



NONA AULA DE LABORATÓRIO DA DISCIPLINA ME5330

Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

22/10/2013



No caso do exercício o novo processo exigiu um aumento da pressão em sua entrada, ou seja, uma carga manométrica maior do que a do shut off.

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.

Quando pensar em associação em série?

Considerando a vazão de projeto igual a $35,2 \text{ m}^3/\text{h}$ e lembrando que para a associação em série de bombas iguais, para a mesma vazão nós obtemos a carga manométrica da associação multiplicando a H_B por 2, verifique se a instalação atenderá as condições estabelecidas.

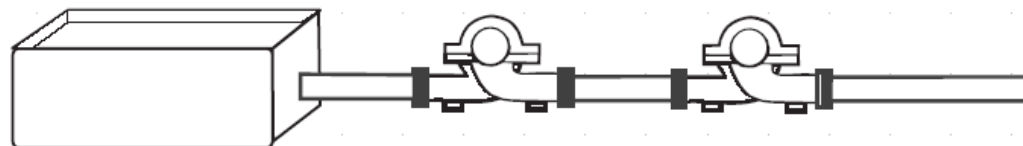


Antes de resolver o exercício proposto, vamos rever os conceitos relacionados com a associação em série de bombas.



Considerando o esquema a seguir 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.

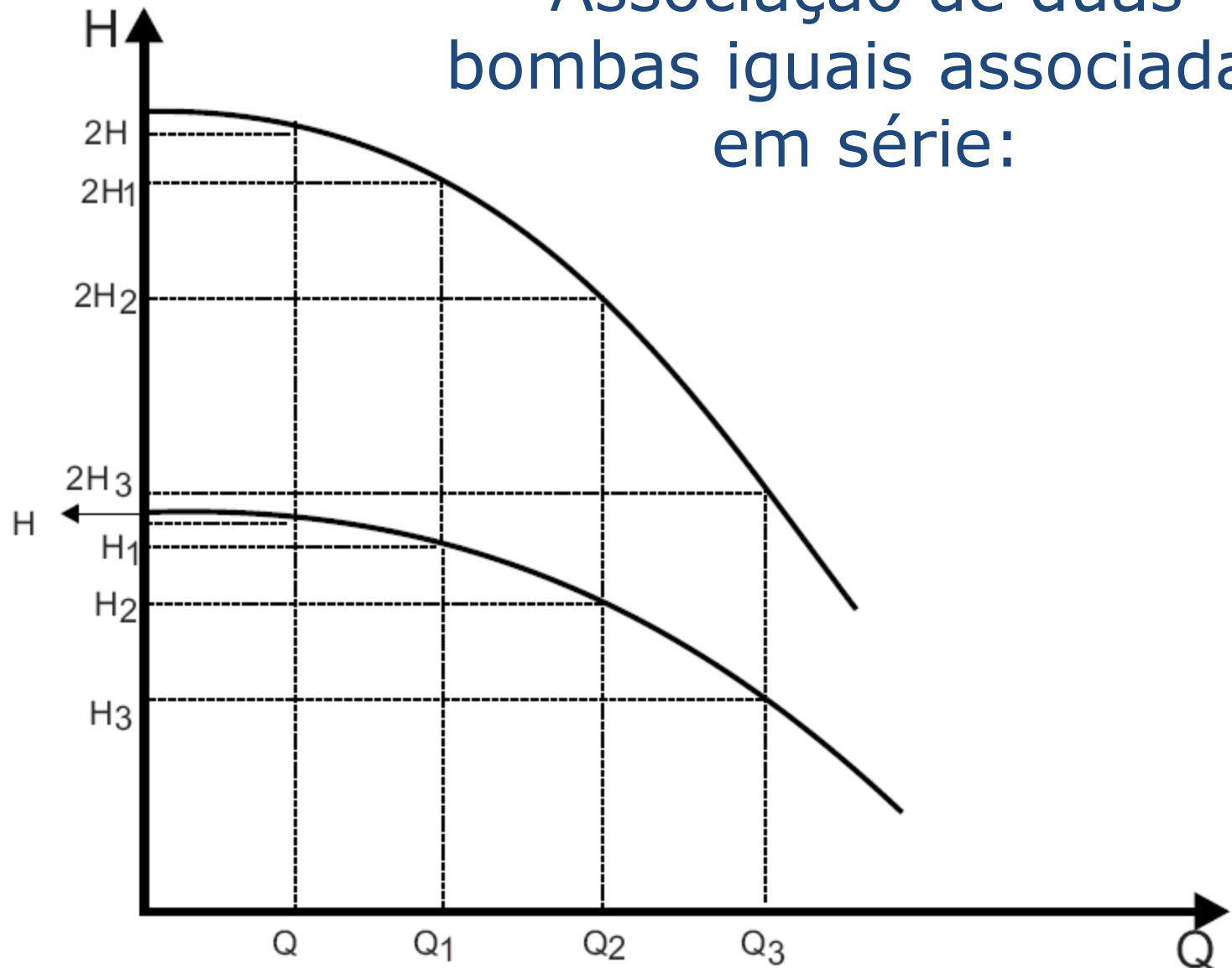


Conclusão:

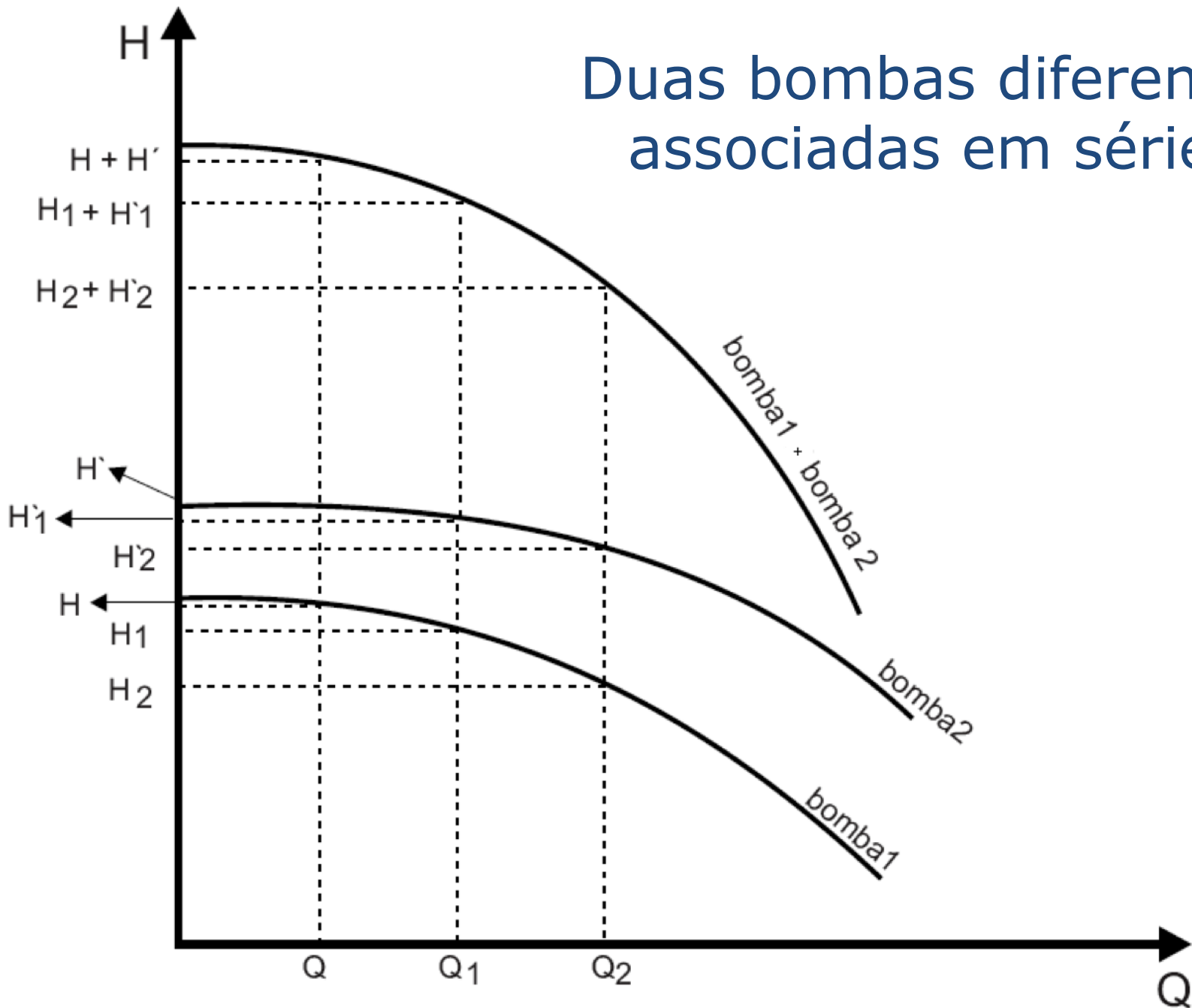
quando associamos duas ou mais bombas em série, para uma mesma vazão, a carga manométrica será a soma da carga manométrica fornecida por cada bomba.

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.

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

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

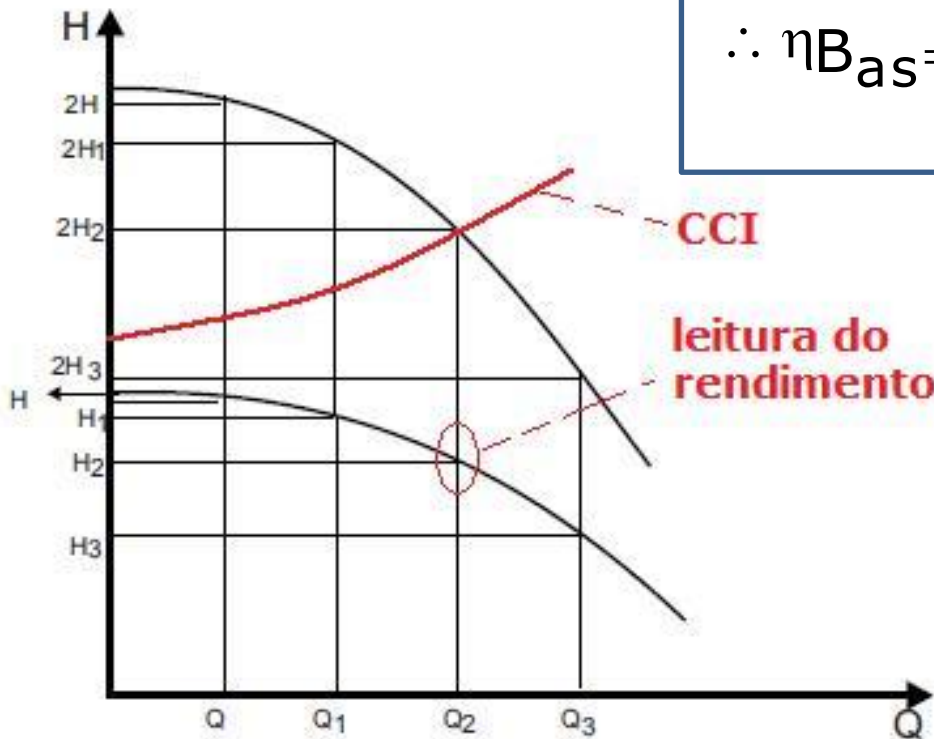
$$\frac{H_{B_{\text{as}}}}{\eta_{B_{\text{as}}}} = \frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}$$

