

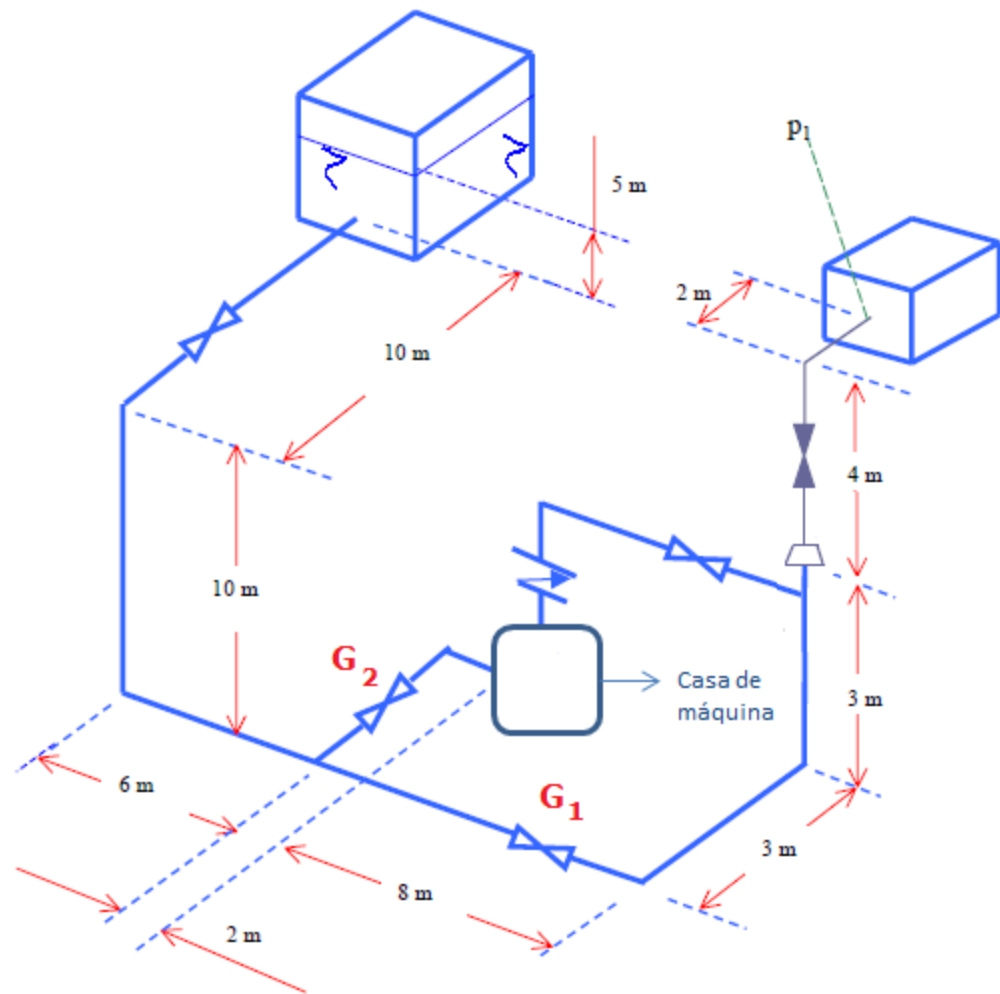
# Nona aula de ME5330

Primeiro  
semestre de  
2015



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

A tabela a seguir fornece os valores para a bomba com diâmetro do rotor 214 mm

$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$H_B \text{ (m)}$	17,2	17,2	17	16,5	16	15	13,5	12	9	5,5	3
$\eta_B \text{ (\%)}$	-	-	35	46	55	57,5	60	57,5	46	-	-

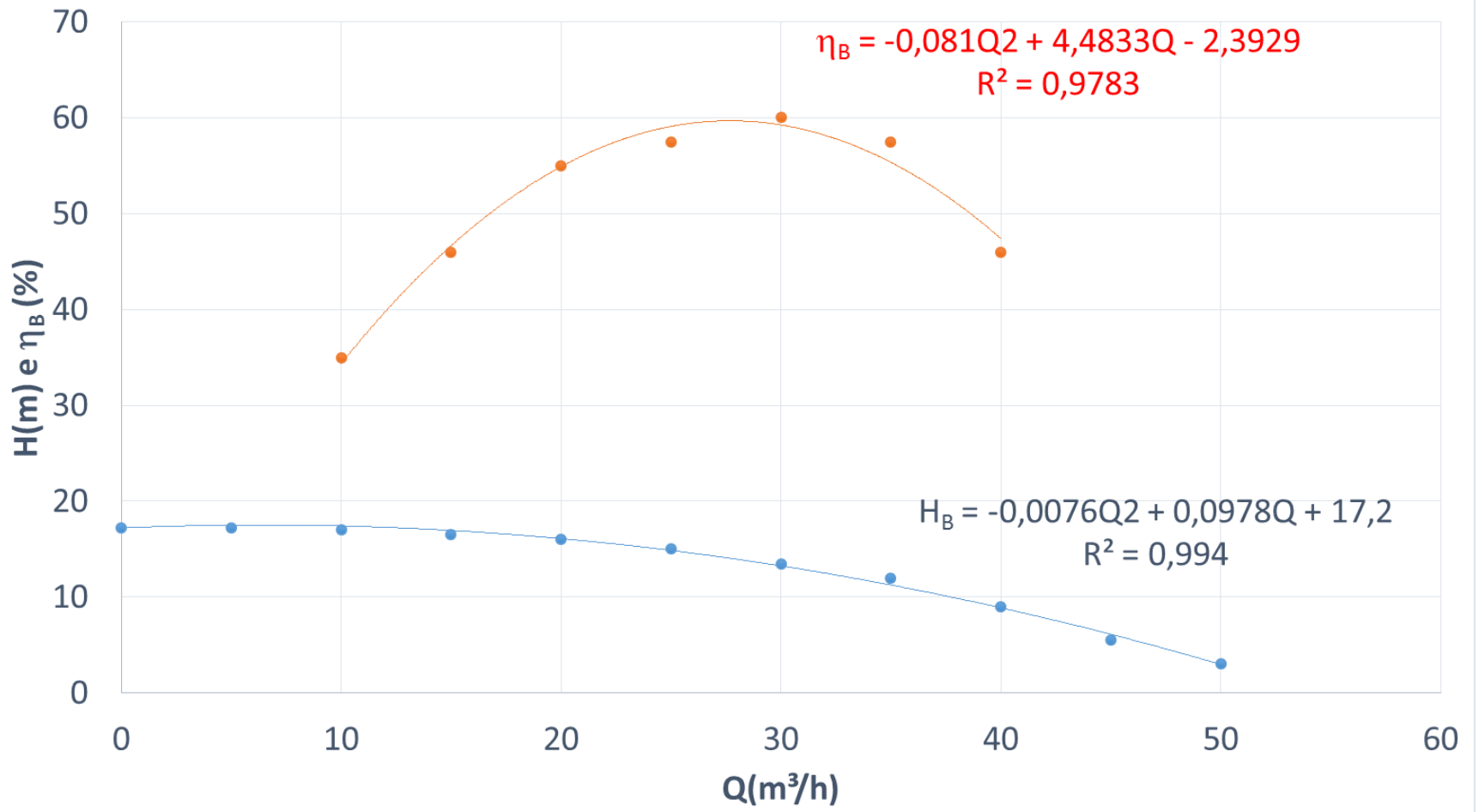


Considere a água a 22°C e a rugosidade equivalente do aço igual a 4,6e-5m.

Vamos  
recorrer ao  
Excel e obter  
as curvas da  
bomba.

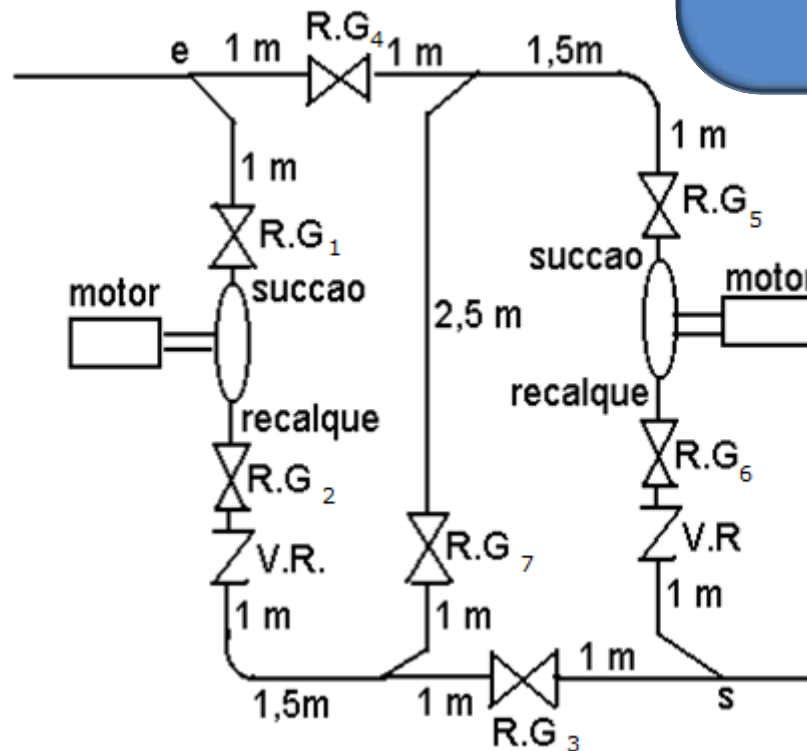


# CCB



É dado o detalhe da casa de máquina, onde as ligações possíveis das bombas encontram-se representadas na figura a seguir.

