

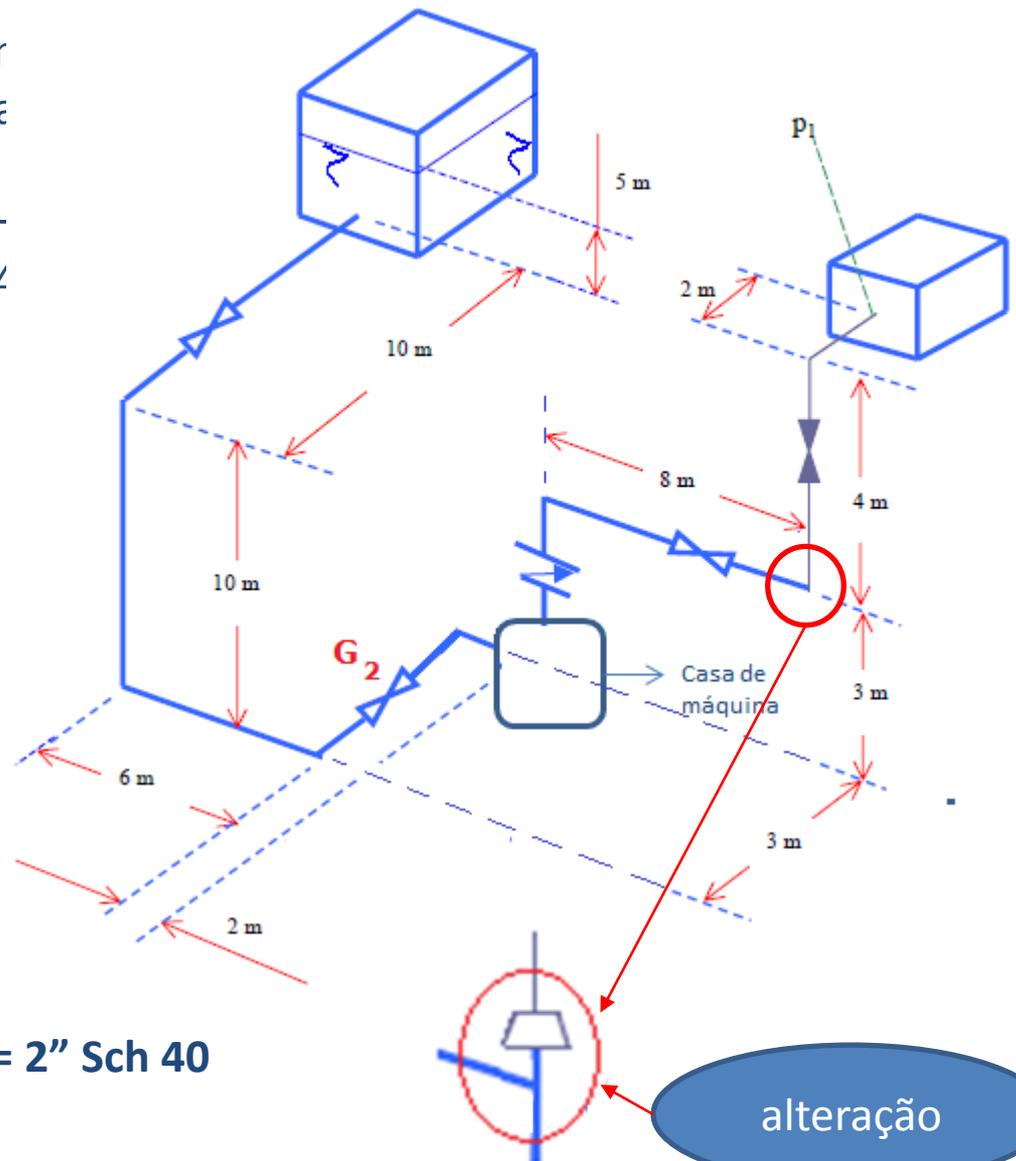
Aula 11 de ME5330

Associação em série de bombas
hidráulicas

A instalação da figura deve atender um tanque de processo que exige em sua entrada uma pressão $p_1 = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$. Neste sentido foi selecionada a bomba T-50 - C com diâmetro de rotor igual a 214 mm. Pede-se:

- a equação da CCI;
- o ponto de trabalho da bomba.

Considere a água a 22°C e a rugosidade do aço igual a $4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$



Nota: — = 3" Sch 40

— = 2" Sch 40

L_{eq} (m)	v. gaveta	v. globo	Joelho 90°	Tê - para ramal	Tê - passagem direta	redução	retenção	Saida do reserv.
2'' $D_i = 52,5\text{mm}$	0,3	16,0	1,7	3,6	1,0	0,2	3,4	-
3'' $D_i = 77,9\text{mm}$	0,5	26,0	2,8	5,8	1,5	1,5	5,5	2,8

Notas:

1ª - A tabela I fornece os valores para a construção das seguintes curvas características para o diâmetro do rotor igual a 185 mm.