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

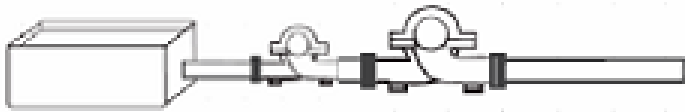
Operação de bombas iguais em série

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

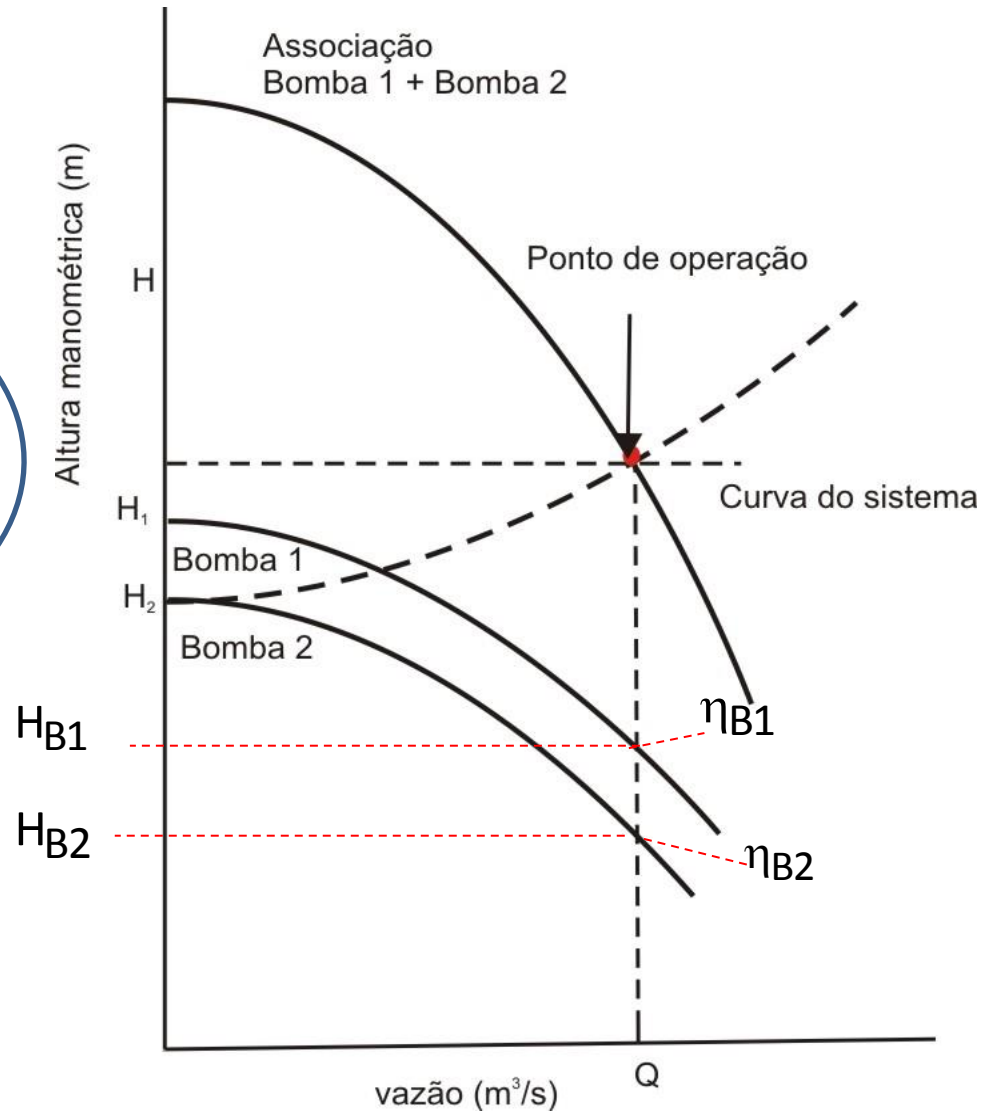
$$\therefore \eta_{B_{as}} = \eta_{B_{B1}} = \eta_{B_{B2}}$$