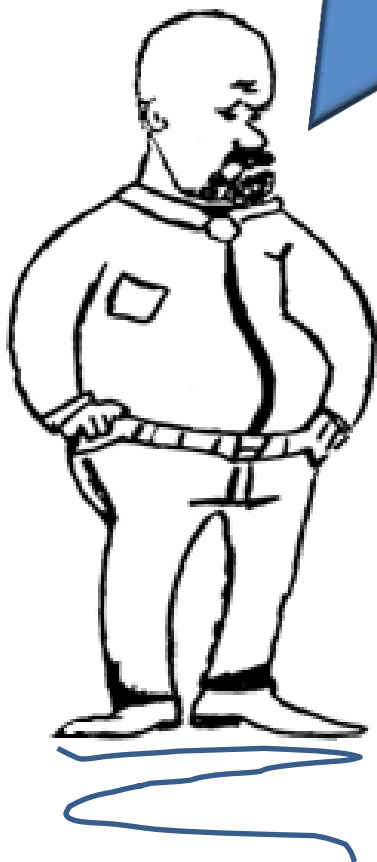
Tanto no L, como na  $\Sigma l_{eq}$  devem ser considerados na obtenção da CCI, certo?



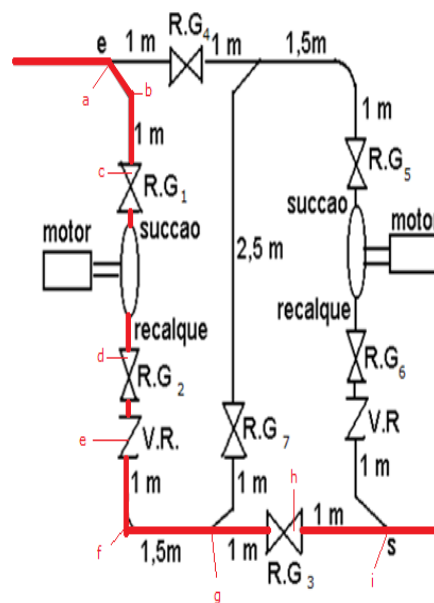
Isso mesmo e sabendo que a instalação na casa de máquina trabalha com um único diâmetro e que os tubos são de aço 40 com diâmetro nominal de 3", vamos obter o ponto de trabalho operando com a bomba H50-C com o diâmetro de rotor igual a 214 mm a situação 2, ou seja, para a pressão na seção final igual a 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>.



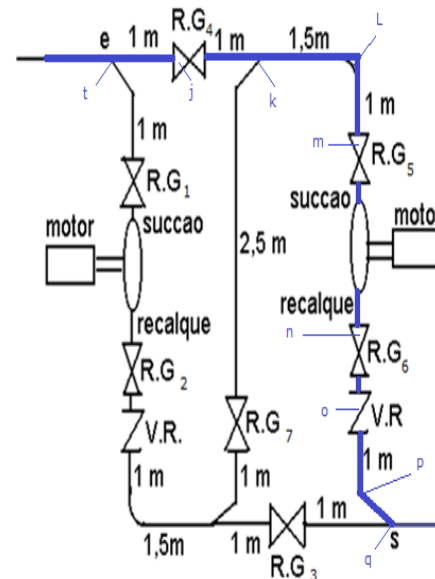
EM RELAÇÃO A CASA DE MÁQUINA AS  
DUAS POSSIBILIDADES SÃO IDÊNTICAS,  
POIS EM AMBAS SE TEM O MESMO  
COMPRIMENTO TOTAL DE TUBULAÇÃO E  
A MESMA SOMATÓRIA DE  
COMPRIMENTOS EQUIVALENTES.



Primeira  
possibilidade



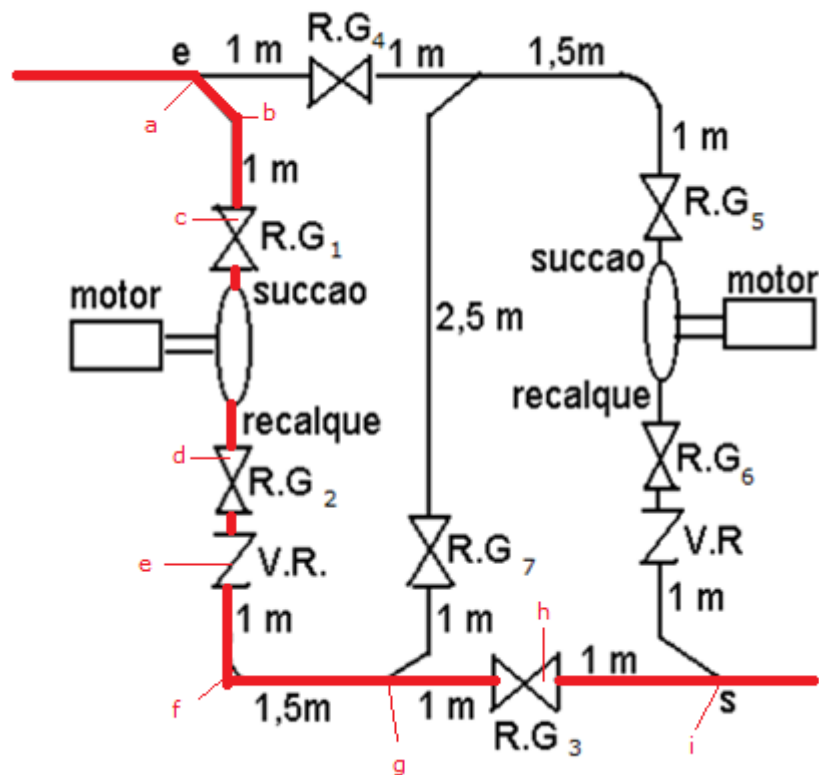
Segunda  
possibilidade





PRIMEIRA POSSIBILIDADE DE FUNCIONAMENTO: REGISTROS GAVETAS FECHADOS: 4, 5, 6 E 7 E REGISTROS GAVETAS ABERTOS: 1, 2 E 3. Nesse caso opera-se com uma só bomba.

