

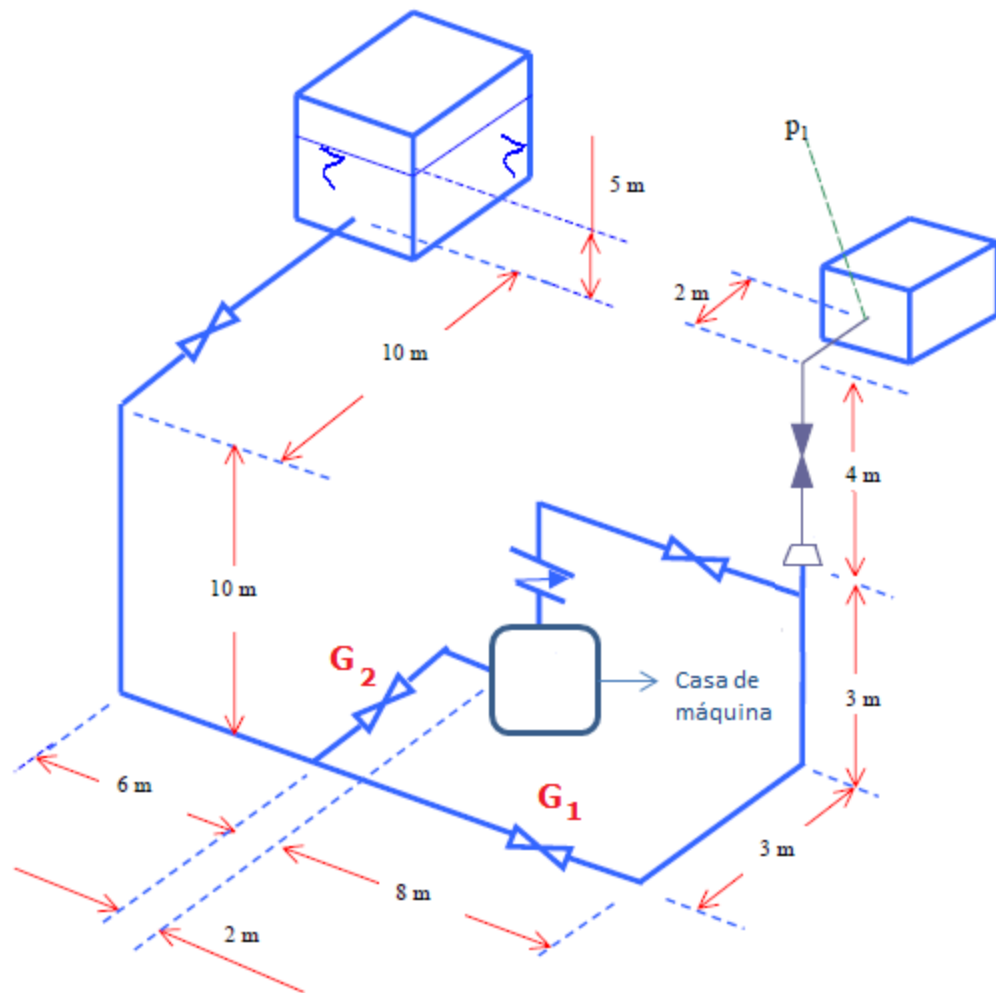
Décima aula de ME5330

Segundo semestre de 2014



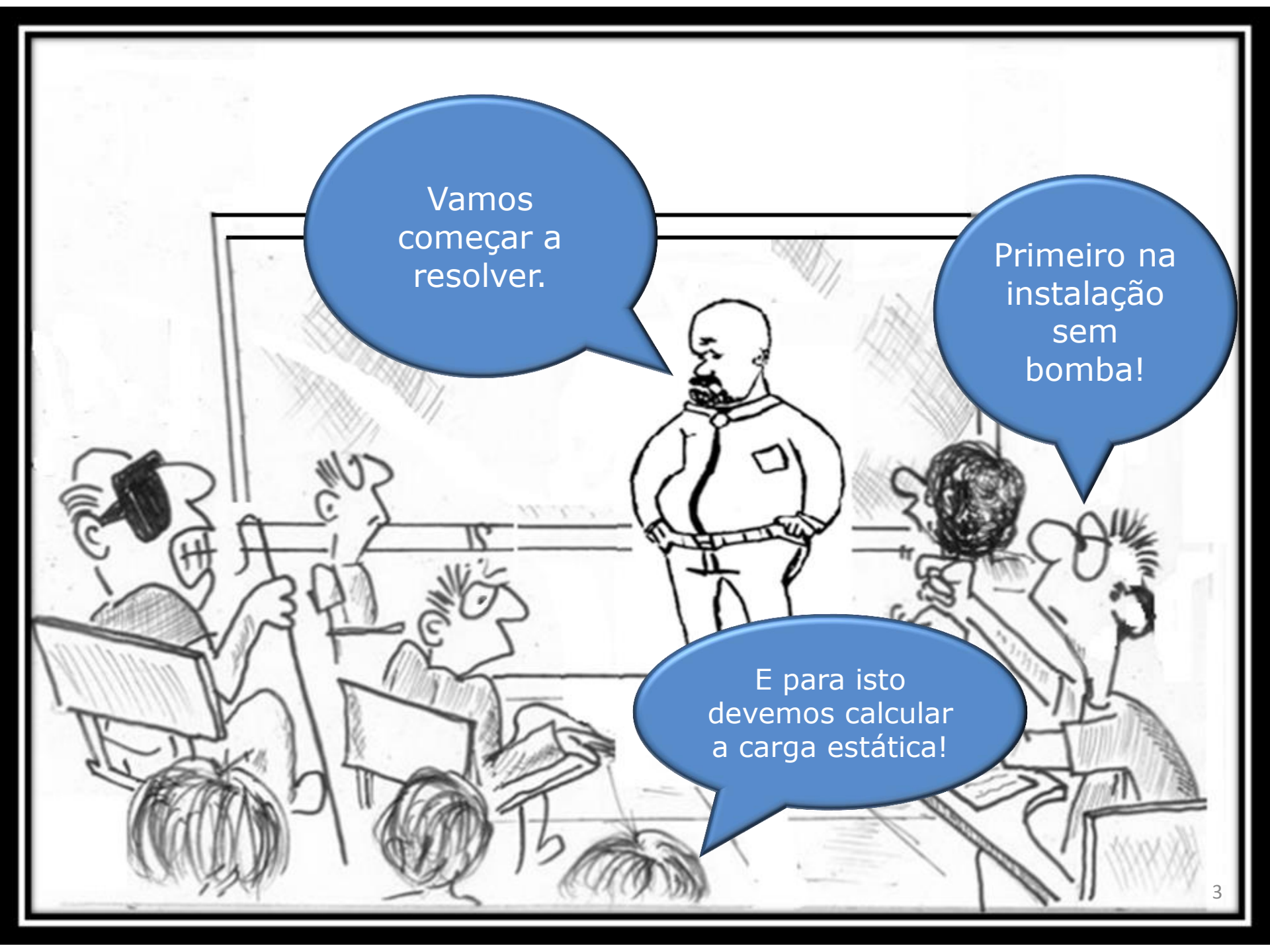
770 - A instalação da figura deve atender um tanque de processo e a pressão na entrada deste tanque (1) deve ser $p_1 = 1,5 \text{ kgf / cm}^2$, se o escoamento for por gravidade (G_2 - fechada). A bomba H 50 - C com diâmetro de rotor igual a 214 mm será acionada sempre que o processo exigir uma pressão $p_1 = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$ (G_1 - fechada). Pede-se:

- a equação da CCI para as duas possibilidades mencionadas acima;
- o ponto de trabalho para as possibilidades de funcionamento da instalação



Nota: **—** = 3" Sch 40

— = 2" Sch 40



Vamos
começar a
resolver.

Primeiro na
instalação
sem
bomba!

E para isto
devemos calcular
a carga estática!

Situação 1 = válvula 2 fechada e a 1 aberta

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{1,5 \times 10^4 \times 9,8 - 0}{997,8 \times 9,8} \right)$$

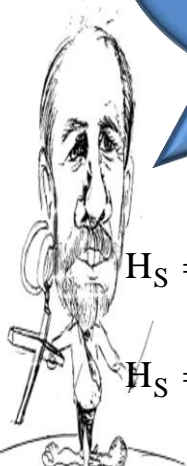
$$H_{\text{estática}} \cong 7,1\text{m}$$

Como a carga estática deu positiva, podemos afirmar que não existe o escoamento em queda livre.

A equação abaixo mostra a equação da CCI supondo instalação sem bomba (válvula G₂ fechada).