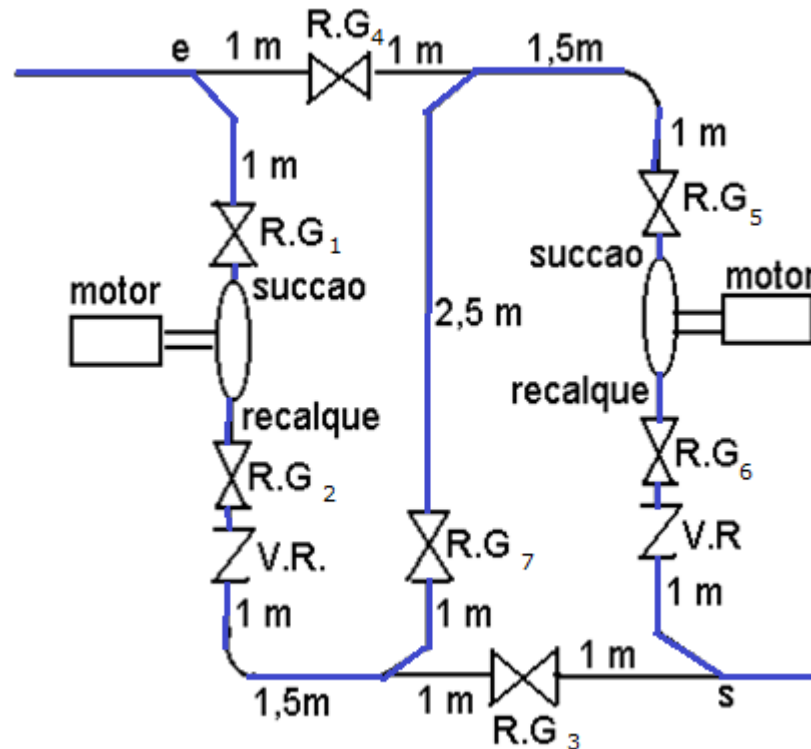
Operação de bombas diferentes em série



$$\eta_{Bas} = \frac{H_{Bas}}{\frac{H_{BB1}}{\eta_{BB1}} + \frac{H_{BB2}}{\eta_{BB2}}}$$



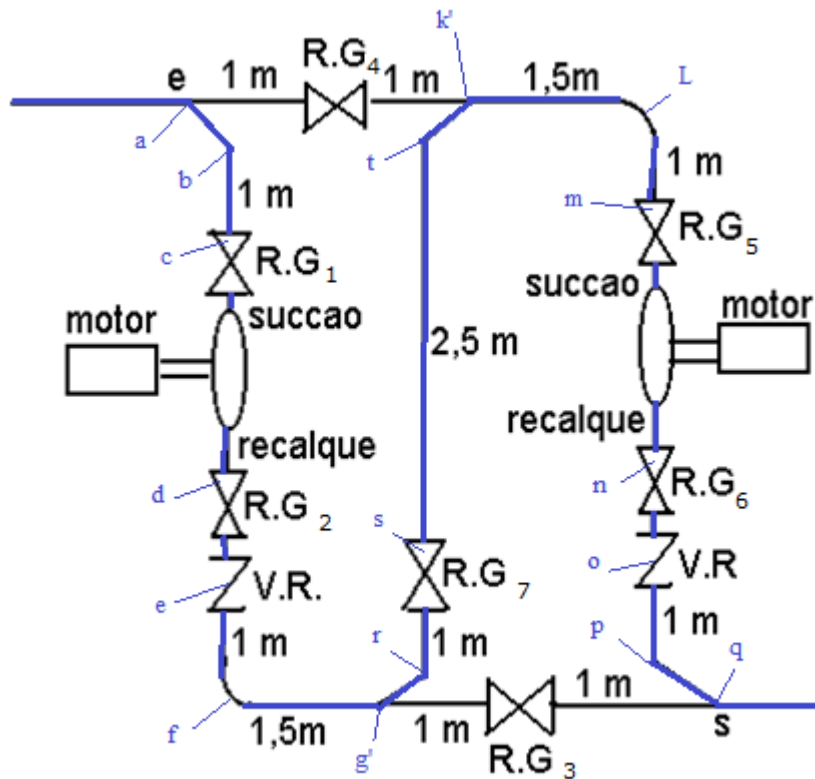
Esta é a possibilidade da associação em série.



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} !