### LEGENDA



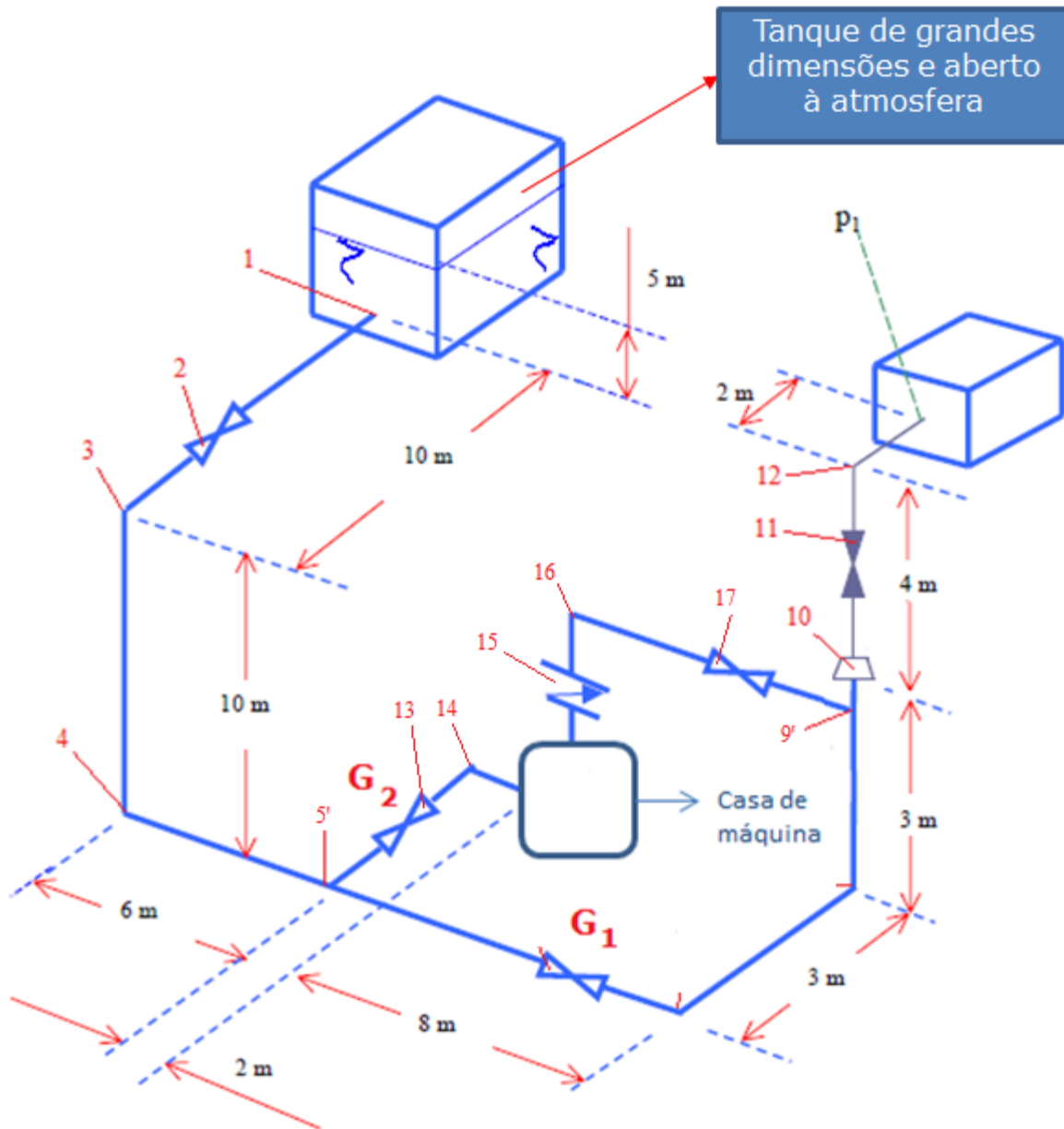
- a = tê de saída de lado (Tupy)
- b = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)
- c, d, h = registros ou válvulas gaveta (Mipel)
- e = válvula de retenção com portinhola (Mipel)
- f = curva (fêmea) de 90° (Tupy)
- g, i = tê de passagem direta (Tupy)

Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
a	3"	4,11
b	3"	2,82
c, d, h	3"	1,03
e	3"	3,95
f	3"	1,64
g, i	3"	0,50

$L_{CM} = 5,5 \text{ m e a}$   
 $\Sigma leq = 16,61 \text{ m}$

Vamos  
resolver o  
item b  
operando  
com bomba.





Número	Singularidade
1	Saída normal de reservatório
2	Válvula gaveta
3	Joelho fêmea de 90°
4	Joelho fêmea de 90°
5'	Tê de passagem lateral
13	Válvula gaveta
14	Joelho fêmea de 90°
15	Válvula de retenção com portinhola
16	Joelho fêmea de 90°
17	Válvula gaveta
9'	Tê de passagem lateral
10	Redução de 3 para 2"
11	Válvula globo reta sem guia
12	Joelho fêmea de 90°

Número	Singularidade	Leq (m)	Referência	D <sub>N</sub>	Dint (mm)	A (cm <sup>2</sup> )
1	Saída normal de reservatório	1,1	Tupy	3"	77,9	47,7
2	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
3	Joelho fêmea de 90 <sup>0</sup>	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
4	Joelho fêmea de 90 <sup>0</sup>	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
5'	Tê de passagem lateral	4,11	Tupy	3"	77,9	47,7
13	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
14	Joelho fêmea de 90 <sup>0</sup>	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
15	Válvula de retenção com portinhola	3,95	Tupy	3"	77,9	47,7
16	Joelho fêmea de 90 <sup>0</sup>	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
17	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
9'	Tê de passagem lateral	4,11	Tupy	3"	77,9	47,7
10	Redução de 3 para 2"	0,70	Tupy	2"	52,5	21,7
11	Válvula globo reta sem guia	17,68	Mipel	2"	52,5	21,7
12	Joelho fêmea de 90 <sup>0</sup>	1,88	Tupy	2"	52,5	21,7

Iniciamos  
calculando a  
carga estática!

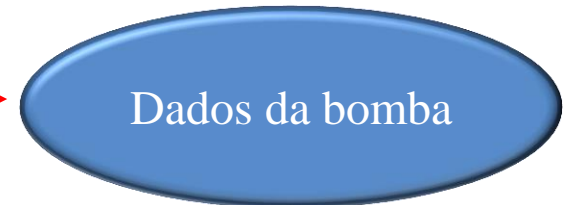


# Situação 2 = válvula 1 fechada e a 2 aberta

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

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

Q(m <sup>3</sup> /h)	H <sub>B214</sub> (m)	η <sub>B214</sub> (%)
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.



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

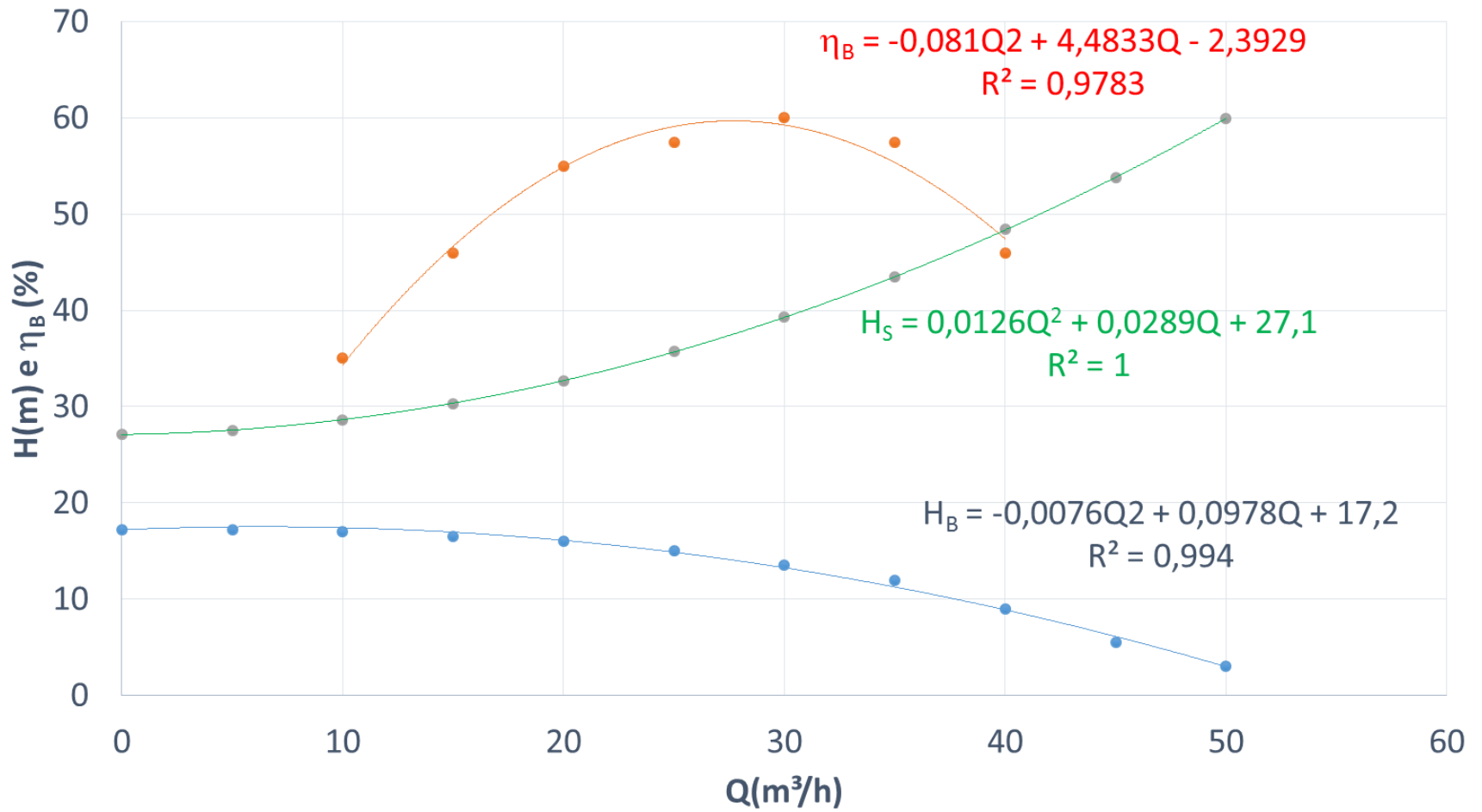
$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 2641045,0 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$

Vamos ver isto graficamente




Q(m <sup>3</sup> /h)	H <sub>B214</sub> (m)	η <sub>B214</sub> (%)	f <sub>3"</sub>	f <sub>2"</sub>	H <sub>S_sit2</sub> (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