$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
H_B (m)	24	23,5	23	22,5	22	21,5	21	20,5	19	17	15
η_B (%)	-	-	32,5	45	55	61,25	66	69	67,5	63	57,5

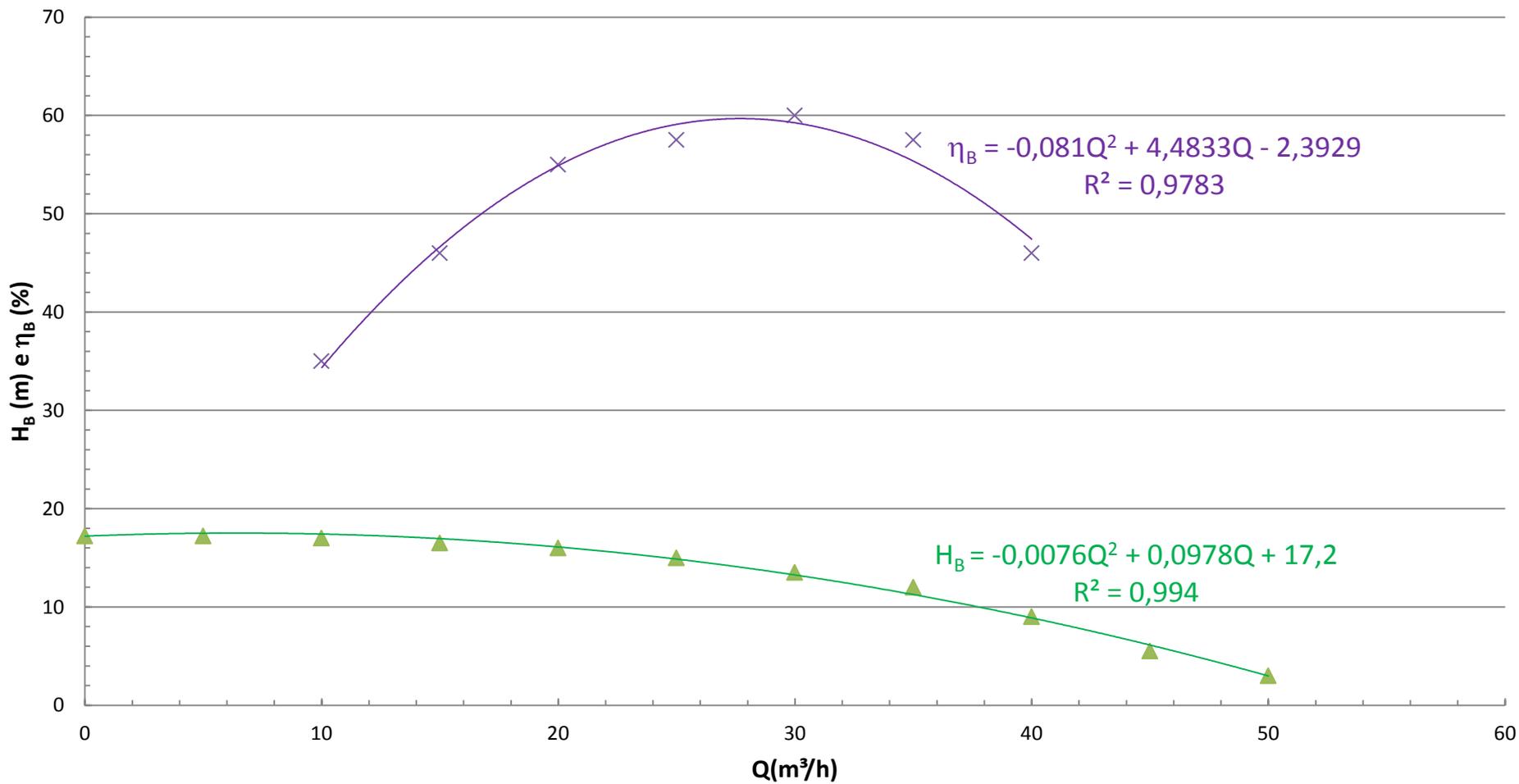
Tabela I

2ª - A tabela II fornece os valores para a construção das seguintes curvas características para o diâmetro do rotor igual a 214 mm.