LEGENDA

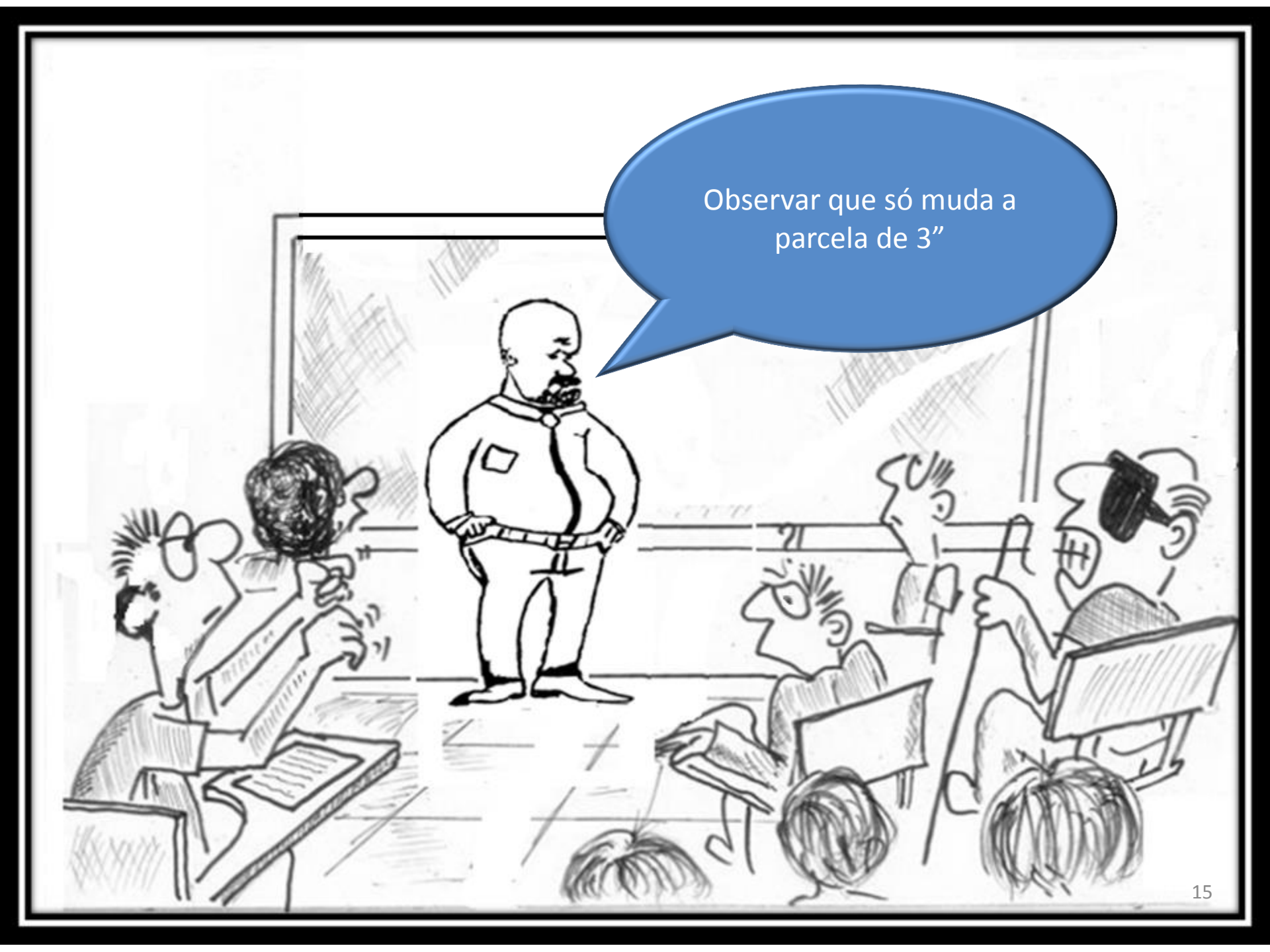


- a, g', k' e q = tê de saída de lado (Tupy)
 b, r, t e p = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)
 c, d, s, m e n = registros ou válvulas gaveta (Mipel)
 e, o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)
 f e L = curva (fêmea) de 90° (Tupy)

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

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

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

A black and white cartoon illustration of a classroom. A teacher with a beard and a mustache stands at the front, looking towards a group of students. The students are seated at desks, some holding books or papers. A large blue speech bubble is positioned above the teacher, containing the text 'Observar que só muda a parcela de 3"'. The drawing style is simple and sketchy.

Observar que só muda a parcela de 3"