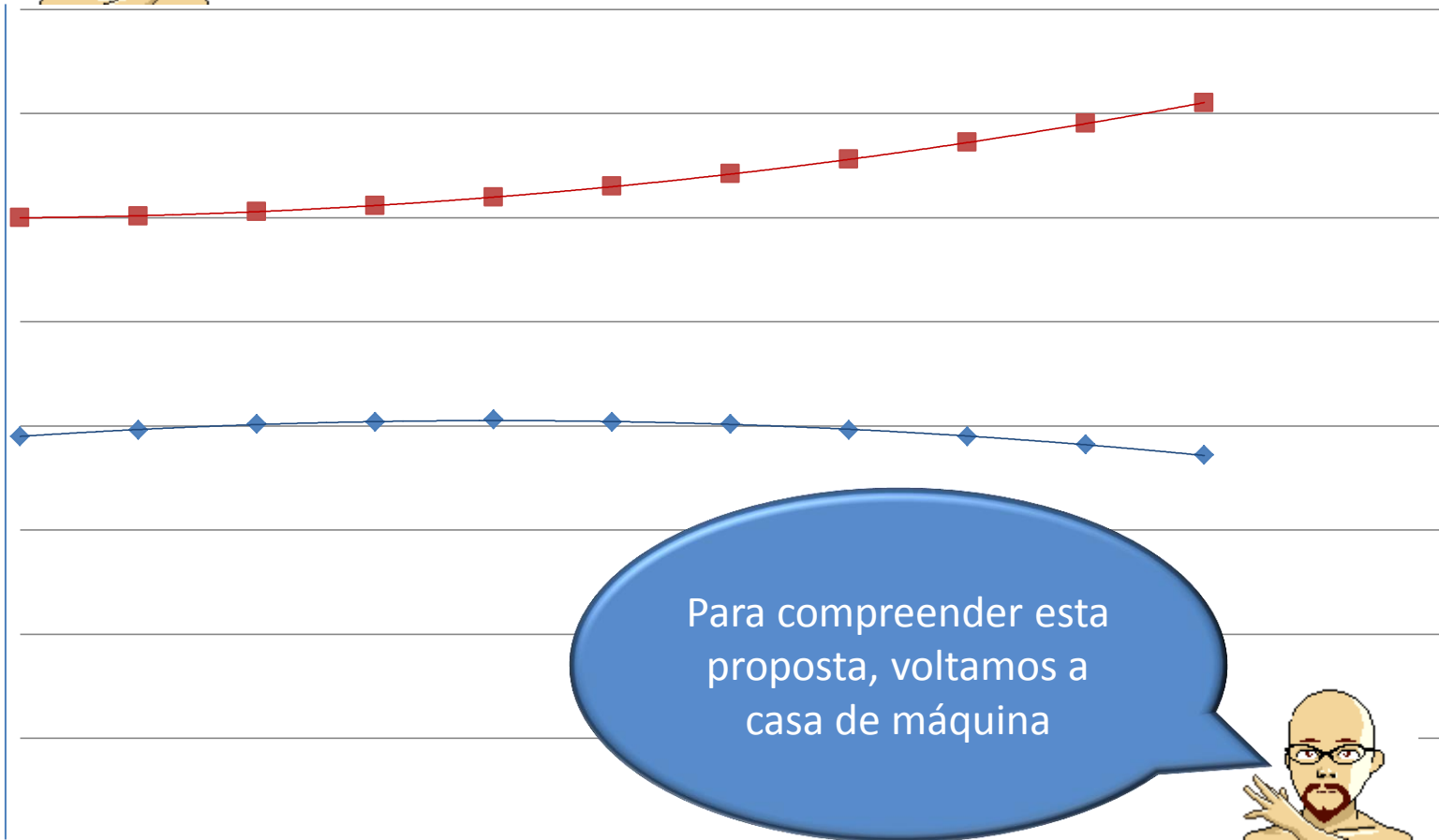
# CCB







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.





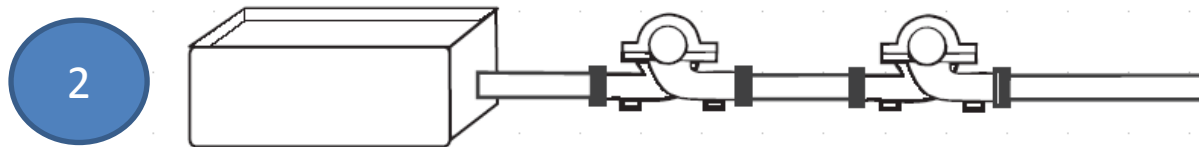
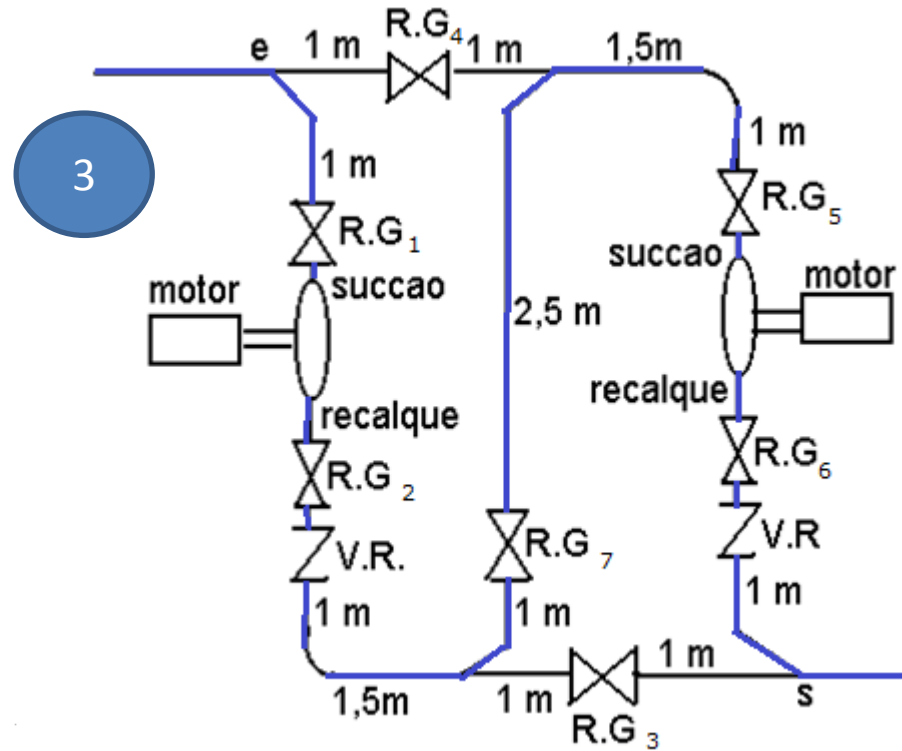
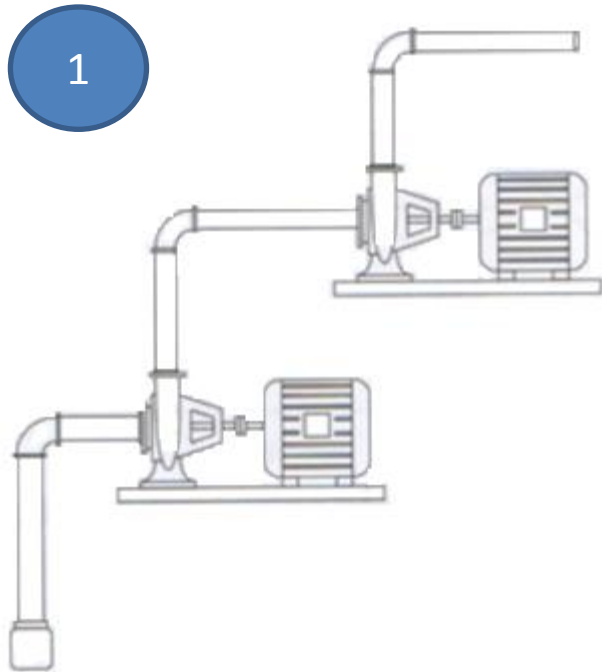
Esta necessidade  
pode surgir como  
no caso do item b  
do exercício



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:

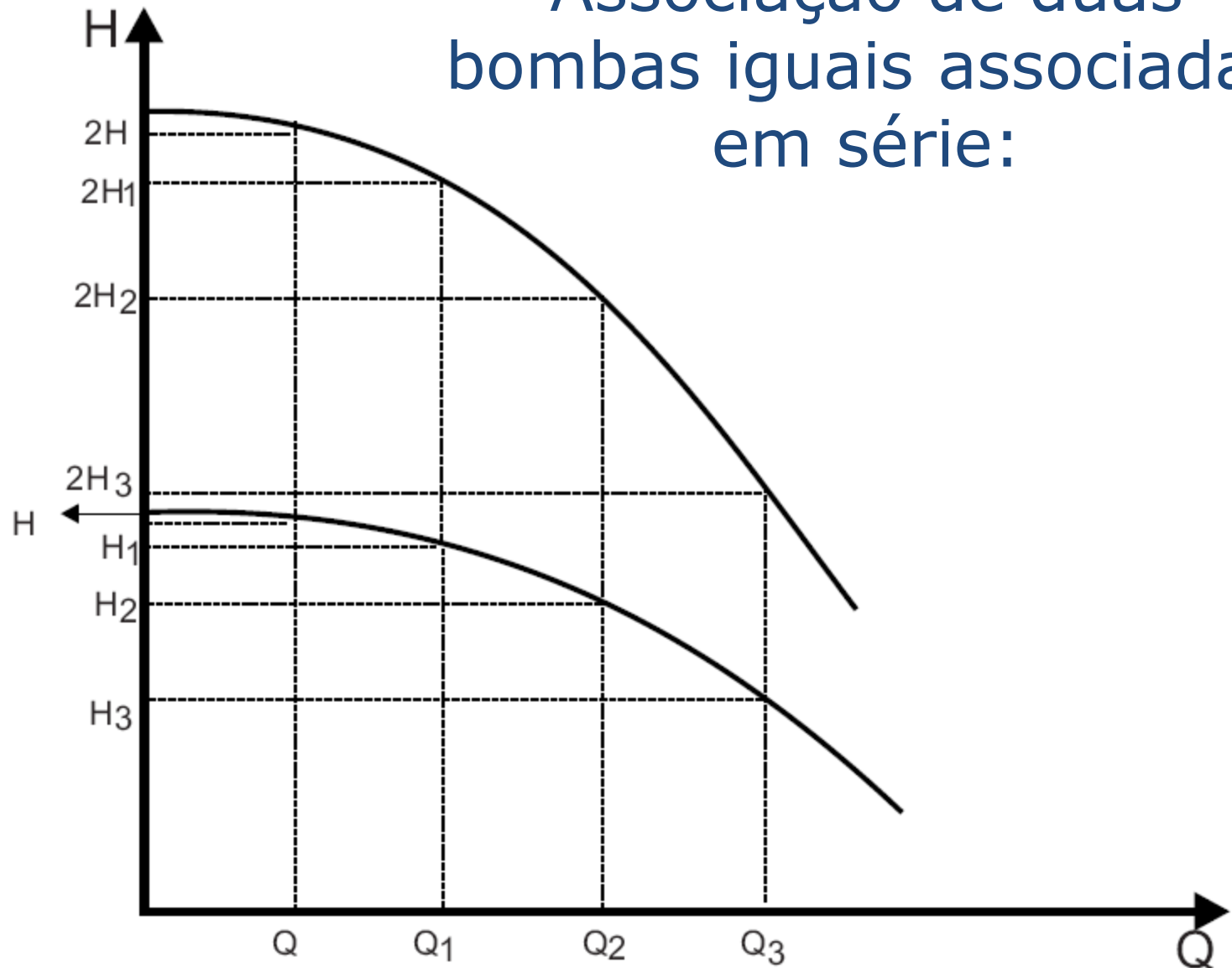
1. O líquido passará pela primeira bomba e receberá uma certa carga manométrica e ao entrar na segunda bomba, haverá um novo acréscimo de carga a fim de que o mesmo atinja as condições solicitadas.
2. A vazão que sai da primeira bomba é a mesma que entra na segunda, sendo portanto a vazão em uma associação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

# Conclusão:

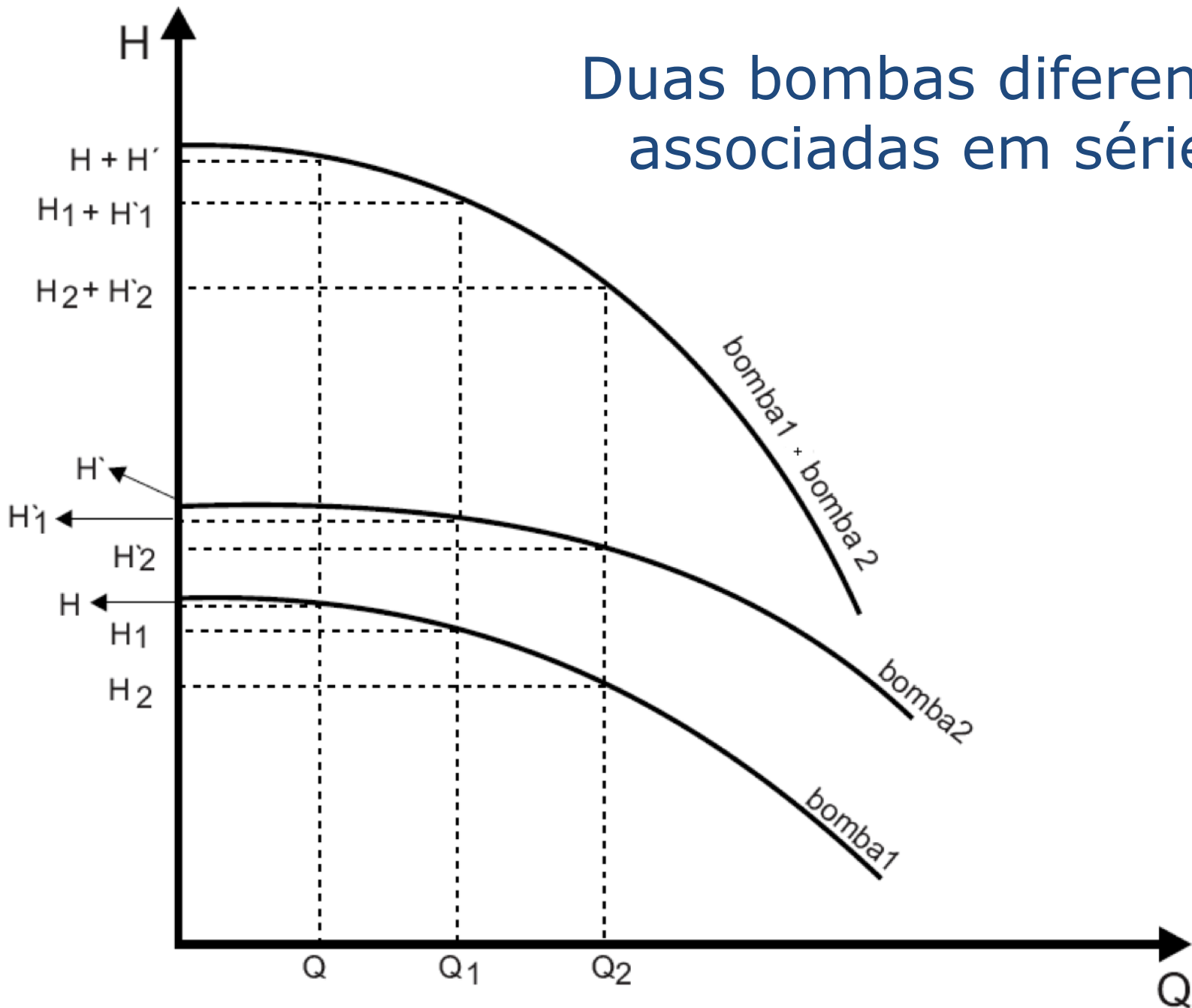
quando associamos duas ou mais bombas em série, para uma mesma vazão, a carga manométrica será a soma da carga manométrica fornecida por cada bomba.

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.

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

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

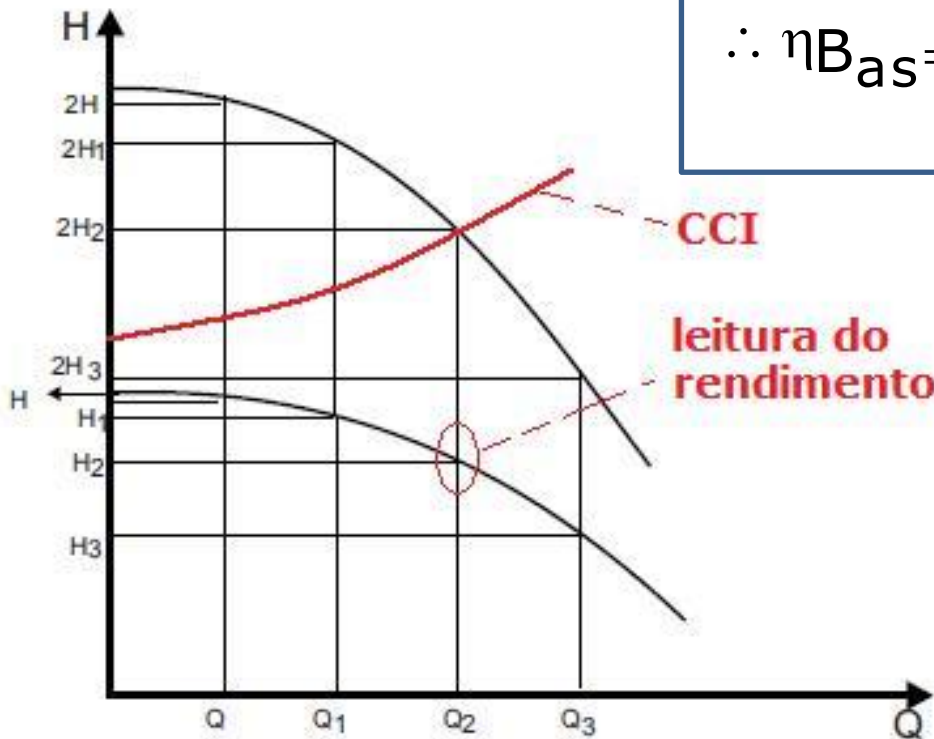
$$\frac{H_{B_{\text{as}}}}{\eta_{B_{\text{as}}}} = \frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}$$