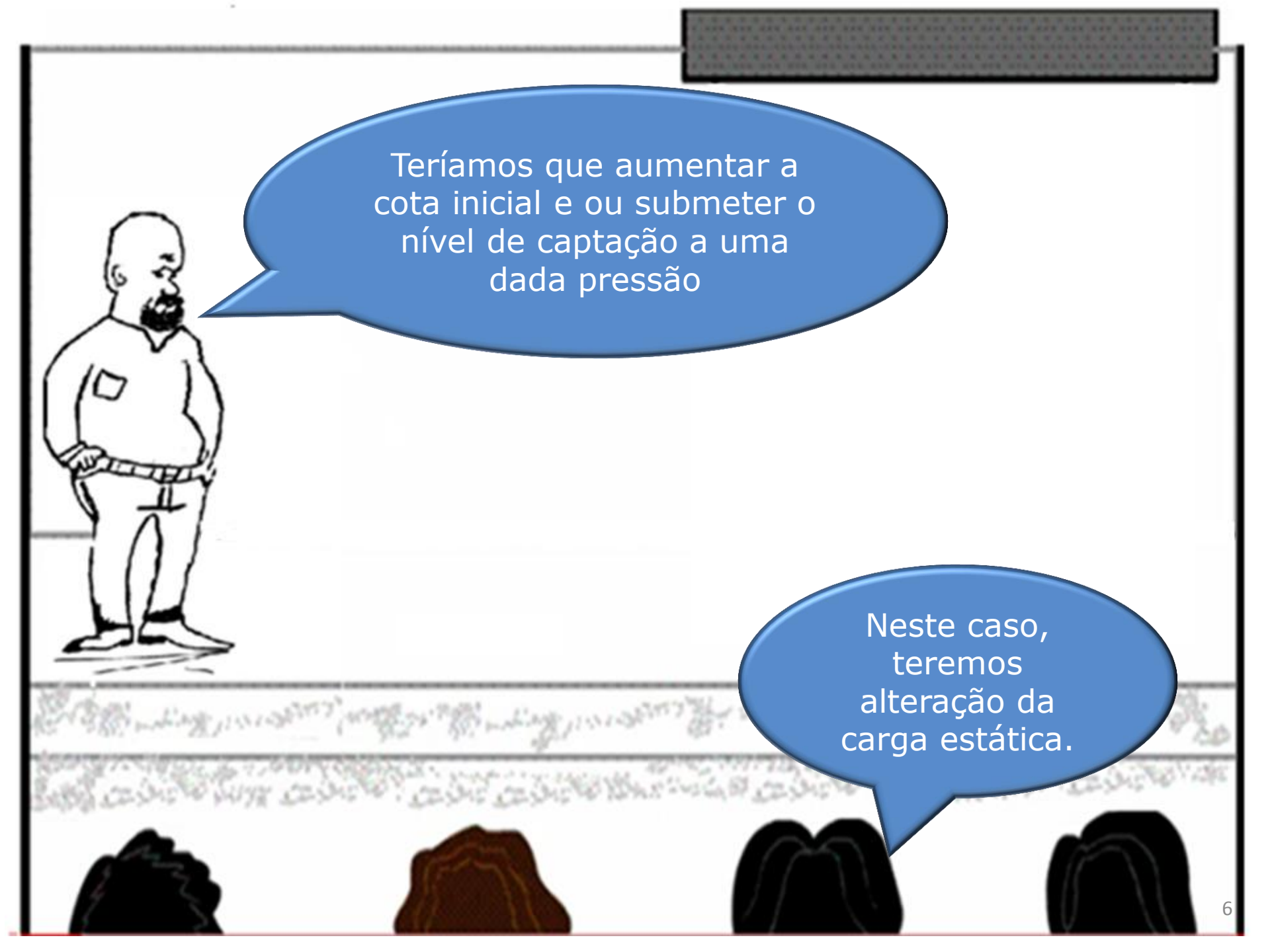
$$H_S = 7,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 15,45)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 20,26)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 7,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$





E como poderia
funcionar sem
bomba?



Teríamos que aumentar a cota inicial e ou submeter o nível de captação a uma dada pressão

Neste caso, teremos alteração da carga estática.



Isto mesmo. Exemplo: supondo que seja viável fechar o reservatório de captação e sobre o nível d'água impor uma pressão inicial (p_i) através da injeção de um ar comprimido, pede-se determinar o valor da pressão inicial para se ter uma vazão de queda livre igual a $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

Este é praticamente um exercício extra!

Exatamente.

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{1,5 \times 10^4 \times 9,8 - p_i}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong 7,1 - \frac{p_i}{997,8 \times 9,8}$$

$$H_S = 7,1 - \frac{p_i}{9778,44} + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$



No caso de existir a vazão de queda livre temos $H_s = 0$

$$0 = 7,1 - \frac{P_i}{9778,44} + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$

$$\frac{P_i}{9778,44} = 7,1 + 10834,9 \times \left(\frac{25}{3600}\right)^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times \left(\frac{25}{3600}\right)^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times \left(\frac{25}{3600}\right)^2$$

$$\frac{P_i}{9778,44} = 7,622516397 + f_{3''} \times 79,75074749 + f_{2''} \times 261,3574605$$

Portanto, devemos calcular $f_{2''}$ e $f_{3''}$



propriedades do fluido transportado

temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	pv (Pa)	v (m ² /s)
22		9,55E-04	997,8		9,570E-07

propriedades do local

g = m/s²
 patm = Pa

mat. tubo
aço

espesura	Dint (mm)	A (cm ²)
	52,5	21,7

K(m)	DH/k
4,60E-05	1141

Legenda

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



Este é o f₂"

Q Q(m³/s) Q(L/s) Q(L/min)
 deve transformar para
 m³/h m³/h
 25,0

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f _{Haaland}	f _{Swamee e Jain}	f _{Churchill}	f _{planilha}
25,0	3,20	175560	0,0205	0,0209	0,0209	0,0207

propriedades do fluido transportado

temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	pv (Pa)	v (m ² /s)
22		9,55E-04	997,8		9,570E-07

propriedades do local

g = m/s²
 patm = Pa

mat. tubo
aço

espessura	Dint (mm)	A (cm ²)
	77,9	47,7

K(m)	DH/k
4,60E-05	1693

Legenda

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



E este é o f_{3"}

Q (L/min)
 Q (m³/s) Q (L/s))
 deve transformar para
 m³/h
 25,0

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f _{Haaland}	f _{Swamee e Jain}	f _{Churchill}	f _{planilha}
25,0	1,46	118507	0,0200	0,0204	0,0204	0,0203

Tendo os coeficientes de perda de carga distribuída, temos



$$\frac{P_i}{9778,44} = 7,622516397 + 0,0204 \times 79,75074749 + 0,0209 \times 261,3574605$$

$$\therefore p_i \cong 143858,5\text{Pa} \approx 143,9\text{kPa}$$

Com esta pressão a carga estática fica negativa?