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

Tabela II

$H_B = f(Q)$ e $\eta_B = f(Q)$



$\eta_B = -0,081Q^2 + 4,4833Q - 2,3929$
 $R^2 = 0,9783$

$H_B = -0,0076Q^2 + 0,0978Q + 17,2$
 $R^2 = 0,994$

- ▲ CCB_214
- × rend_214
- Polinômio (CCB_214)
- Polinômio (rend_214)

$$H_{\text{estática}} = (z_{\text{final}} - z_{\text{inicial}}) + \left(\frac{p_{\text{final}} - p_{\text{inicial}}}{\gamma} \right)$$

INICIAMOS A SOLUÇÃO
CALCULANDO A CARGA
ESTÁTICA DA INSTALAÇÃO



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

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

Como a carga estática (27,1 m) é maior que a carga no shut off (17,2 m), podemos afirmar que não existe o ponto de trabalho para a bomba escolhida, mas vamos visualizar isto graficamente e para tal vamos obter a equação da CCI

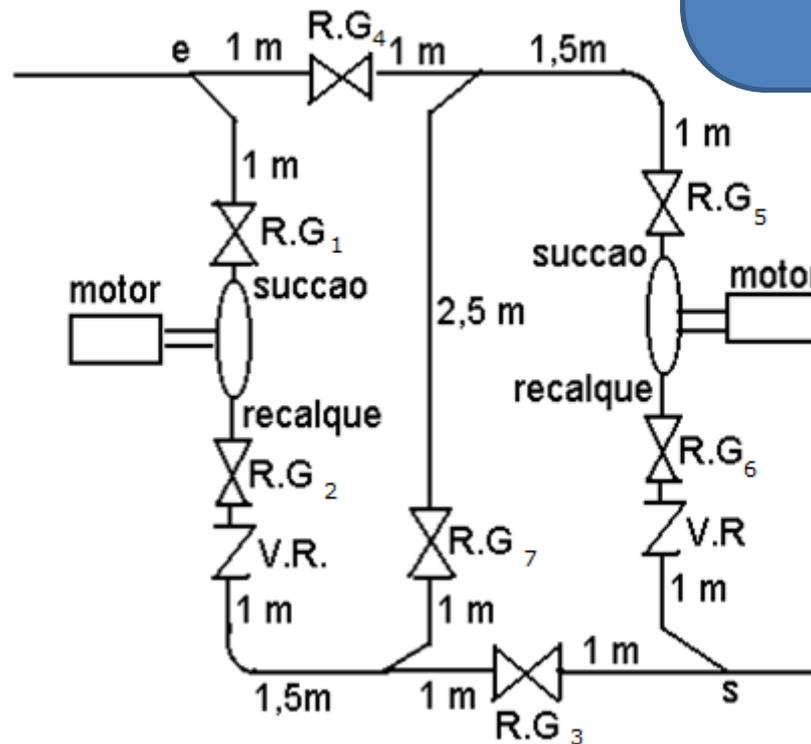


Mas para obtê-la
devemos refletir
sobre a instalação
das bombas e as
eventuais
alterações na CCI.



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

Pelo que eu percebi nós devemos alterar tanto no L, como na Σleq da instalação.





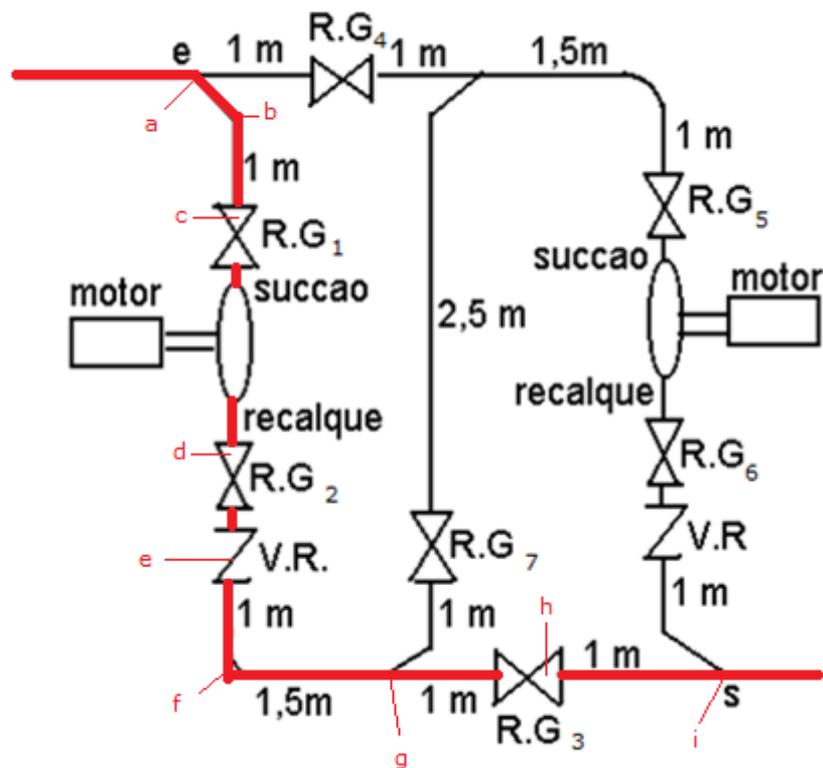
Vamos lá!