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

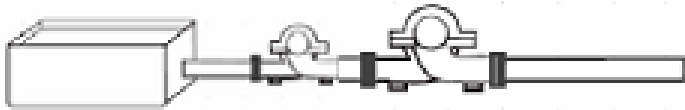
# Operação de bombas iguais em série

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

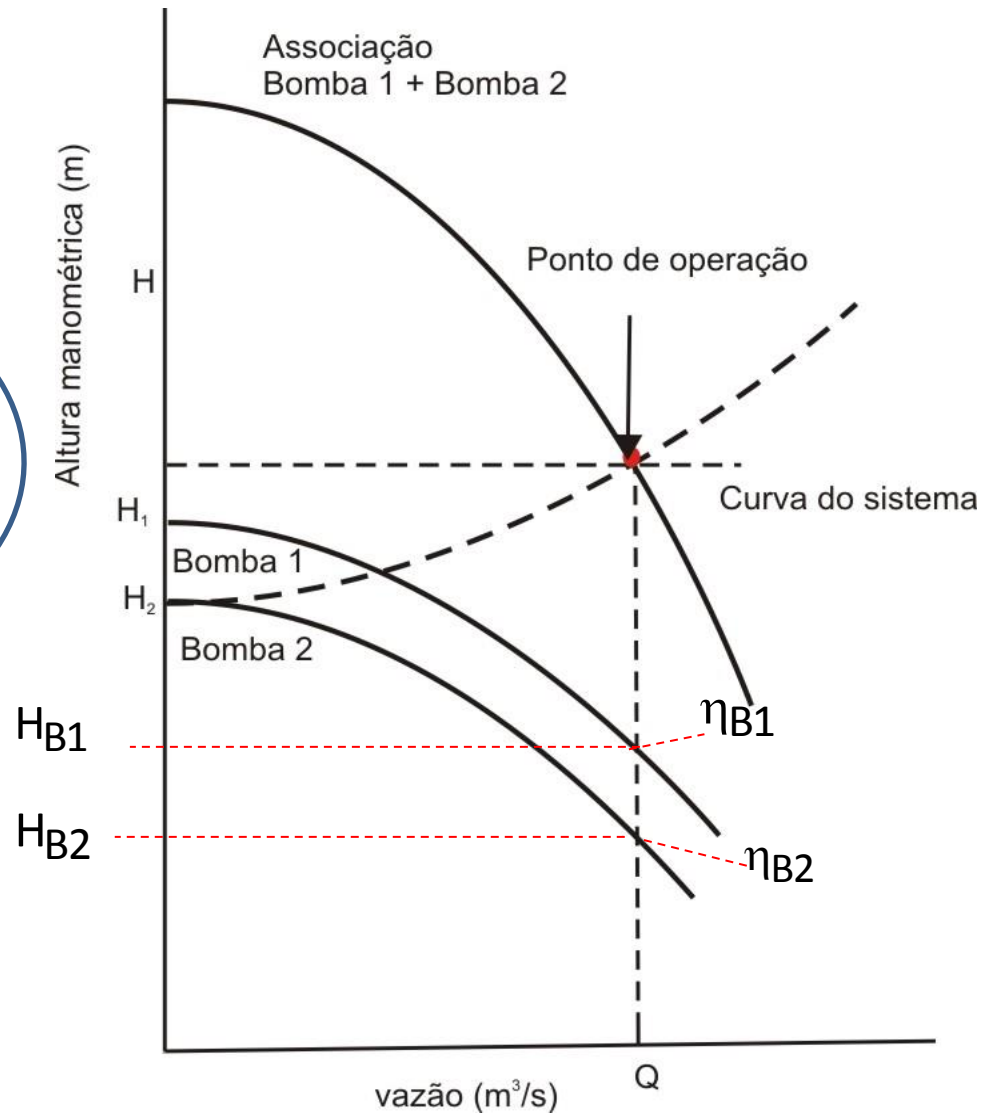
$$\therefore \eta_{B_{as}} = \eta_{B_{B1}} = \eta_{B_{B2}}$$



# Operação de bombas diferentes em série

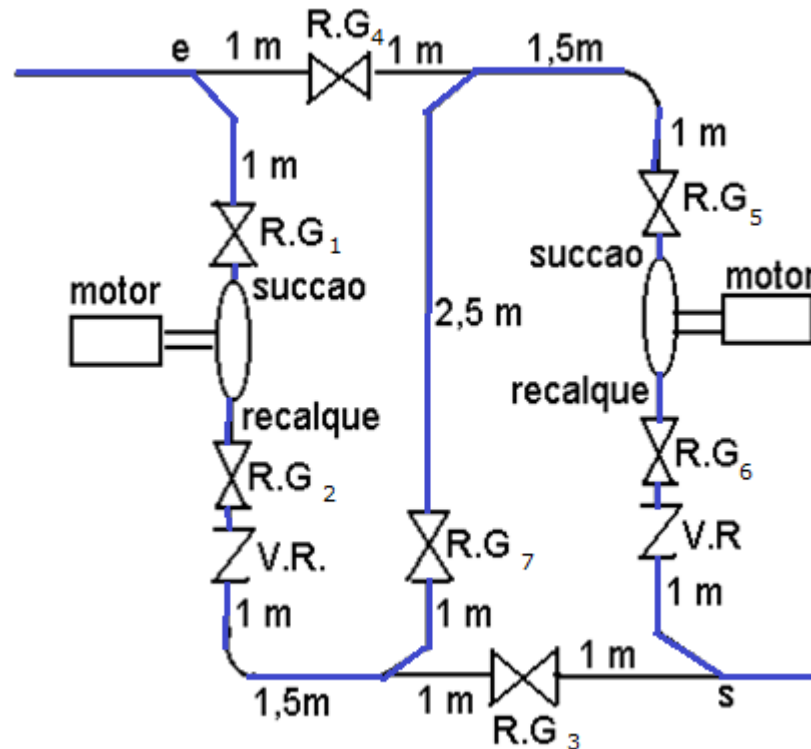


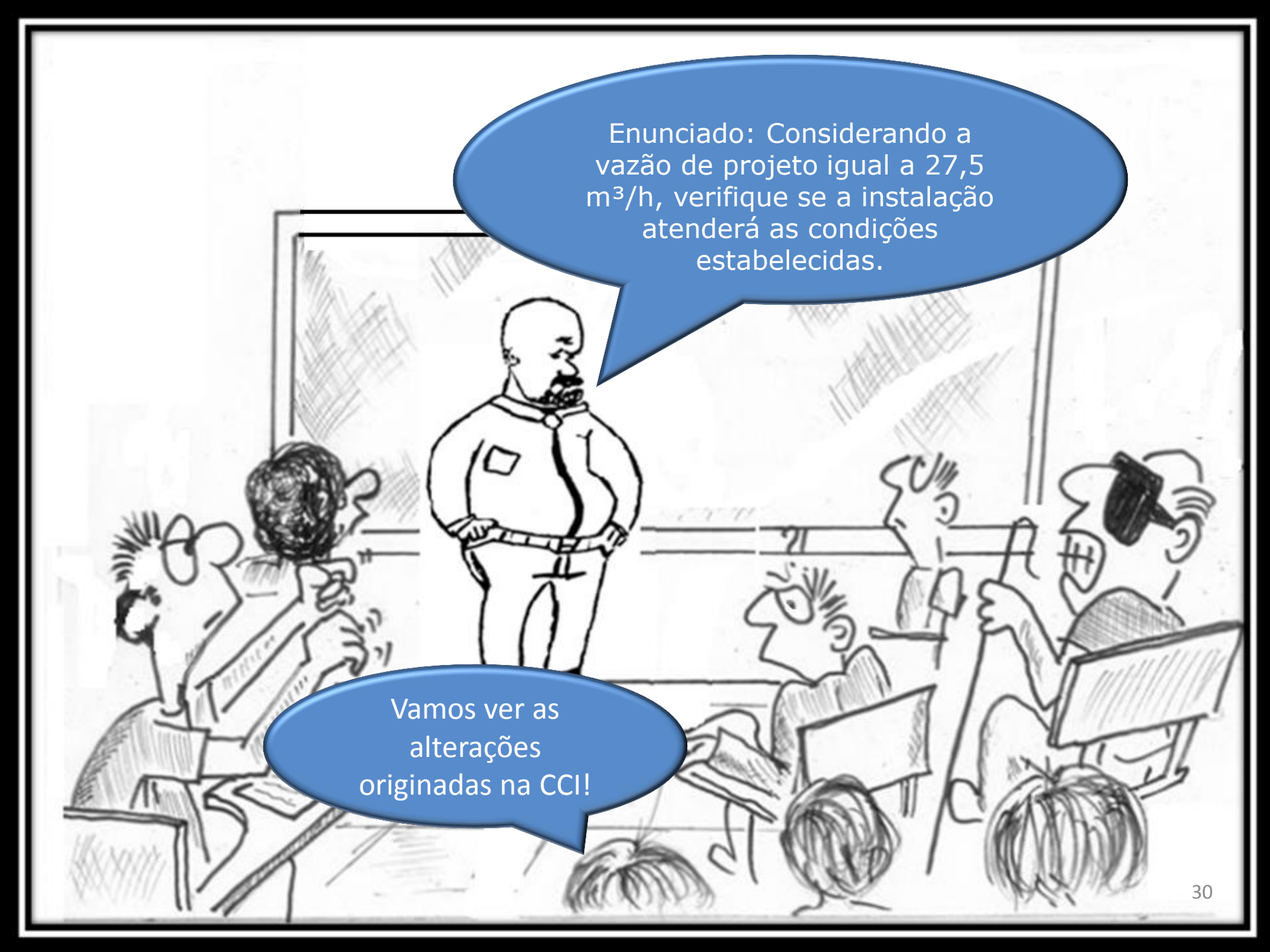
$$\eta_{B_{as}} = \frac{H_{B_{as}}}{\frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}}$$



