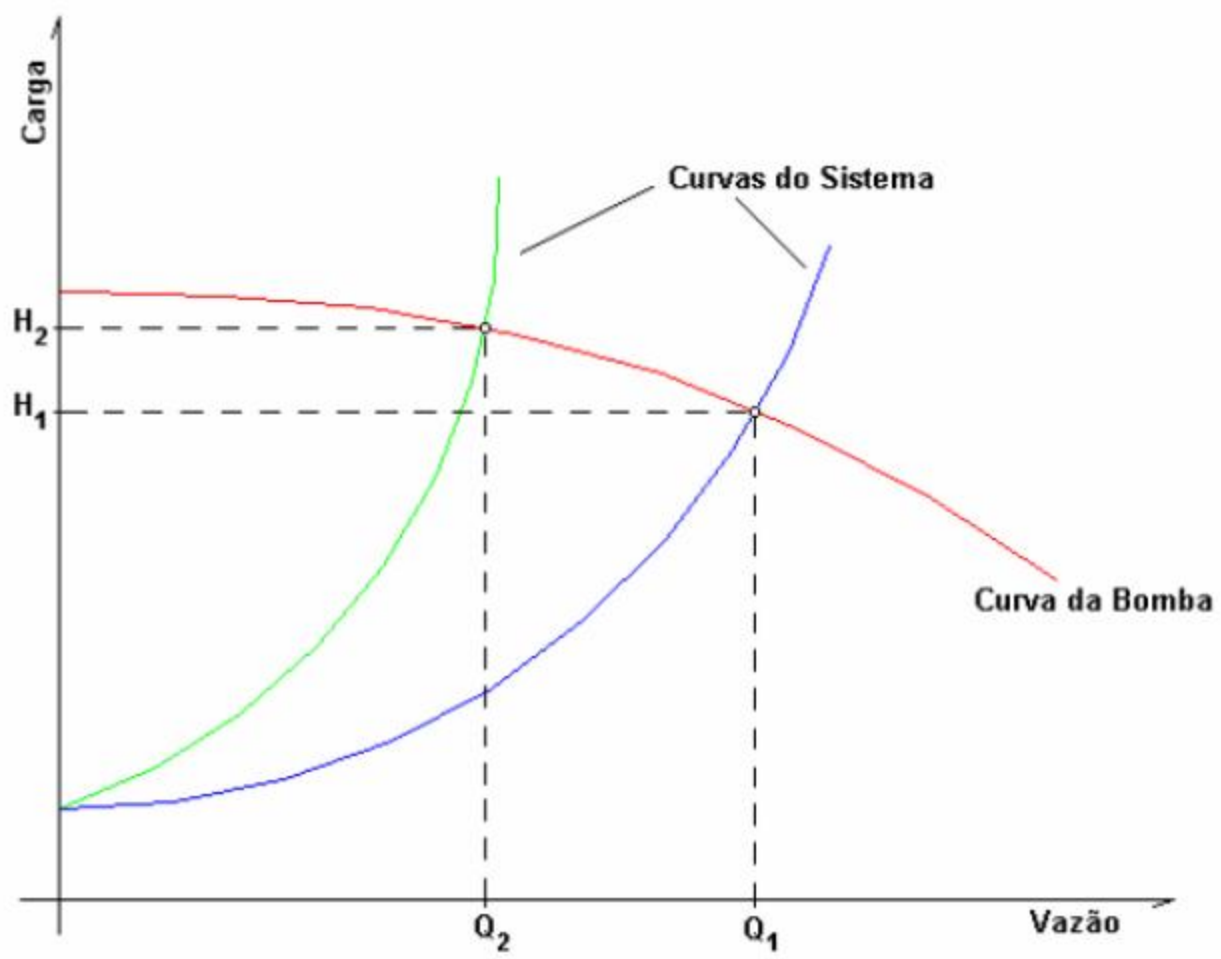
Observamos que houve um grande aumento do comprimento equivalente.

Isto também foi constatado no laboratório.