Primeira possibilidade:
tanque de captação
aberto

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

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

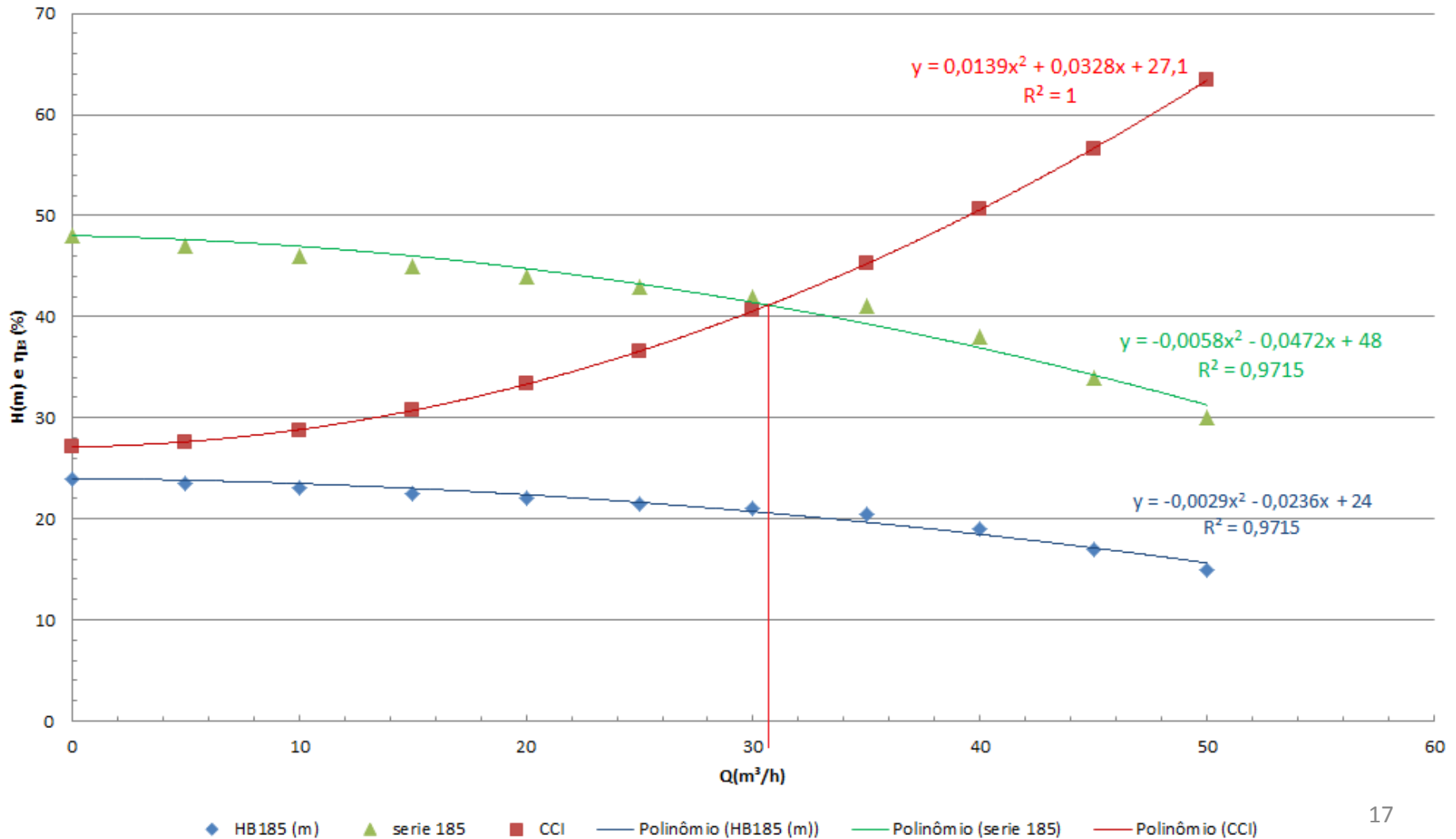
Agora é só
achar o ponto
de trabalho!



Vazão
insuficiente!



Ponto de trabalho associação serie



$$H_B = -0,0029Q^2 - 0,0236Q + 24$$
$$R^2 = 0,9715$$

CCB da bomba Dr = 185 mm

CCB da bomba Dr = 185 mm
associada em série


$$H_{Bas} = -0,0058Q^2 - 0,0472Q + 48$$
$$R^2 = 0,9715$$



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 thoughtful. He is wearing a sweater and trousers. Several students are seated at desks, some holding papers or books. One student on the right is wearing sunglasses. A large blue speech bubble is positioned above the lecturer, and a smaller one is below him. 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



Segunda possibilidade:
tanque de captação
pressurizado

$$H_S = 12,4 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2 + f_{3''} \times \frac{(52,5 + 71,69)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 12,4 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2 + f_{3''} \times 3574837,8 \times Q^2$$

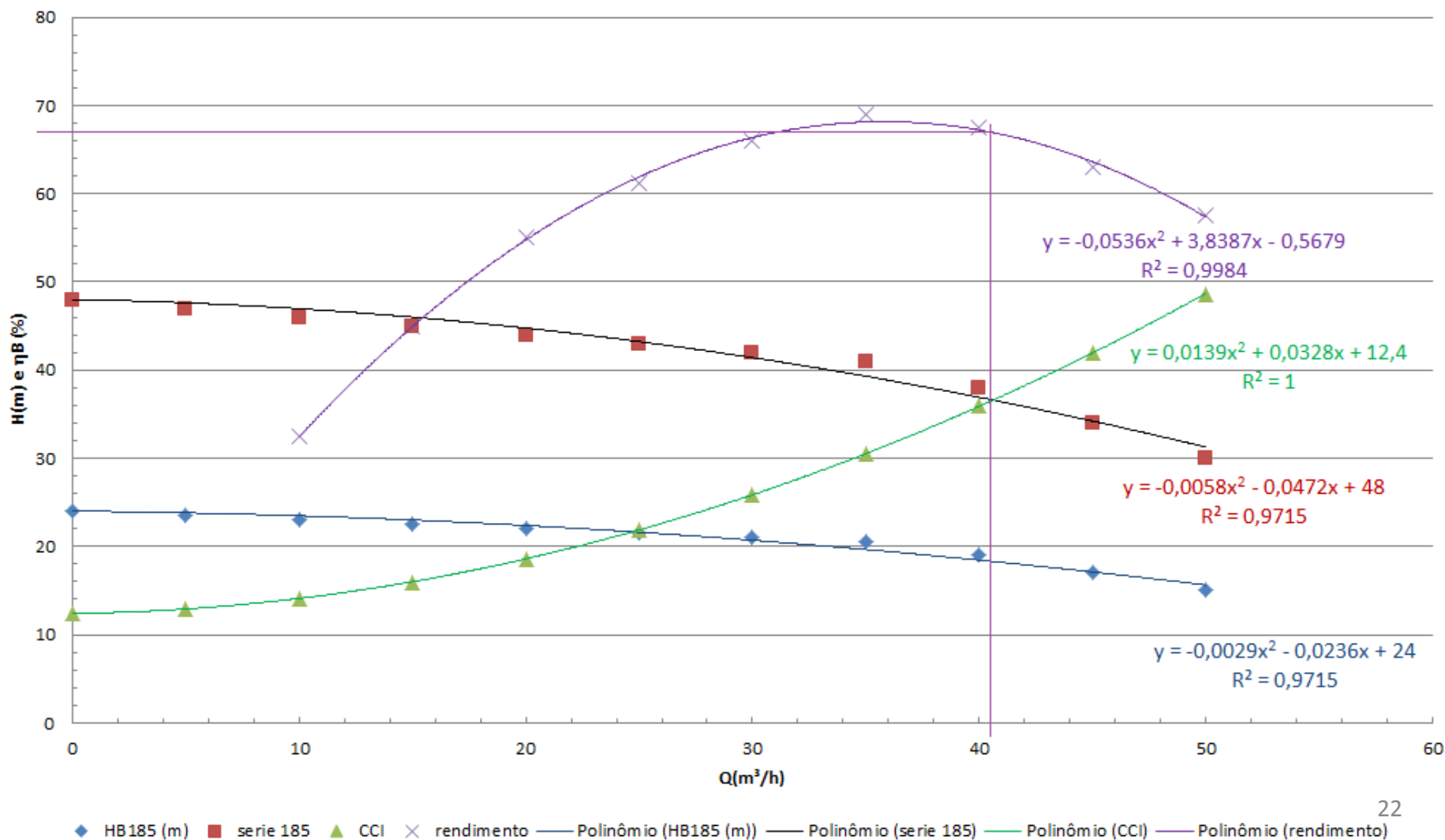
Agora, novamente,
é só achar o ponto
de trabalho!