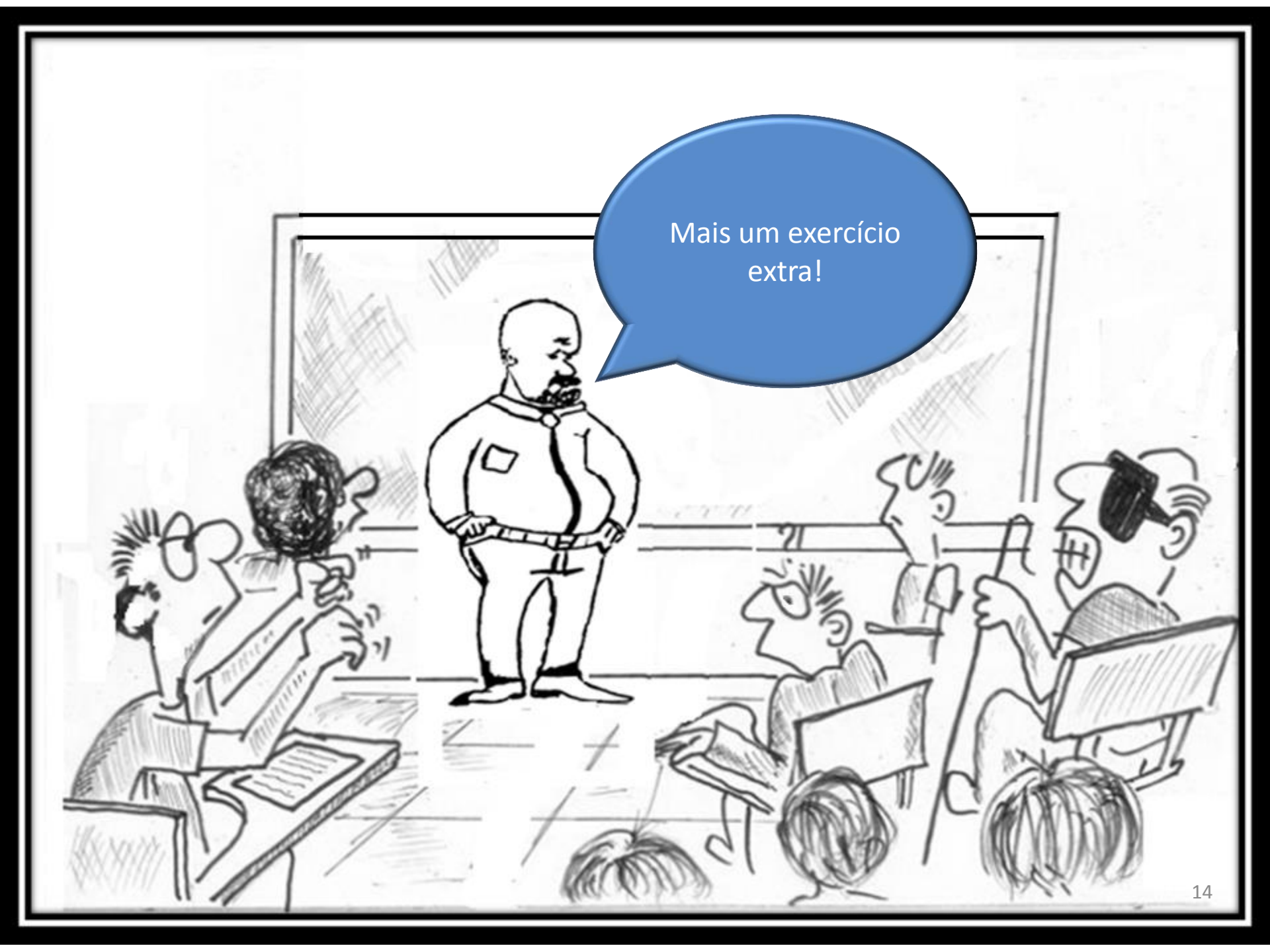
Exatamente



$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{1,5 \times 10^4 \times 9,8 - 143858,5}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong -7,7\text{m}$$

E com a carga
estática negativa,
temos a vazão de
queda livre

A black and white cartoon illustration of a classroom. A teacher with a beard and a mustache stands at the front, looking towards the students. A blue speech bubble originates from the teacher, containing the text 'Mais um exercício extra!'. The students are seated at desks, some looking towards the teacher, others looking away. One student on the right is wearing sunglasses and holding a pencil. The drawing style is simple and expressive, with heavy black lines and some cross-hatching for shading.

Mais um exercício extra!

78A⁰ - Para a situação da pressão inicial ser igual a 143,9 kPa, obtivemos a carga estática igual a - 7,7 m, portanto a CCI seria escrita da seguinte forma:

$$H_S = -7,7 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2$$

Determine a vazão de queda livre.

Este ficará por nossa conta!

Voltando ao exercício, vamos agora resolver o problema com o funcionamento da bomba.



E para resolvê-lo
vamos também
calcular a carga
estática nesta
situação.

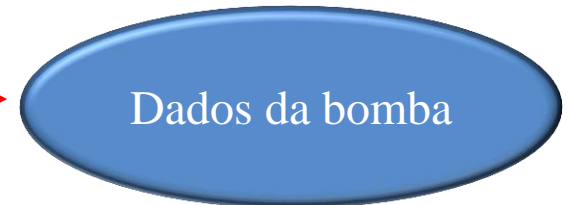


Situação 2 = válvula 1 fechada e a 2 aberta

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{3,5 \times 10^4 \times 9,8 - 0}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong 27,1\text{m}$$

Q(m ³ /h)	H _{B214} (m)	η _{B214} (%)
0	17,2	



Como a carga estática é maior que a carga no shut off, podemos afirmar que não existe o ponto de trabalho para a bomba escolhida.



$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(47,5 + 44,25)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 20,26)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

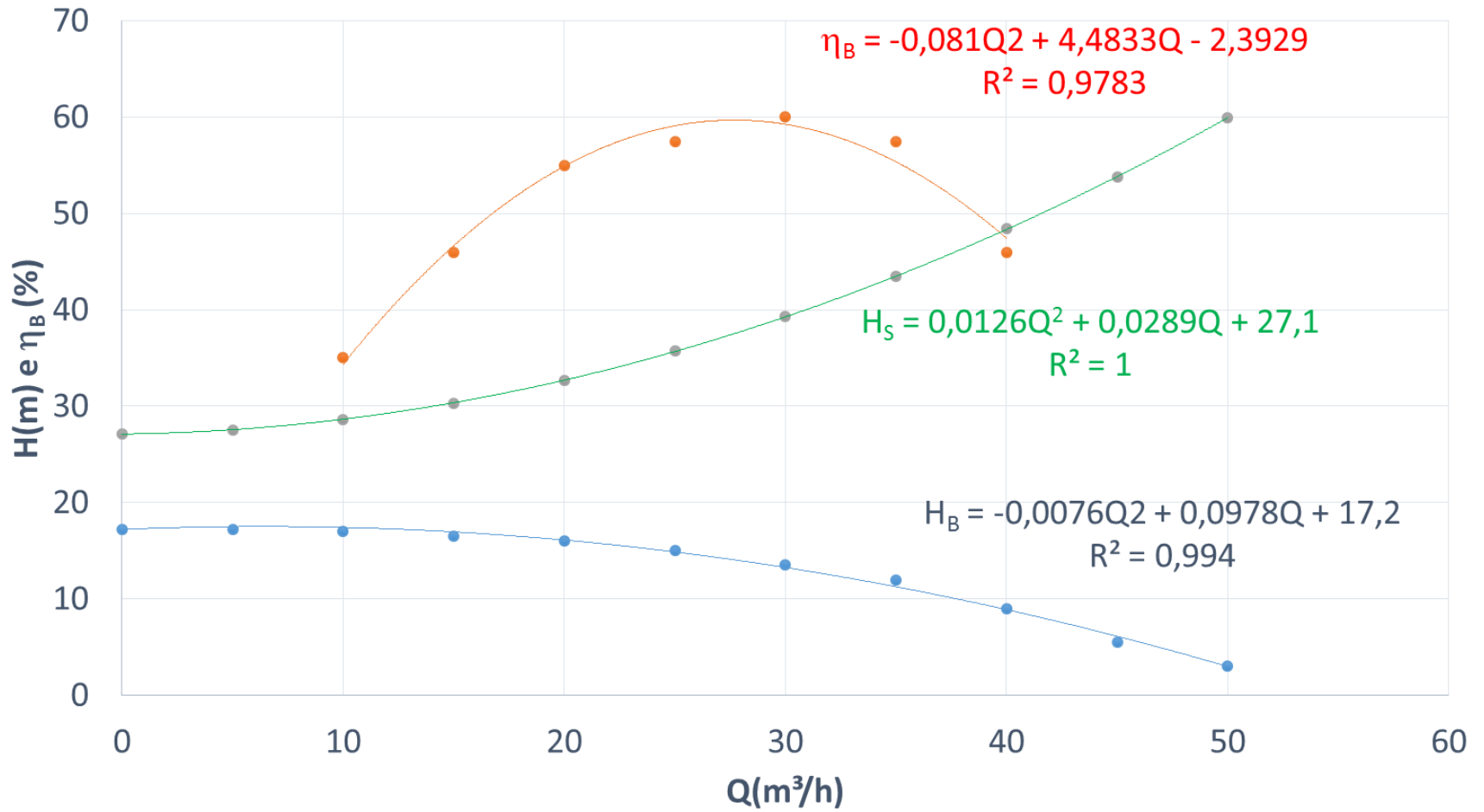
$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 2641045,0 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$