Isso mesmo e para tal nós sabemos 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”.

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)

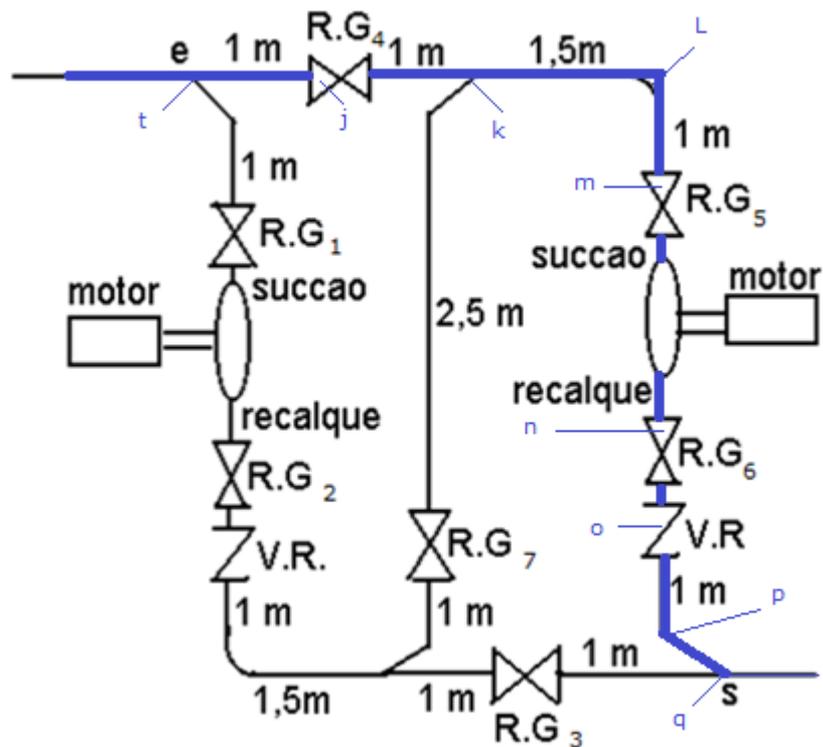
Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
a	3"	4,11
b	3"	2,82
c, d, h	3"	1,03
e	3"	3,95
f	3"	1,64
g, i	3"	0,50

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

$$\Sigma leq = 16,61 \text{ m}$$

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

LEGENDA



t, k = tê de passagem direta (Tupy)

p = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)

j, m, n = registros ou válvulas gaveta (Mipel)

o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)

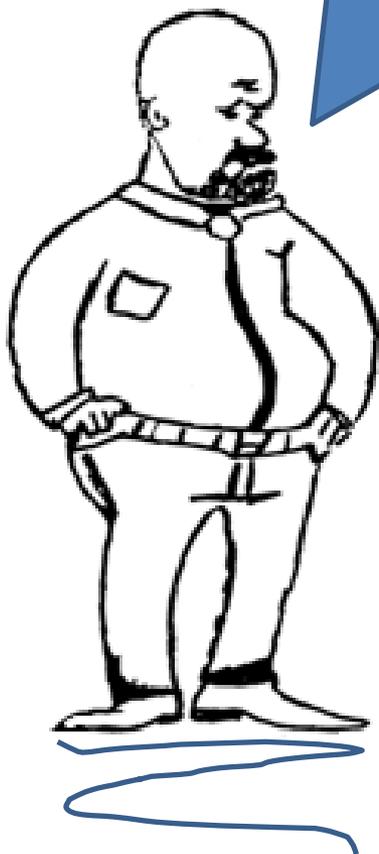
L = curva (fêmea) de 90° (Tupy)

q = tê de passagem de lado (Tupy)

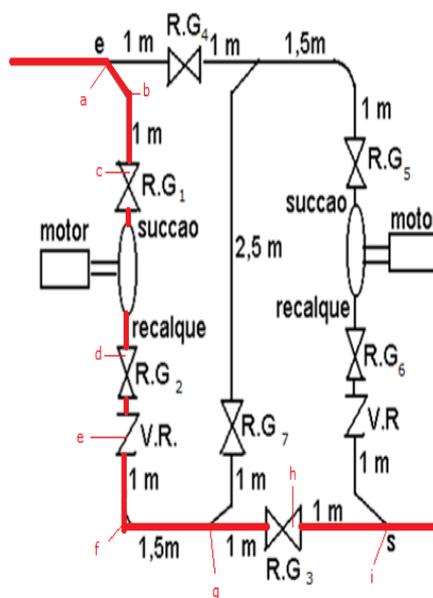
Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
q	3"	4,11
p	3"	2,82
j, m, n	3"	1,03
o	3"	3,95
L	3"	1,64
t, k	3"	0,50