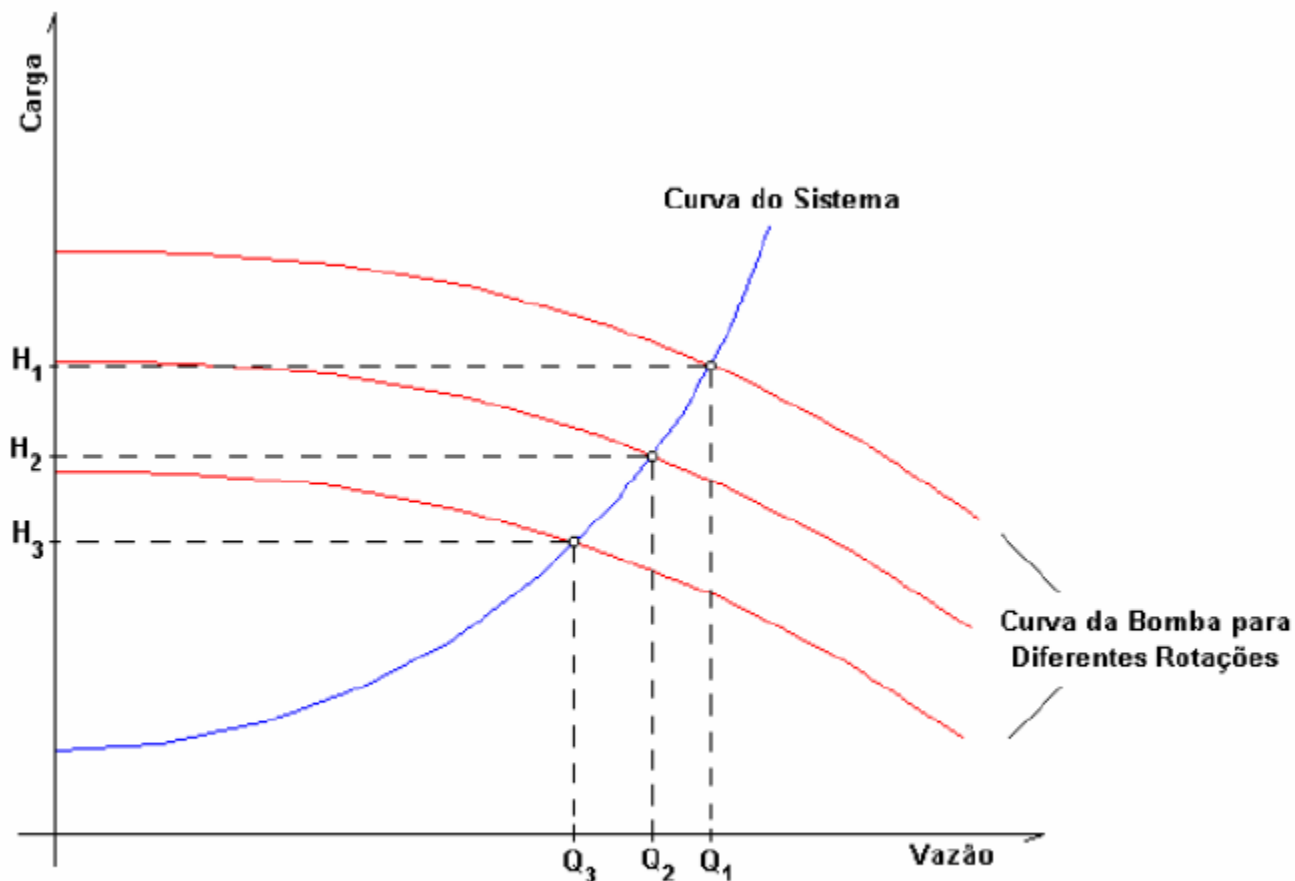
Segundo Brown (2.001), estima-se que de toda energia elétrica utilizada pela indústria, 65% seja destinada a motores elétricos e que, do montante relativo a esse percentual, 20% seja desperdiçado por mecanismos de controle (ex.: válvula).





Curva do sistema convencional com controle da vazão através de válvulas

Em contraposição a operação anteriormente descrita, o inversor de frequência, através do controle da rotação do motor, promove a alteração da curva da bomba mantendo-se constante a curva do sistema ou instalação. Isso faz com que o consumo de energia seja proporcional a rotação do motor, ou seja, nem mais nem menos, apenas o necessário.



Curva do sistema operado com inversor de frequência

Com a alteração da rotação, observada as leis de semelhança física das máquinas hidráulicas rotativas (Allen-Bradley – 1.995; Wilk – 2.000; Crespo – 2.001; Viana – 2.001; Brown – 2.001; Lee – 2.001; Alves et al. – 2.002; Irvine e Gibson – 2.002; Everhart – 2.004; Europump and Hydraulic Institute – 2.004; Pemberton – 2.005; Theisen – 2.005; Gambica – 2.007), definidas nas equações de 1 a 5, as curvas de funcionamento da bomba (carga x vazão, etc.) são alteradas, mudando assim o ponto de operação do sistema (slide anterior).

$$\frac{Q_1}{n_1} = \frac{Q_2}{n_2} \rightarrow (1) \rightarrow \text{oriunda do } \phi = \frac{Q}{n \times D_r^3}$$

$$\frac{H_{B1}}{n_1^2} = \frac{H_{B2}}{n_2^2} \rightarrow (2) \rightarrow \text{oriunda do } \psi = \frac{g \times H_B}{n^2 \times D_r^2}$$

$$\frac{N_{B1}}{n_1^3} = \frac{N_{B2}}{n_2^3} \rightarrow (3) \rightarrow \text{oriunda do } \chi = \frac{N_B}{\rho \times n^3 \times D_r^5}$$

$$\frac{T_1}{n_1^2} = \frac{T_2}{n_2^2} \rightarrow (4) \rightarrow \text{torque x rotação}$$

$$\frac{NPSH_{r1}}{n_1^2} = \frac{NPSH_{r2}}{n_2^2} \rightarrow (5) \rightarrow NPSH_r \text{ x rotação}$$

Outras maneiras para
determinarmos a
equação da CCB:



$$H_B = a + b \times Q + c \times Q^2$$

$$H_B = \left(\frac{n}{n_{\text{nom}}} \right)^2 \times a + b \times \left(\frac{n}{n_{\text{nom}}} \right) \times Q + c \times Q^2$$

$$H_B = \left(\frac{f}{60} \right)^2 \times a + b \times \left(\frac{f}{60} \right) \times Q + c \times Q^2$$