Vamos ver isto
graficamente

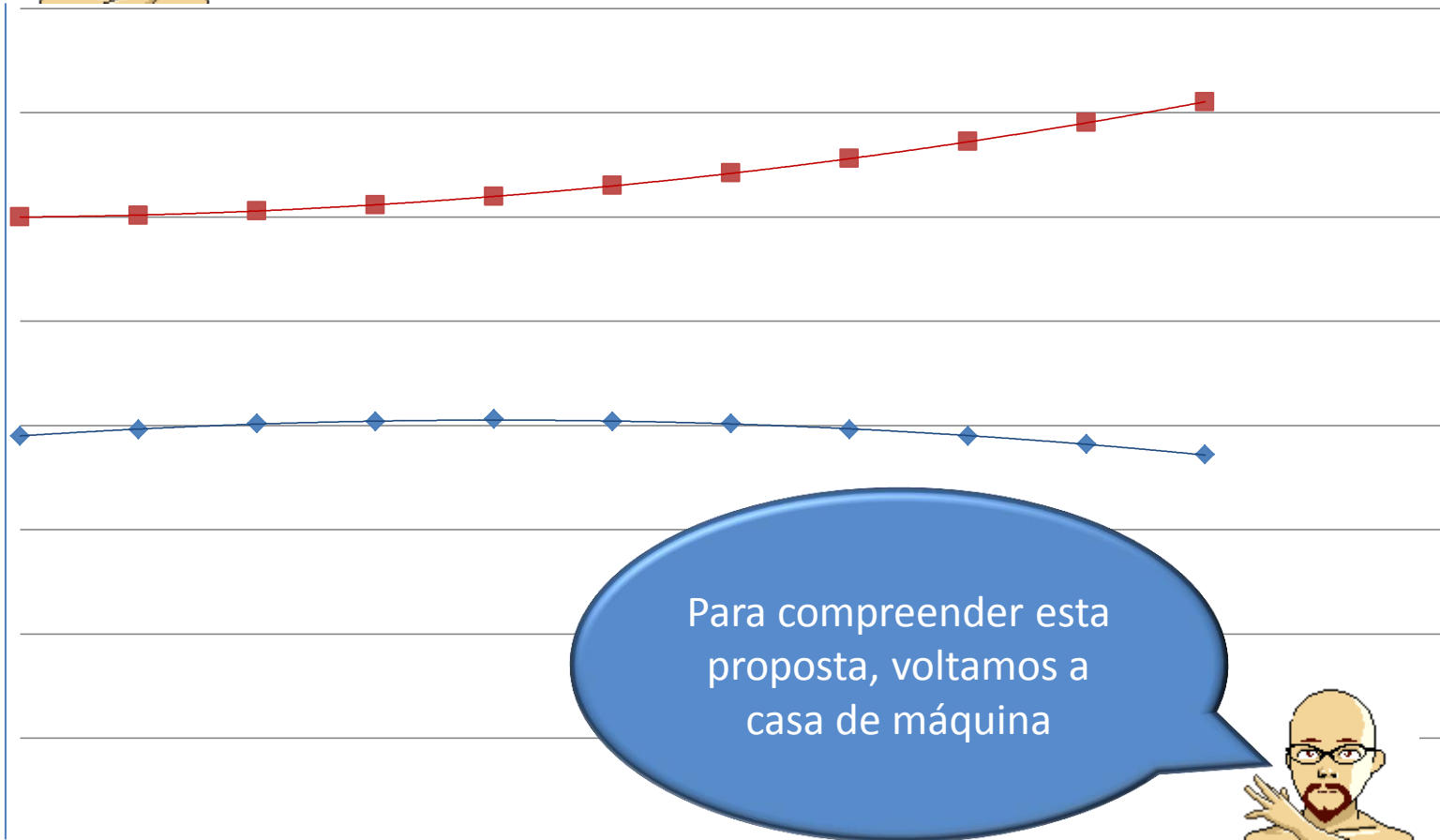


Q(m ³ /h)	H _{B214} (m)	η _{B214} (%)	f _{3"}	f _{2"}	H _{S_sit2} (m)
0	17,2		0	0	27,1
5	17,2		0,0263	0,0252	27,5
10	17	35	0,0231	0,0228	28,6
15	16,5	46	0,0217	0,0218	30,3
20	16	55	0,0209	0,0212	32,7
25	15	57,5	0,0204	0,0209	35,7
30	13,5	60	0,0200	0,0206	39,3
35	12	57,5	0,0197	0,0204	43,5
40	9	46	0,0195	0,0203	48,4
45	5,5		0,0193	0,0202	53,8
50	3		0,0191	0,0201	59,9

CCB



Como não existe o ponto de trabalho, ou seja, a bomba escolhida não consegue recalcar a água para a situação onde a pressão na seção final é $3,5 \text{ kgf/cm}^2$ e como já existe uma bomba igual como reserva, vamos verificar se a associação em série das bombas resolve o problema.





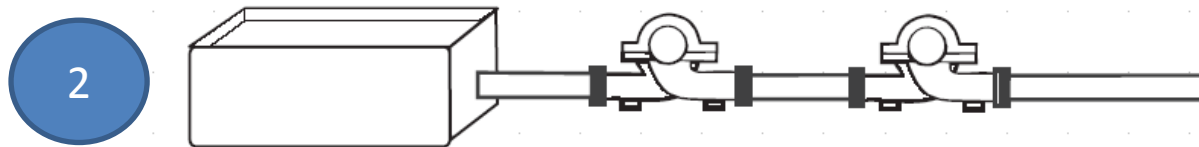
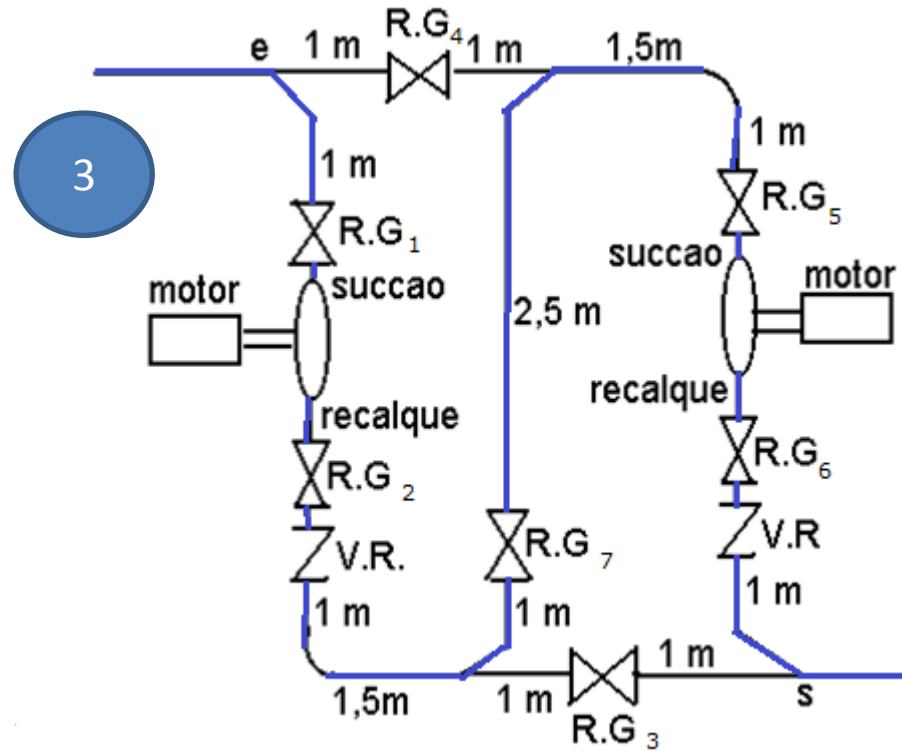
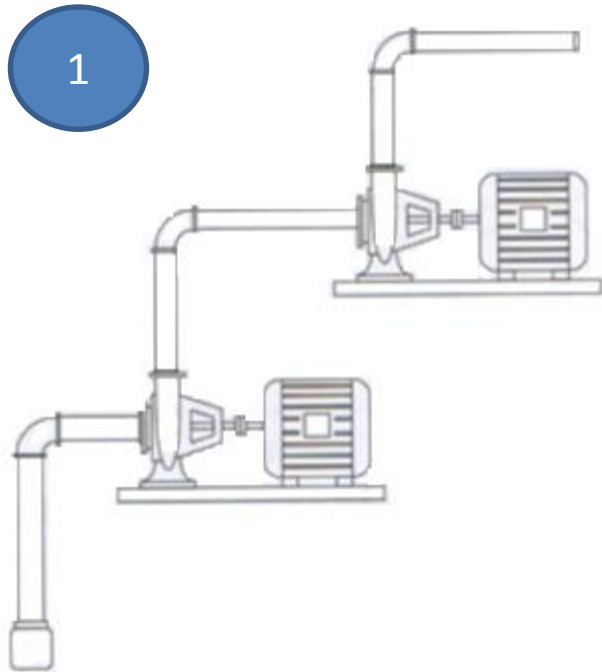
Esta necessidade
pode surgir como
no caso do item b
do exercício



Além do caso do exercício, por condições topográficas, quando o sistema exige grandes cargas manométricas, que pode exceder às faixas de operação de bombas de simples estágio. Nestes casos, uma das soluções é a associação de bombas em série.