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

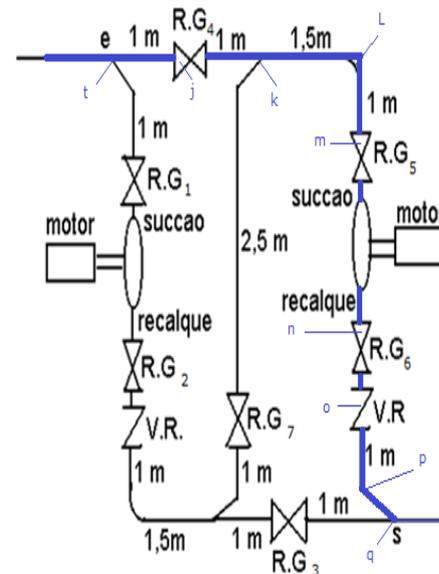
EM RELAÇÃO A CASA DE MÁQUINA AS
DUAS POSSIBILIDADES SÃO IDÊNTICAS,
POIS EM AMBAS SE TEM O MESMO
COMPRIMENTO TOTAL DE TUBULAÇÃO E
A MESMA SOMATÓRIA DE
COMPRIMENTOS EQUIVALENTES.



Primeira
possibilidade



Segunda
possibilidade



Sem a casa de máquina

$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 32,6)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} \\ + f_{2''} \times \frac{(6 + 18,4)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 2147378,3 \times Q^2 + f_{2''} \times 5035643,6 \times Q^2$$

Portanto existem alterações a serem feitas na primeira solução apresentada.



Com a casa de máquina

$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(47,5 + 49,21)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} \\ + f_{2''} \times \frac{(6 + 18,4)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 2783819,7 \times Q^2 + f_{2''} \times 5035643,6 \times Q^2$$