Esta vazão é suficiente, portanto, devemos completar o ponto de trabalho.

Ponto de trabalho assoc. série Dr = 185 mm com tanque pressurizado



Na CCI, com a Q_{projeto}
calculamos o $H_{B\text{projeto}}$ e
para que a bomba
(associação em série)
seja adequada
devemos ter:

$$Q_{\tau} \geq Q_{\text{projeto}}$$
$$H_{B\tau} \geq H_{B\text{projeto}}$$



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

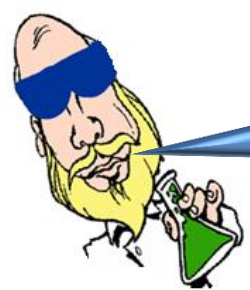
propriedades do local	
g =	m/s ²
patm =	Pa

mat. tubo aço			
espessura	Dint (mm)	A (cm ²)	
	52,5	21.7	
K(m)	DH/k		
4,60E-05	1141		

Q
 m³/h
 35,2

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

Q (m ³ /h)	v (m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee e Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
35,2	4,51	247188	0,0201	0,0204	0,0204	0,0203



Para a tubulação de 2" aço 40 o coeficiente de perda de carga distribuída será 0,0204

propriedades do fluido transportado

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

propriedades do local

g =
patm =

m/s²
Pa

mat. tubo aço			
espessura	Dint (mm)	A (cm ²)	
	77,9	47,7	
	K(m)	DH/k	
	4,60E-05	1693	

Q m ³ /h	Q(m ³ /s)	Q(L/s)	Q(L/min)
35,2		deve transformar para m ³ /h	

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee e Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
35,2	2,05	166858	0,0194	0,0197	0,0197	0,0196



Para a tubulação de 3" aço 40 o coeficiente de perda de carga distribuída será 0,0197

$$H_S = 12,4 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2 + f_{3''} \times 3574837,8 \times Q^2$$

$$H_S = 12,4 + 10834,9 \times Q^2 + 0,0204 \times 5419508,3 \times Q^2 + 0,0197 \times 3574837,8 \times Q^2$$

$$H_S = H_{B_{projeto}} = 30,8m$$

Igualando as equações da CCI com a CCB, obtemos o ponto de trabalho.



$$-0,0058 \times Q^2 - 0,0472 \times Q + 48 = 0,0139 \times Q^2 + 0,0328 \times Q + 12,4$$

$$0,0197 \times Q^2 + 0,08 \times Q - 35,6 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{-0,08 + \sqrt{0,08^2 + 4 \times 0,0197 \times 35,6}}{2 \times 0,0197}$$

$$Q_\tau \cong 40,5 \frac{m^3}{h} > Q_{projeto} \therefore ok$$

$$H_{B_\tau} = 0,0139 \times 40,5^2 + 0,0328 \times 40,5 + 12,4$$

$$H_{B_\tau} \cong 36,5m > H_{B_{projeto}} \therefore ok$$

Agora é só calcular a potência da bomba (N_B), verificar o fenômeno de cavitação ($NPSH_{disp} > NPSH_{req}$) e calcular o consumo de operação.

Legal!