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  $\Sigma l_{eq}$ !

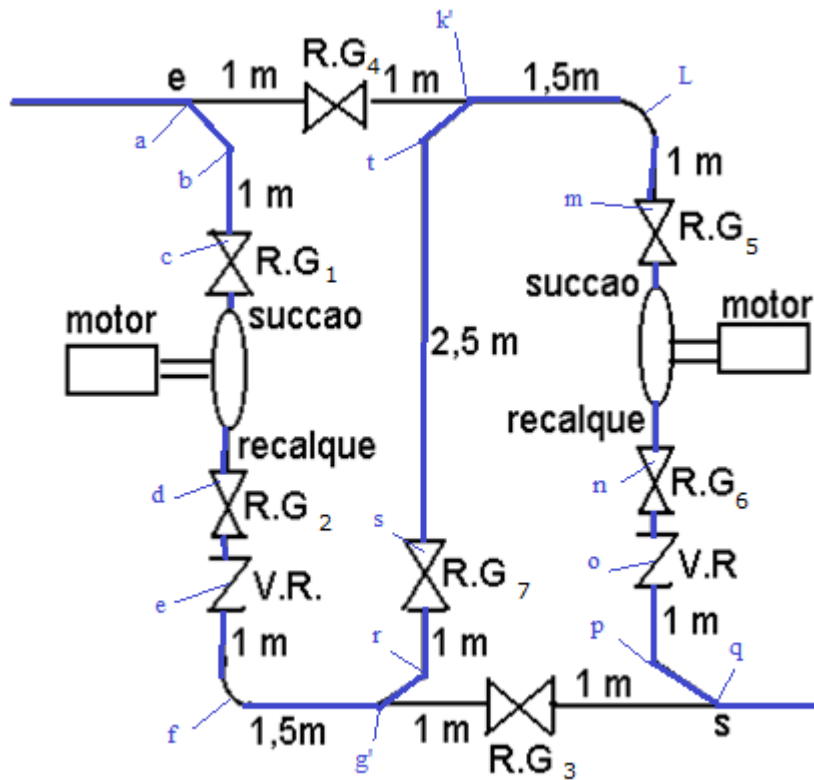


A black and white cartoon illustration of a classroom. A lecturer with a beard and a white shirt stands at the front, looking towards the students. Several students are seated at desks, some looking at the lecturer, others looking at their papers or books. One student on the right is wearing sunglasses and holding a book. A large blue speech bubble is positioned above the lecturer, and a smaller 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



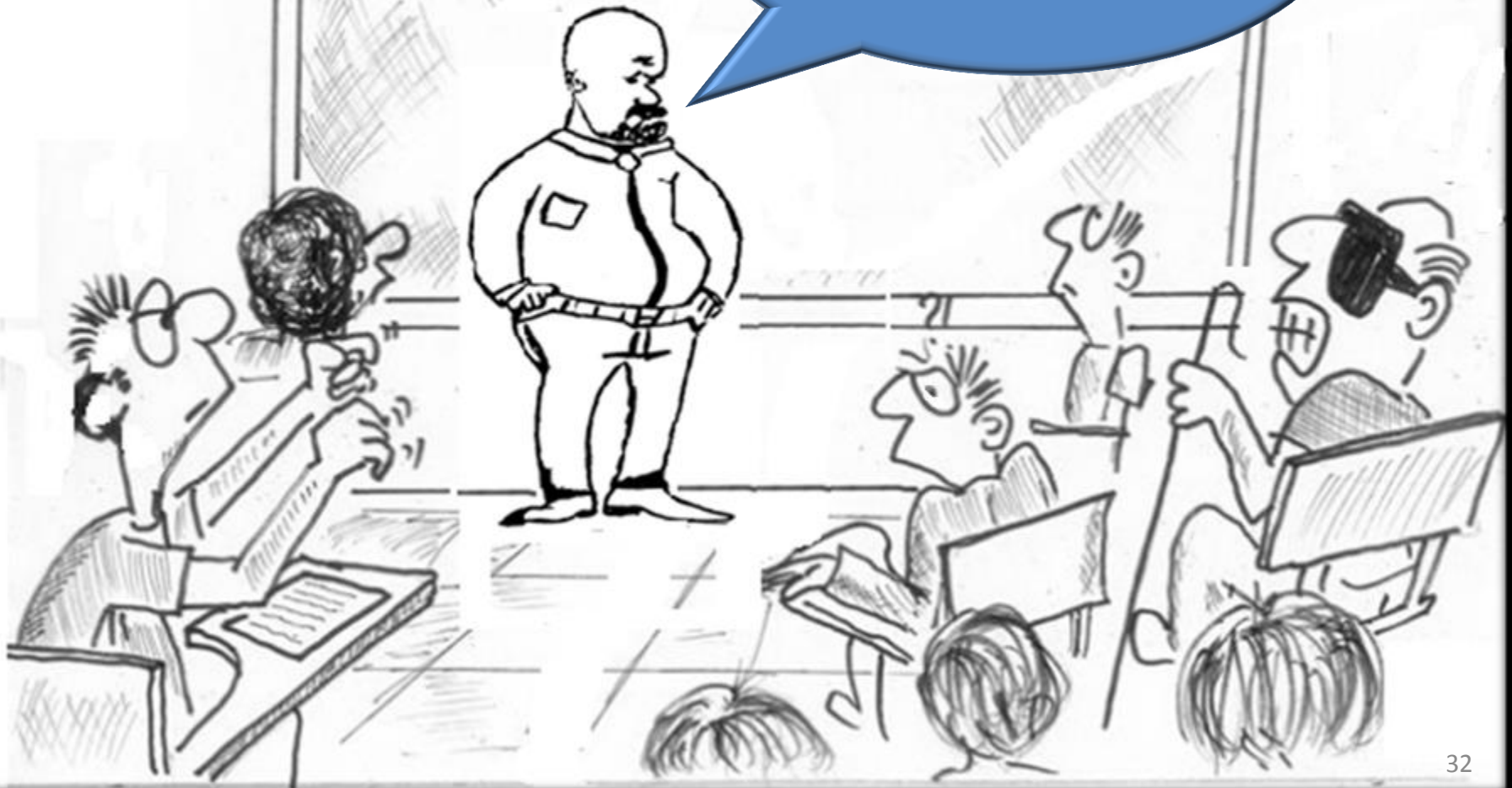
- a, g', k' e q = tê de saída de lado (Tupy)  
 b, r, t e p = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)  
 c, d, s, m e n = registros ou válvulas gaveta (Mipel)  
 e, o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)  
 f e L = curva (fêmea) de 90° (Tupy)