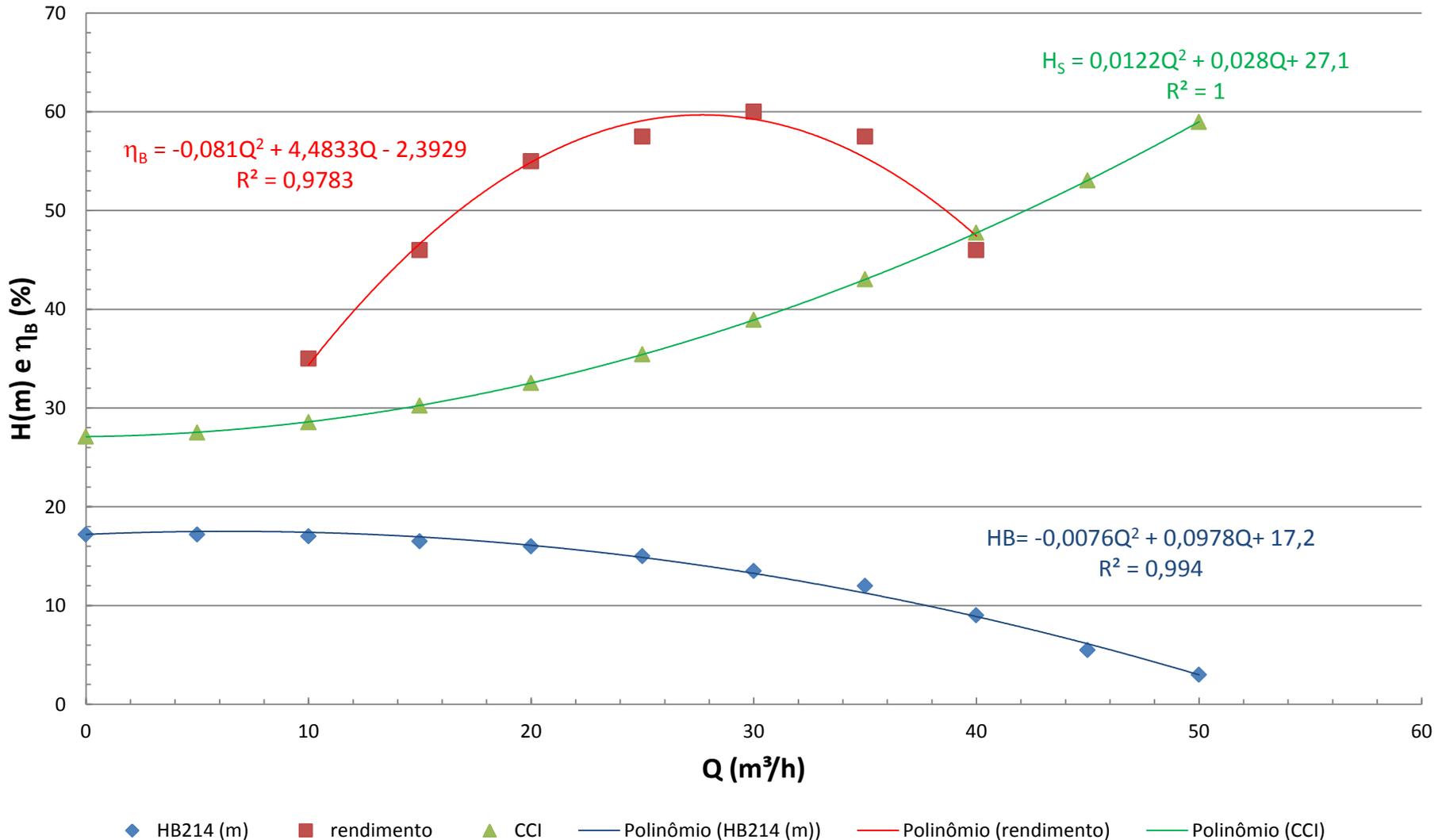


Agora é só traçá-la junto da CCB.

Q(m ³ /h)	H _{B214} (m)	η _{B214} (%)	f ₃ "	f ₂ "	H _s (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	30,2
20	16	55	0,0209	0,0212	32,5
25	15	57,5	0,0204	0,0209	35,4
30	13,5	60	0,0200	0,0206	38,9
35	12	57,5	0,0197	0,0204	43,0
40	9	46	0,0195	0,0203	47,7
45	5,5		0,0193	0,0202	53,0
50	3		0,0191	0,0201	59,0

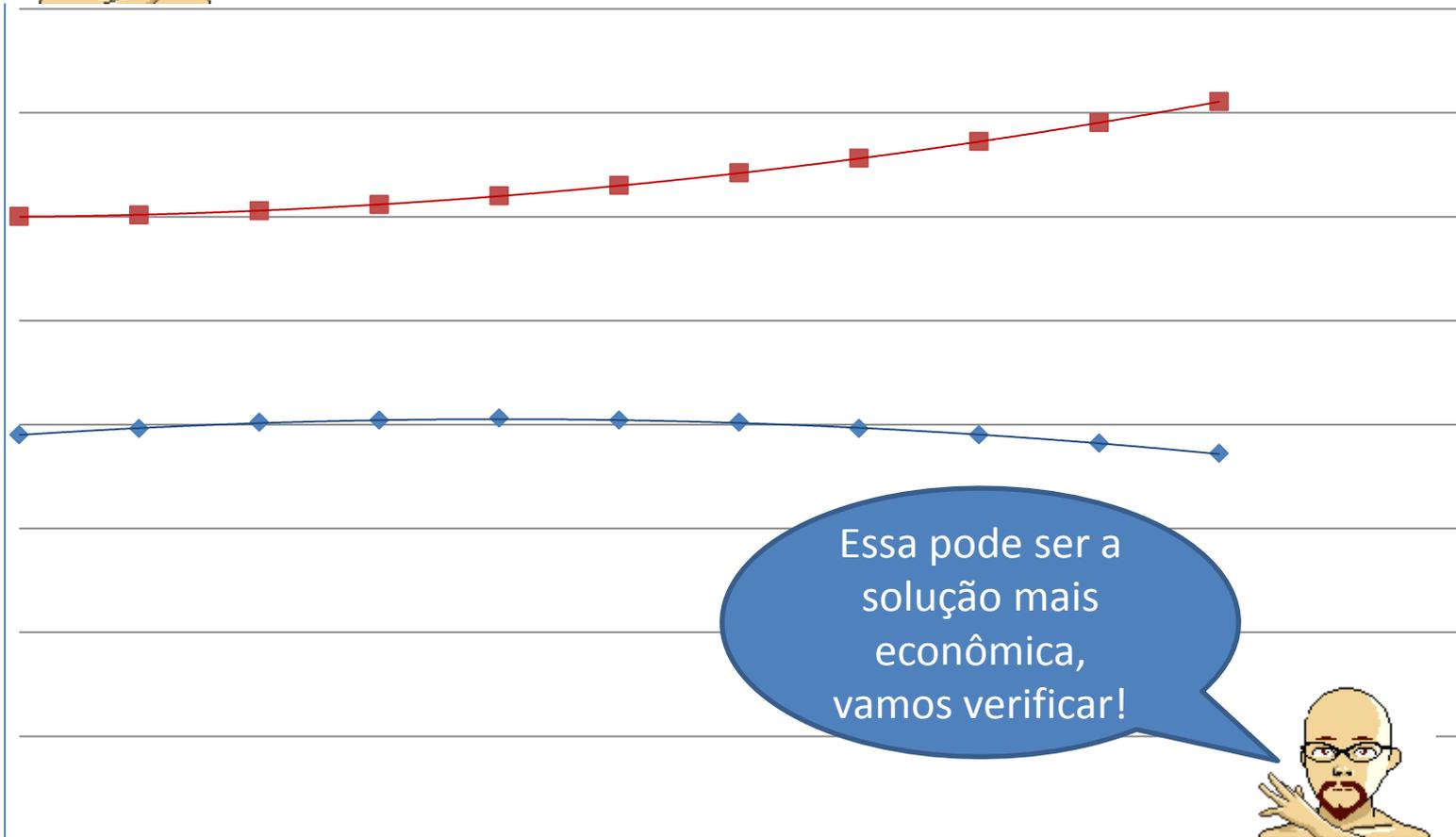
Não existe ponto de trabalho!