Potência da bomba

$$\eta_B = -0,0536 \times 40,5^2 + 3,8387 \times 40,5 - 0,5679$$

$$\eta_B \cong 67\%$$

$$\therefore N_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{\eta_B} = \frac{997,8 \times 9,8 \times \left(\frac{40,5}{3600} \right) \times 36,5}{0,67}$$

$$N_{B\tau} \cong 5993W$$

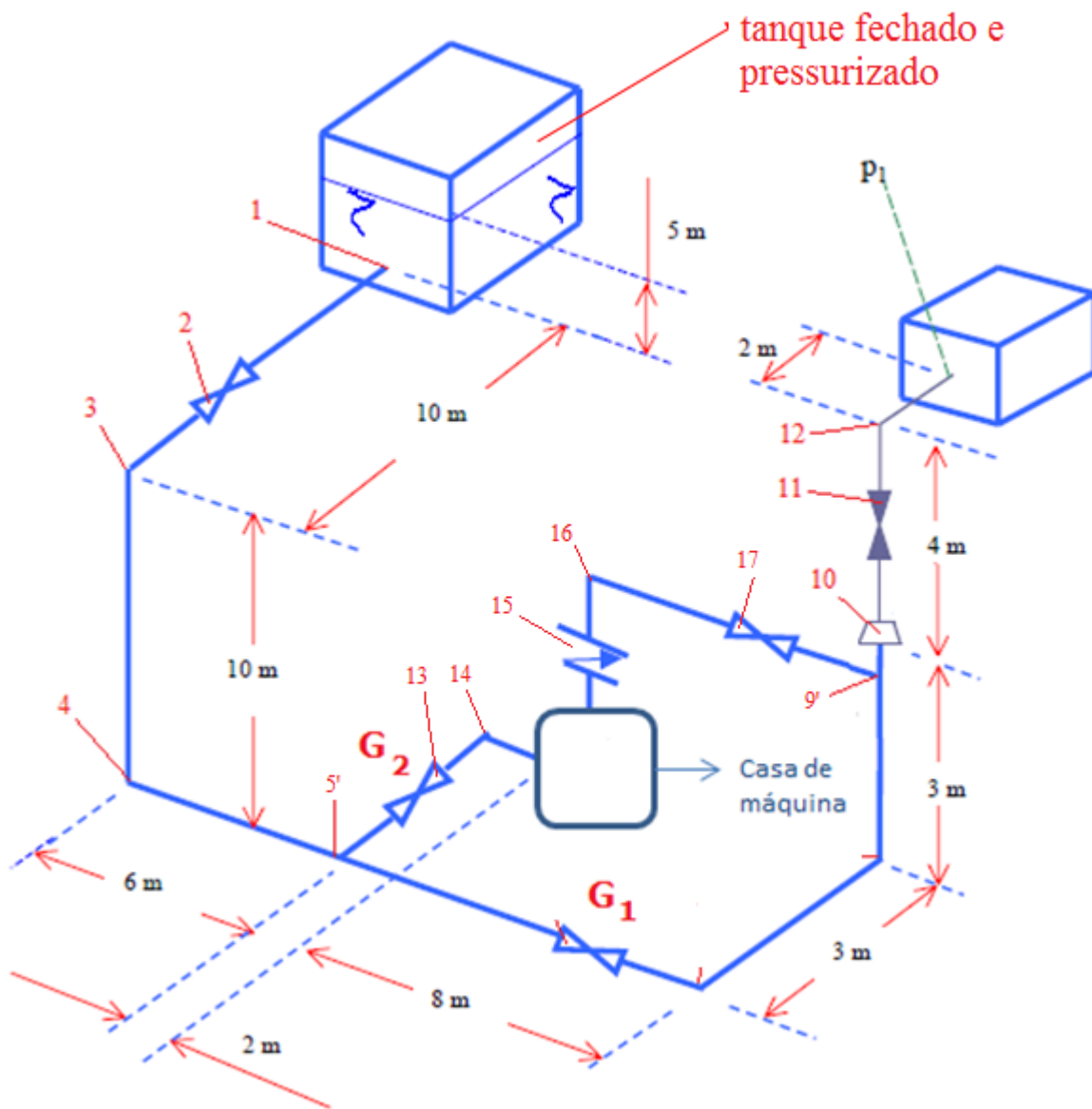
Esta potência será utilizada para escolha do motor e para o cálculo do consumo de operação!



Verificação do fenômeno de cavitação

Considere que a instalação encontra-se em um local com a pressão atmosférica igual a 700 mmHg com massa específica do Hg igual a 13541 kg/m³ e a pressão de vapor igual a 0,02642 bar





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°
a	Tê de passagem lateral
b	Joelho fêmea de 90°
c	Válvula gaveta

Número	Singularidade	Leq (m)	Referência	D _N	Dint (mm)	A (cm ²)
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 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
4	Joelho fêmea de 90 ⁰	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 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
a	Tê de passagem lateral	4,11	Tupy	3"	77,9	47,7
b	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
c	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7

As singularidade "a", "b" e "c" encontram-se na casa de máquina e deve-se também acrescentar 1m de tubo dentro da casa de máquina.



$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = z_i + \frac{p_{i\text{abs}} - p_{\text{vapor}}}{\gamma} - H_{\text{paB1}}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = 15 + \frac{(143900 + 0,7 \times 13541 \times 9,8 - 0,02642 \times 10^5)}{997,8 \times 9,8}$$

$$- 0,0195 \times \frac{(32 + 23,69)}{0,0779} \times \frac{\left(\frac{40,5}{3600}\right)^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} \cong 34,9\text{m}$$



Com este valor jamais irá ocorrer a cavitação

Prova!