Algumas das possibilidades da associação em série de bombas hidráulicas



Considerando os esquemas anteriores é fácil observar que:

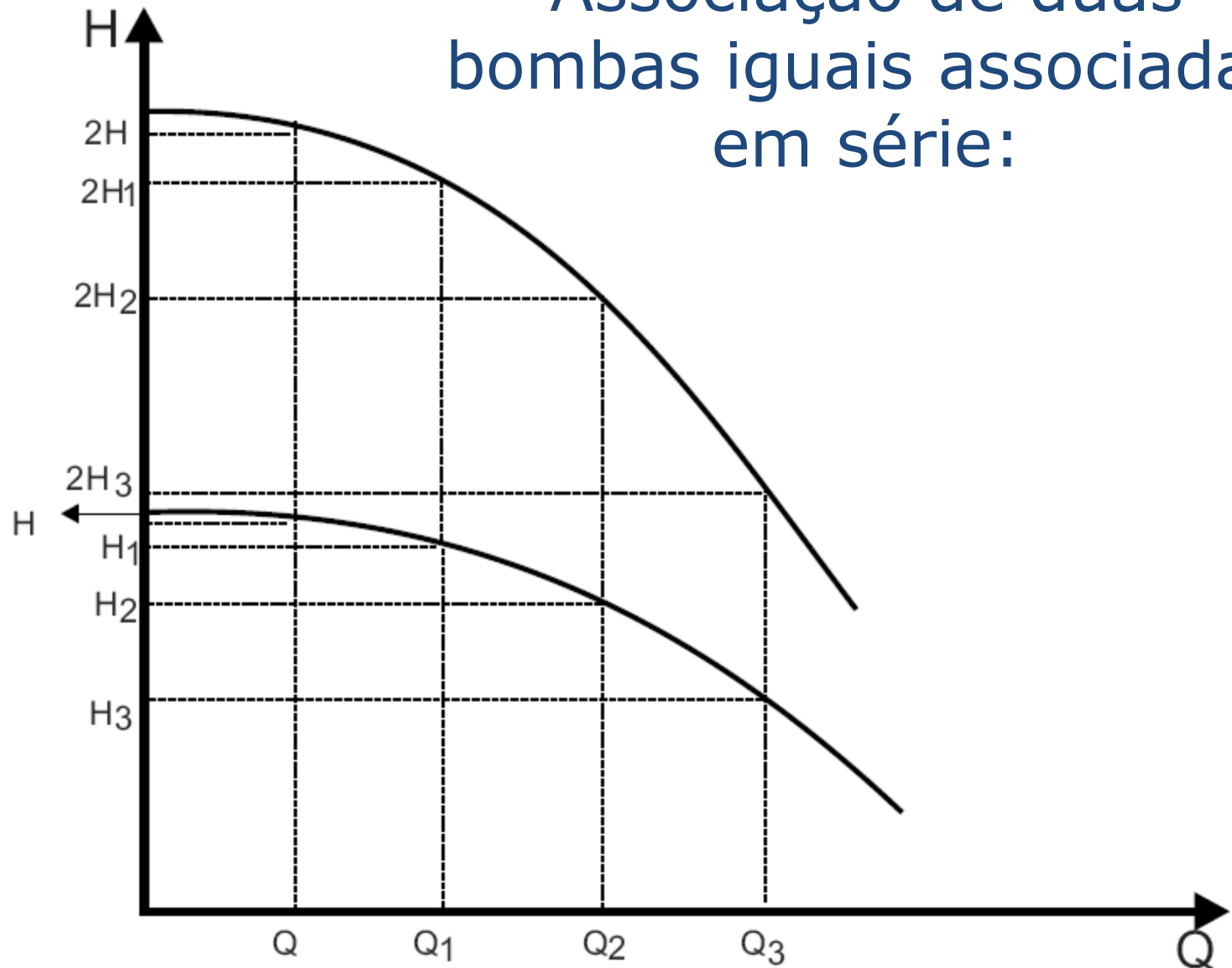
1. O líquido passará pela primeira bomba e receberá uma certa carga manométrica e ao entrar na segunda bomba, haverá um novo acréscimo de carga a fim de que o mesmo atinja as condições solicitadas.
2. A vazão que sai da primeira bomba é a mesma que entra na segunda, sendo portanto a vazão em uma associação de bombas em série constante.

Conclusão:

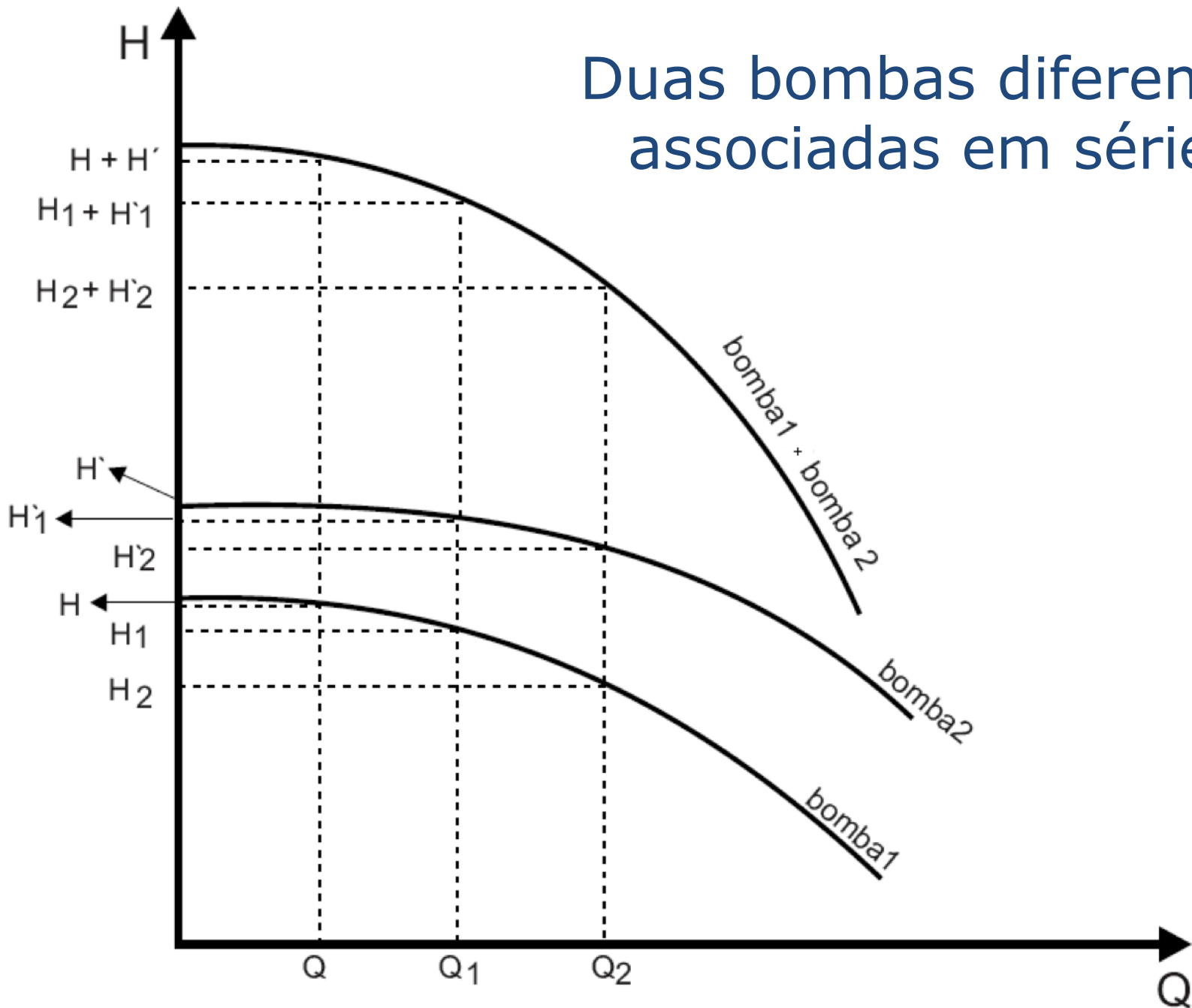
quando associamos duas ou mais bombas em série, para uma mesma vazão, a carga manométrica será a soma da carga manométrica fornecida por cada bomba.

Portanto, para se obter a curva característica resultante de duas bombas em série, iguais ou diferentes, basta somar as alturas manométricas totais, correspondentes aos mesmos valores de vazão, em cada bomba.

Associação de duas bombas iguais associadas em série:




Duas bombas diferentes associadas em série:





Cuidado:

verificar a pressão
máxima suportada
no flange das
bombas
subsequentes.