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

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

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

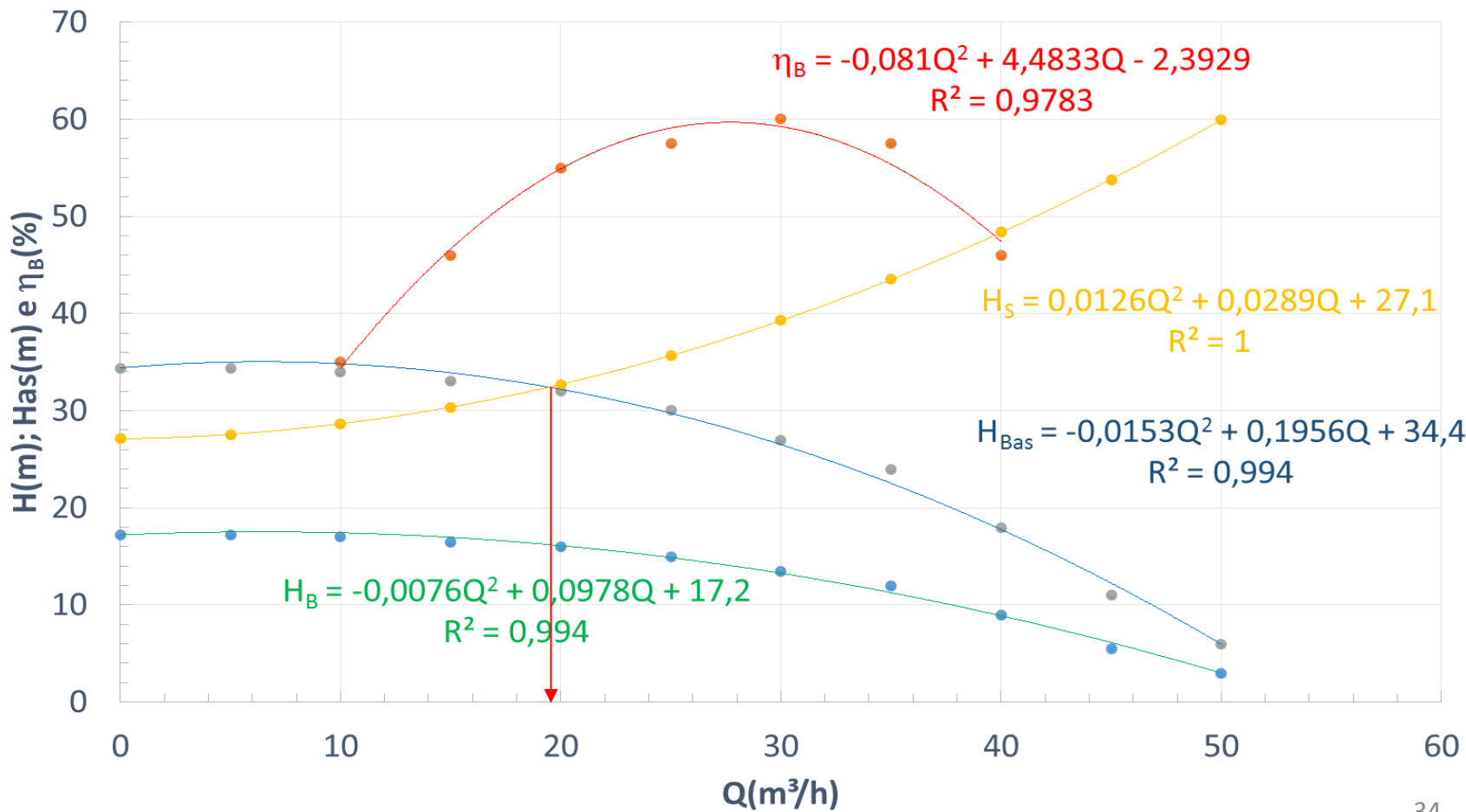
Agora é só  
achar o ponto  
de trabalho!



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. One student on the left is looking towards the lecturer. Another student in the center is looking at a book. On the right, a student wearing sunglasses is looking towards the lecturer. There are two blue speech bubbles overlaid on the image. The top one is from the lecturer, and the bottom one is from a student. The background shows a chalkboard with some faint lines.

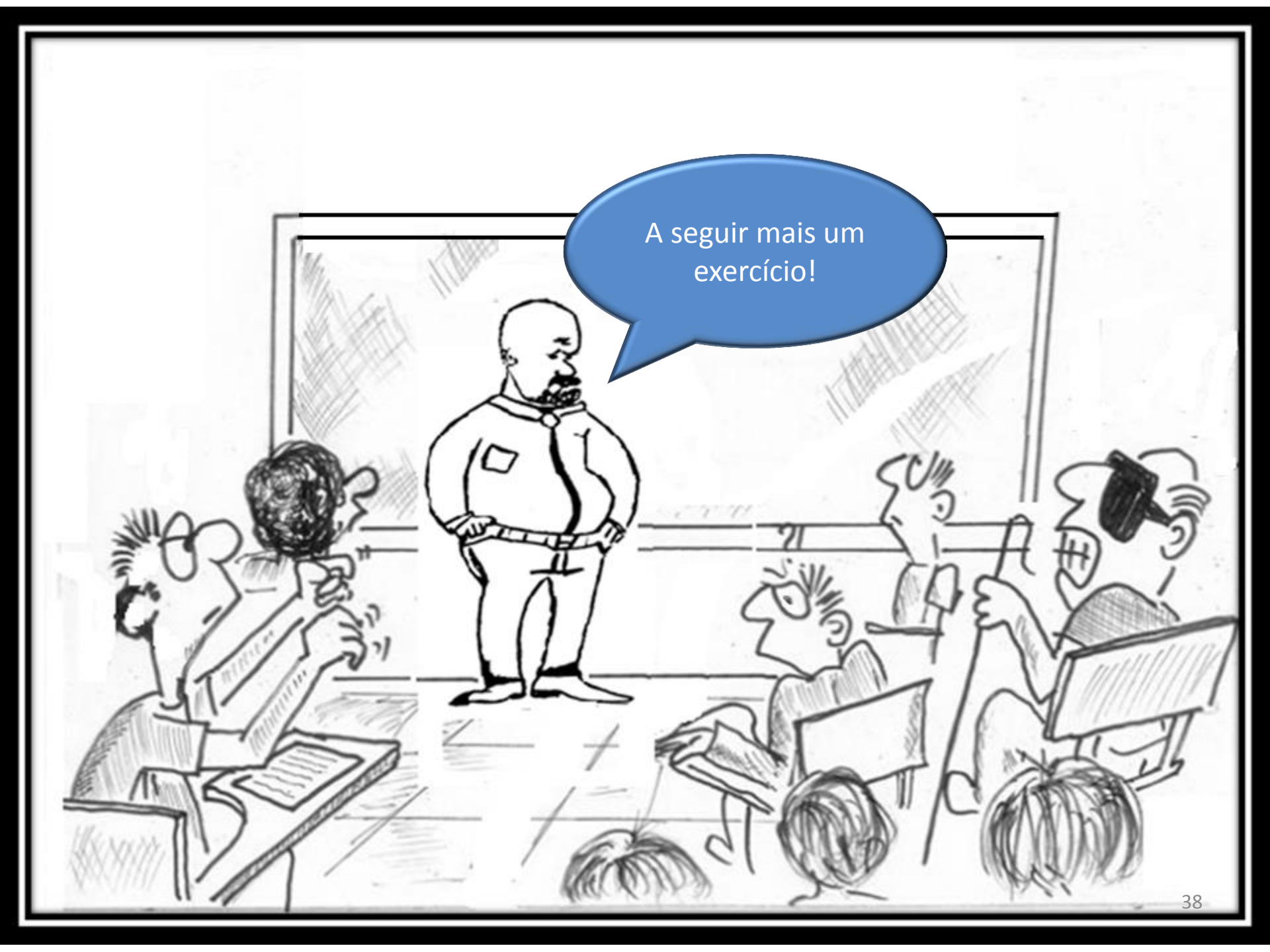
A equação da CCB  
em série é igual a  
equação da bomba  
só multiplicada por 2

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!

A black and white cartoon illustration of a classroom. A teacher with a beard and a mustache stands at the front of the room, hands on hips, looking towards the students. A blue speech bubble above him contains the text "A seguir mais um exercício!". Several students are seated at desks, some looking towards the teacher. 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.

A seguir mais um exercício!

95<sup>0</sup> (3<sup>a</sup> Questão): Uma instalação de bombeamento transporta um fluido com viscosidade menor que 20 mm<sup>2</sup>/s e tem a sua CCI representada pela equação:

$$H_S = 20 + 6000 \times Q^2$$

com a vazão em m<sup>3</sup>/s e a carga do sistema em m, isto para **todas** as possibilidades de funcionamento das bombas idênticas que se encontram na casa de máquina.

Conhecendo os dados para obtenção das curvas  $H_B = f(Q)$  e  $\eta_B = f(Q)$ , pede-se determinar a vazão, a carga manométrica, o rendimento e a potência mecânica para:

- o uso de uma única bomba;
- o uso da associação em série das duas bombas idênticas.



Dado:

$H_B$ (m)	70	60	50	40	30	20
$Q$ (m <sup>3</sup> /h)	0	75,6	122,4	154,8	176,4	190,8
$\eta_B$ (%)	0	69	80	68	47	30