Cálculo do rendimento da associação em série de bombas.

$$N_{B_{\text{assoc}}} = N_{B_{B1}} + N_{B_{B2}}$$

$$\frac{\gamma \times Q \times H_{B_{\text{as}}}}{\eta_{B_{\text{as}}}} = \frac{\gamma \times Q \times H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{\gamma \times Q \times H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}$$

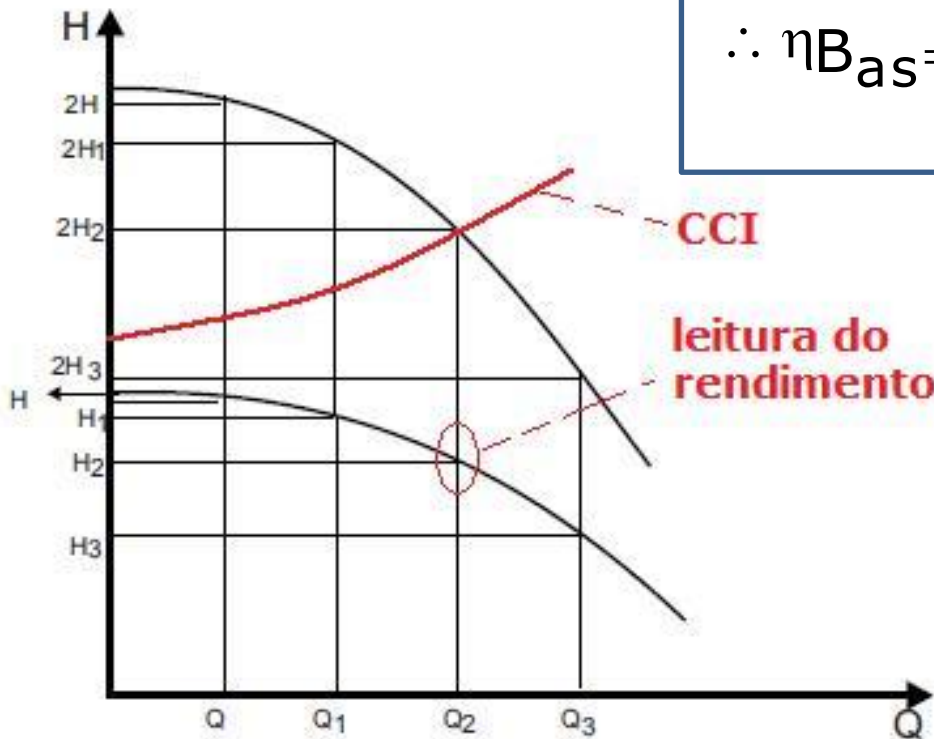
$$\frac{H_{B_{\text{as}}}}{\eta_{B_{\text{as}}}} = \frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}$$

$$\eta_{B_{\text{as}}} = \frac{H_{B_{\text{as}}}}{\frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}}$$

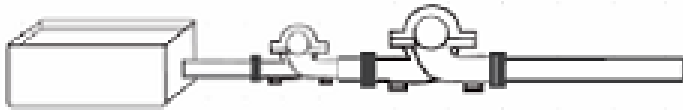
Operação de bombas iguais em série

$$H_{B_{B1}} = H_{B_{B2}} \text{ e } \eta_{B_{B1}} = \eta_{B_{B2}}$$

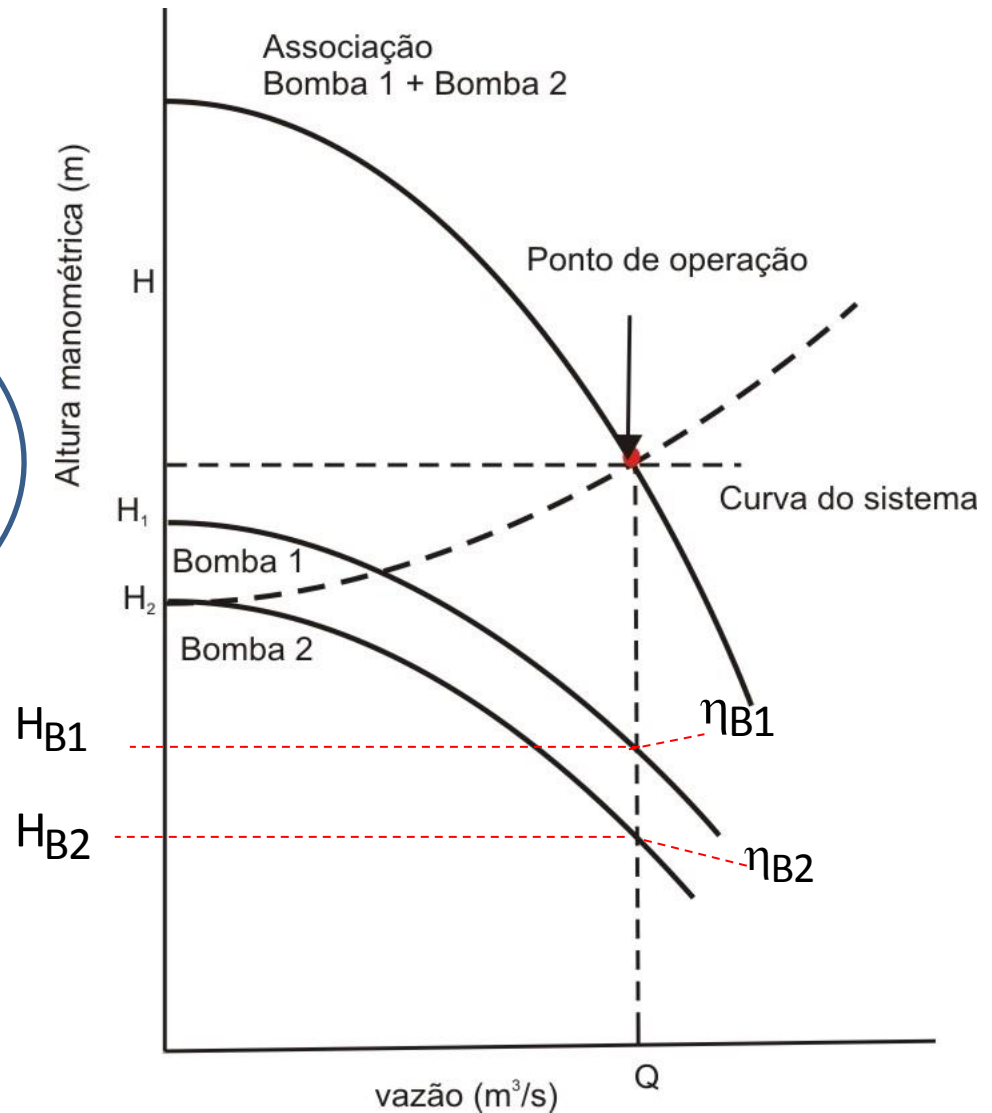
$$\therefore \eta_{B_{as}} = \eta_{B_{B1}} = \eta_{B_{B2}}$$



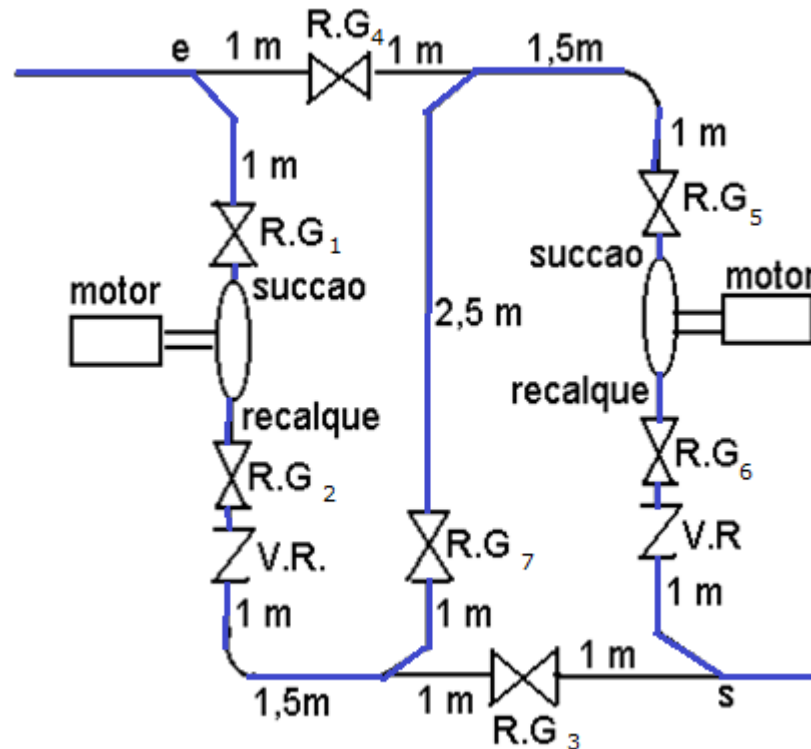
Operação de bombas diferentes em série



$$\eta_{B_{as}} = \frac{H_{B_{as}}}{\frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}}$$

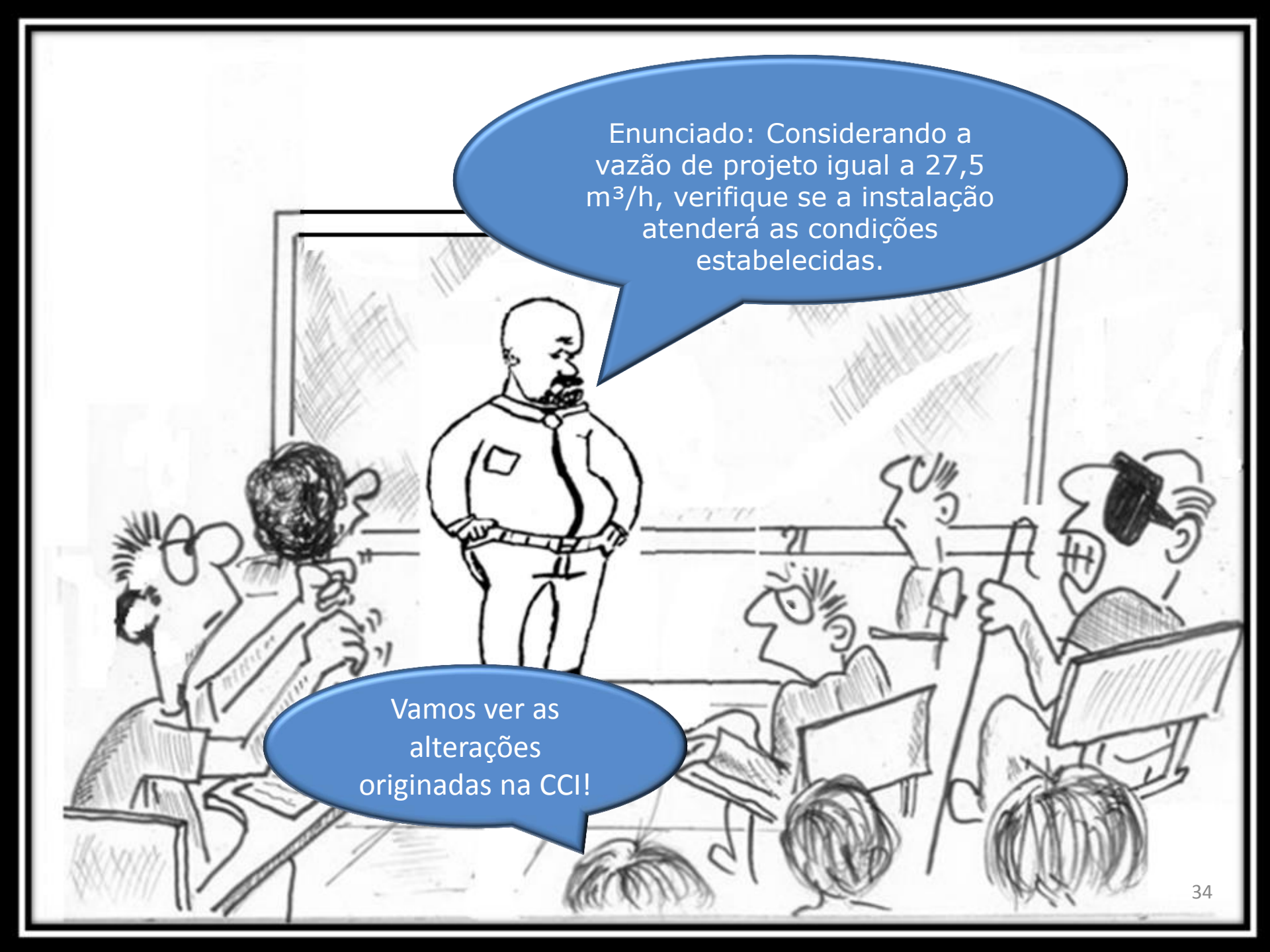


Voltando ao exercício, na casa de máquina temos uma das possibilidades da associação em série.



Fechamos as válvulas 3 e 4 e abrimos as válvulas 1, 2, 5, 6 e 7 e aí é só obter o L, e a Σl_{eq} !

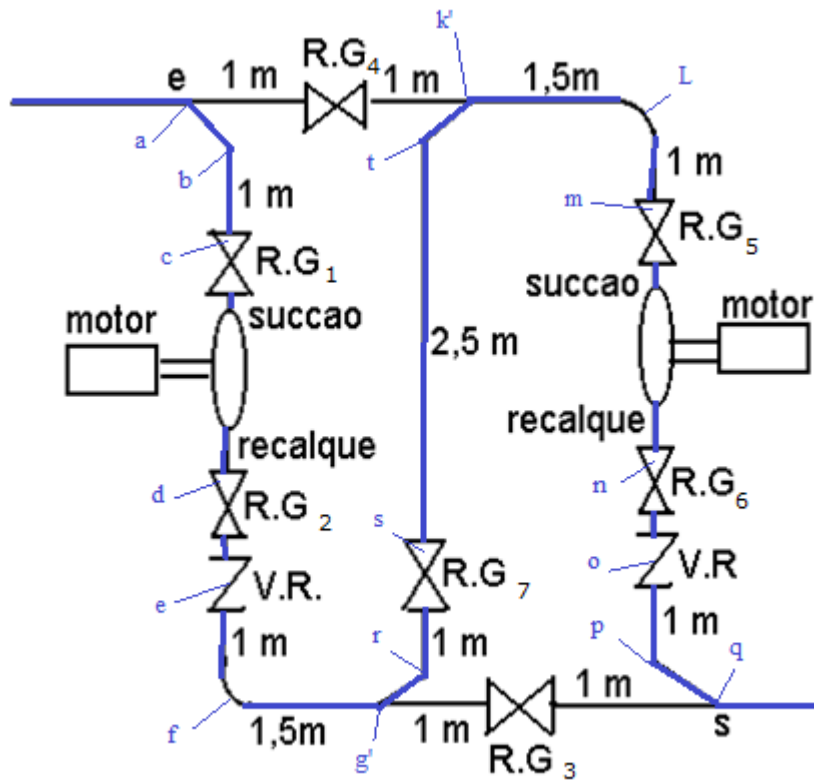


A black and white cartoon illustration of a classroom. A lecturer with a beard and a white shirt stands at the front, looking towards the students. Several students are seated at desks, some looking at the lecturer, others at their papers. A large blue speech bubble is positioned above the lecturer, and a smaller one is in the foreground. The background shows a chalkboard with some faint lines.

Enunciado: Considerando a vazão de projeto igual a $27,5 \text{ m}^3/\text{h}$, verifique se a instalação atenderá as condições estabelecidas.

Vamos ver as alterações originadas na CCI!

LEGENDA



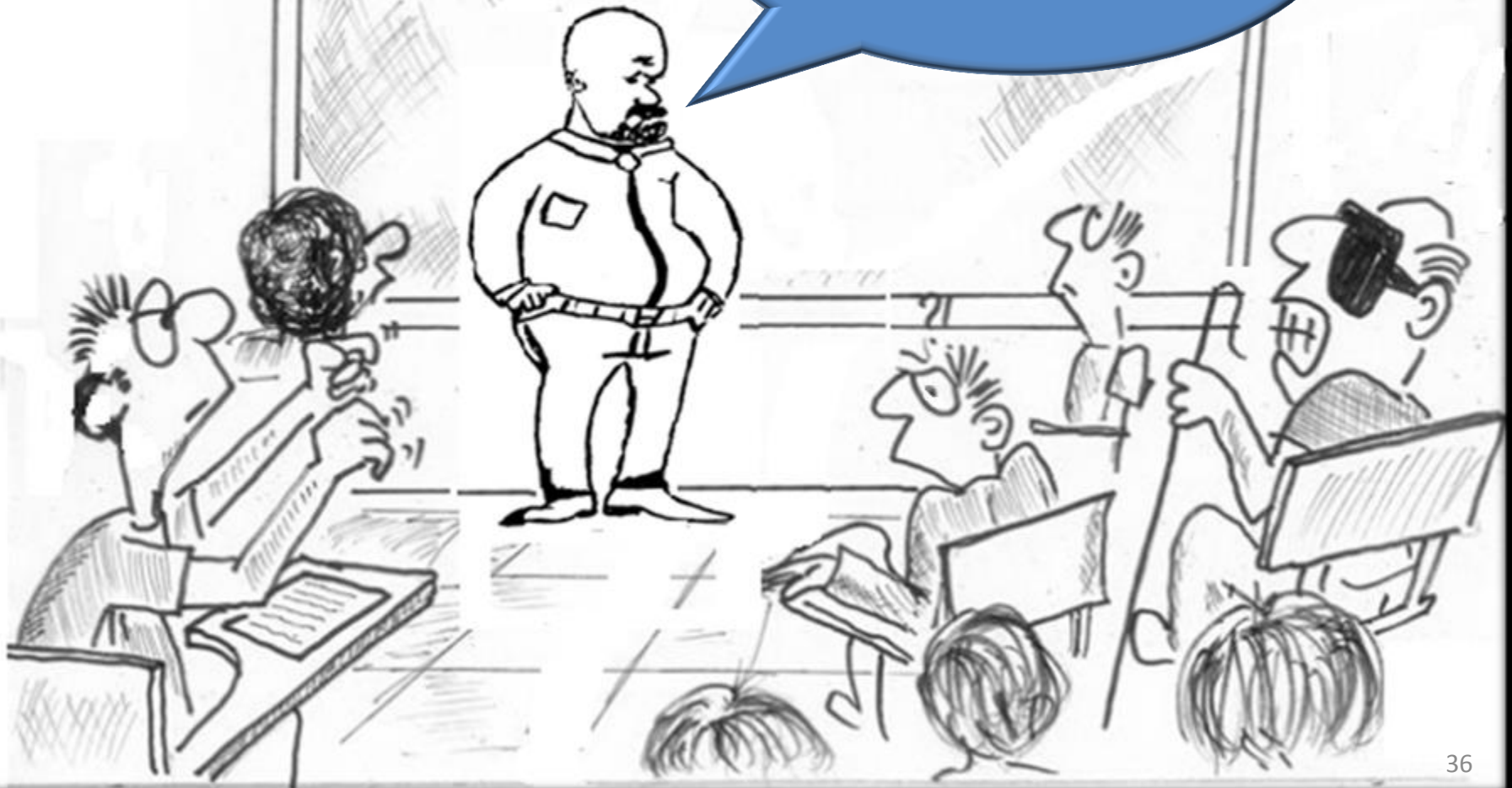
- a, g', k' e q = tê de saída de lado (Tupy)
 b, r, t e p = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)
 c, d, s, m e n = registros ou válvulas gaveta (Mipel)
 e, o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)
 f e L = curva (fêmea) de 90° (Tupy)

Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
a, g', k', q	3"	4,11
b, r, t, p	3"	2,82
c, d, s, m, n	3"	1,03
e, o	3"	3,95
f, L	3"	1,64

$$L_{CM} = 10,5 \text{ m e a}$$

$$\Sigma leq = 44,05 \text{ m}$$

Observar que só muda a parcela de 3"



Primeira possibilidade:
tanque de captação
aberto

$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2 + f_{3''} \times \frac{(52,5 + 71,69)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2 + f_{3''} \times 3574837,8 \times Q^2$$

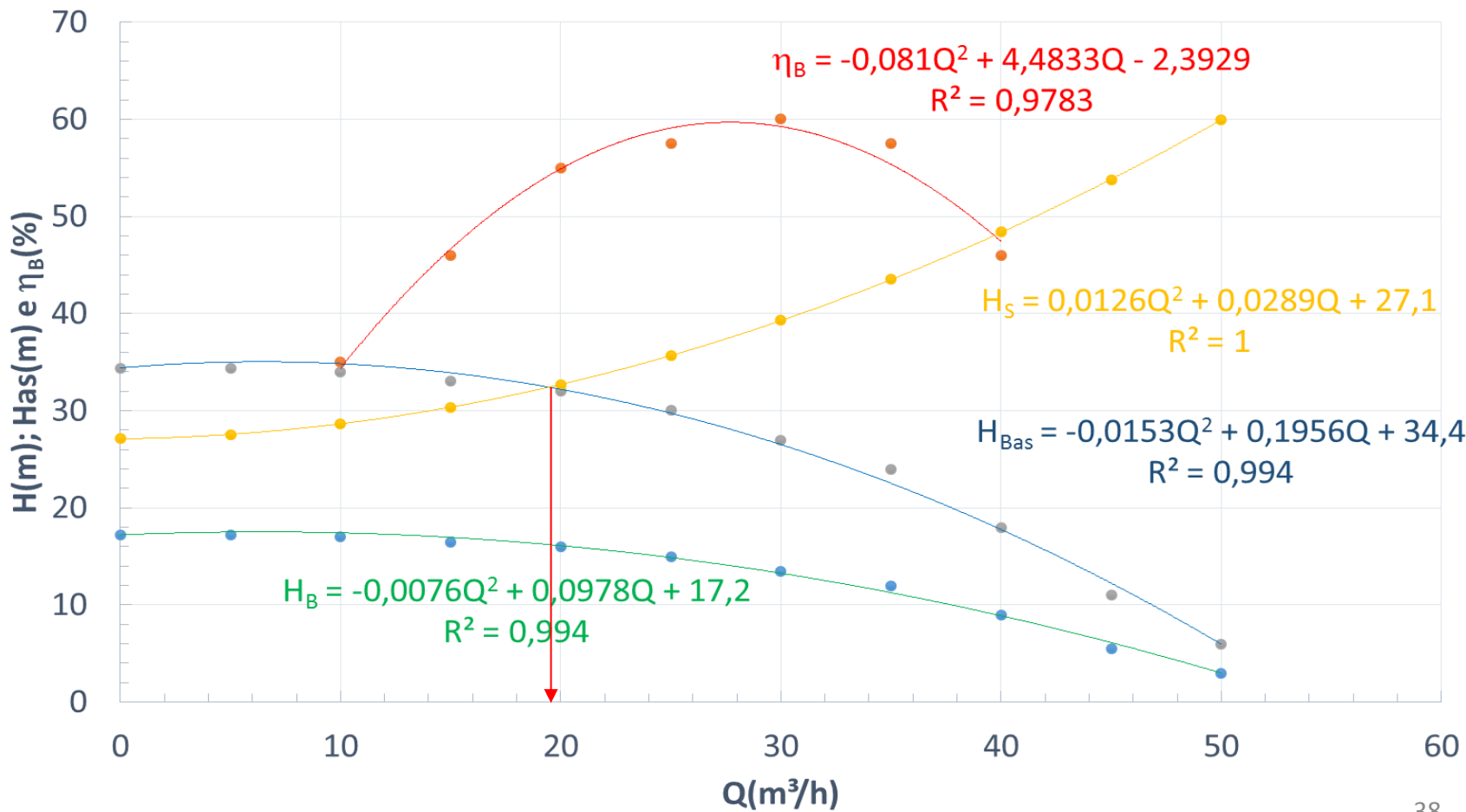
Agora é só
achar o ponto
de trabalho!



Vazão
insuficiente!



associação em série



$$H_B = -0,00765Q^2 - 0,0978Q + 17,2$$
$$R^2 = 0,9715$$

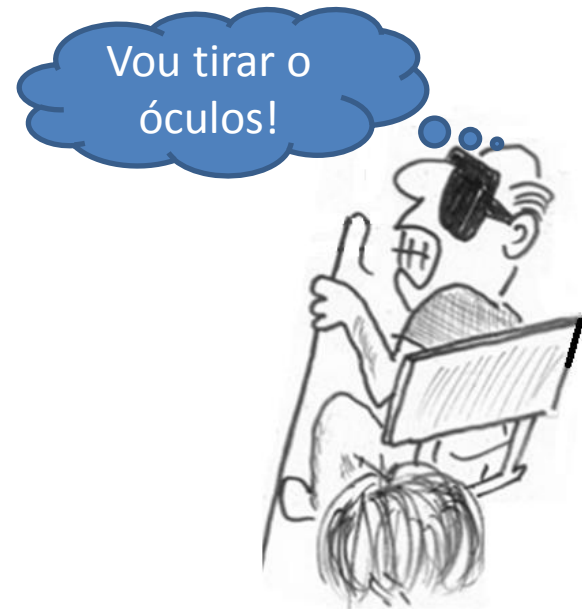
→ CCB da bomba Dr = 214 mm

← CCB da bomba Dr = 214 mm
associada em série


$$H_{Bas} = -0,0153Q^2 - 0,1956Q + 34,4$$
$$R^2 = 0,9715$$



O engenheiro
tem que ser um
bom
observador!




Vou tirar o
óculos!

A black and white cartoon illustration of a classroom. A bald lecturer with a beard and a mustache stands at the front, looking towards the students. He is wearing a light-colored shirt and dark trousers. In the foreground, several students are seated at desks, some looking towards the lecturer. One student on the right is wearing sunglasses and holding a book. A large blue speech bubble is positioned above the lecturer, and a smaller blue speech bubble is positioned below the students. The background shows a chalkboard with some faint lines.

A equação da CCB
em série é igual a
equação da bomba
só multiplicada por 2

Então dá para
trabalhar sem o
Excel!



Isso mesmo. Como a vazão ficou abaixo da vazão de projeto, vamos analisar agora a situação que pressurizamos o nível de captação com 143,9 kPa

Este também fica por nossa conta!