CCB x CCI





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.





Quando se deve
pensar em
associar
bombas
hidráulicas em
série?



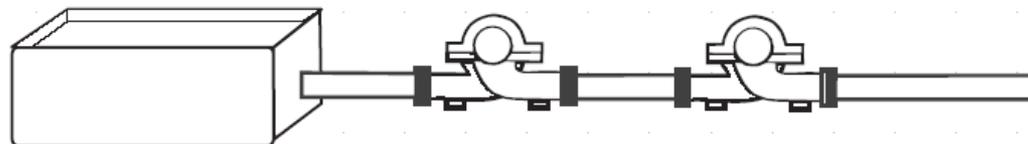
No caso do exercício o novo processo exigiu um aumento da pressão em sua entrada, ou seja, uma carga manométrica maior do que a do shut off.

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.



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.

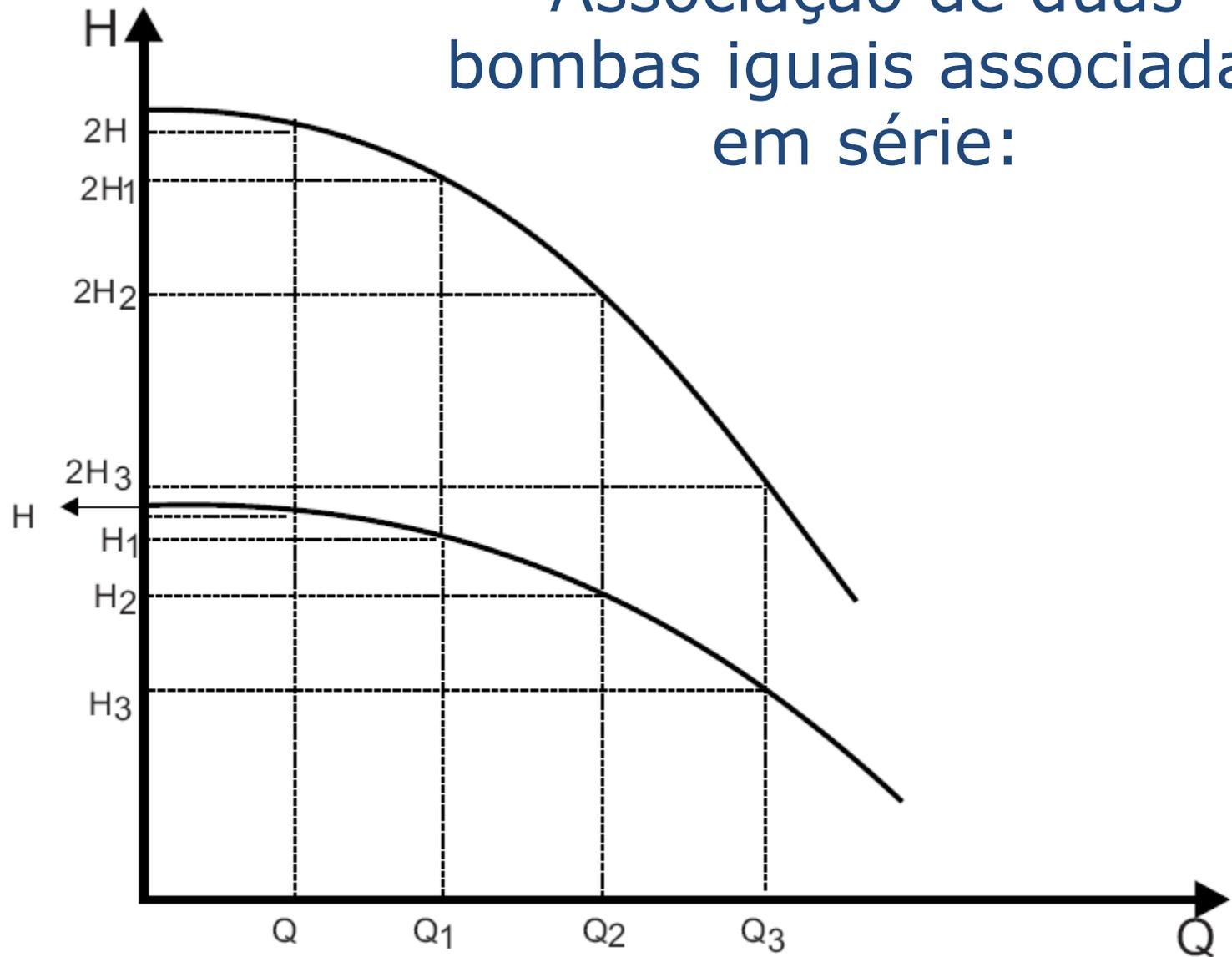


Conclusão:

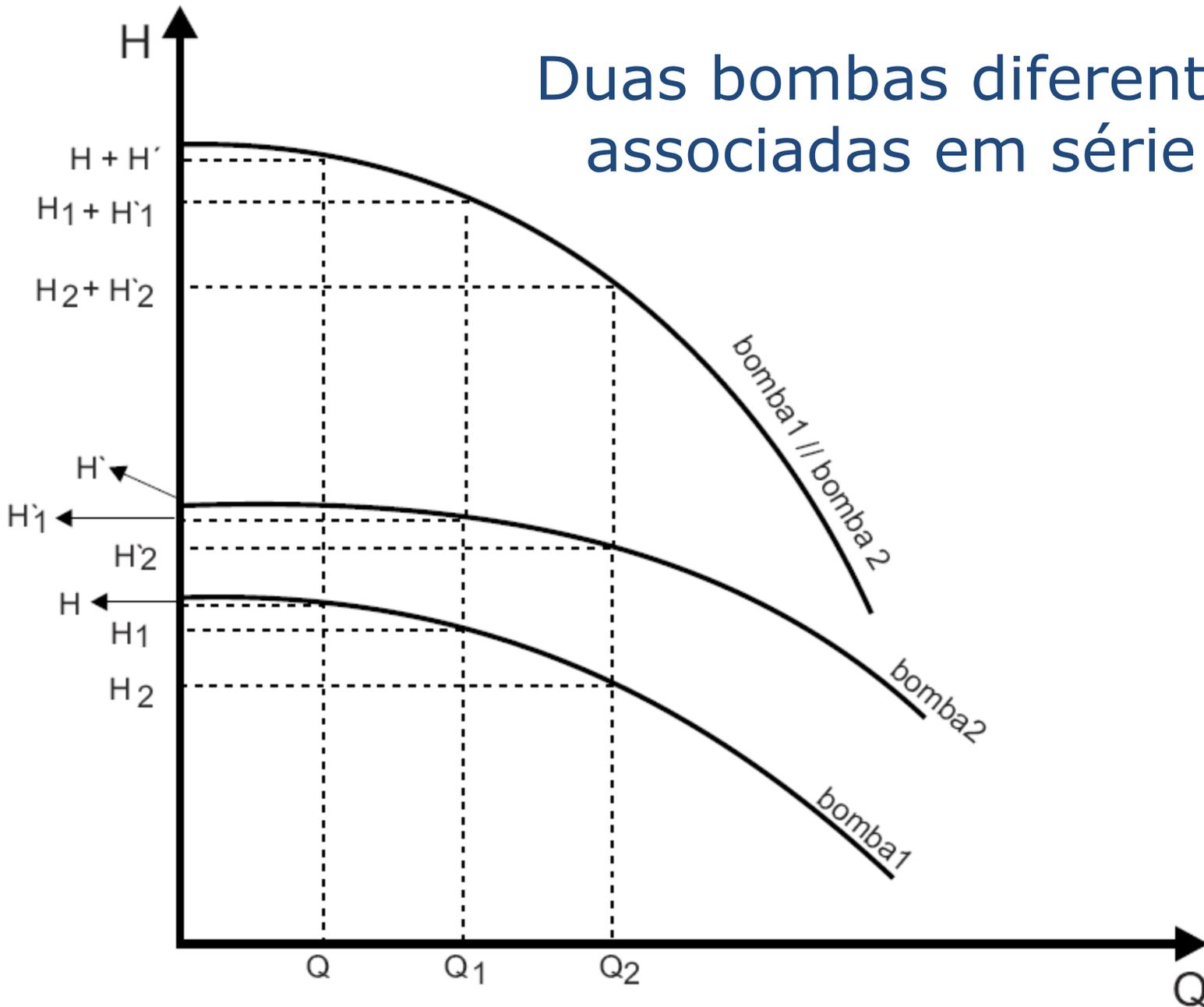
quando associamos duas ou mais bombas em série, para uma mesma vazão, a carga manométrica será a soma da carga manométrica fornecida por cada bomba.

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.

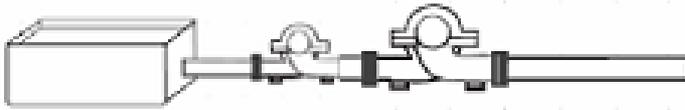
$$N_{B_{\text{assoc}}} = N_{B_{B1}} + N_{B_{B2}}$$

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

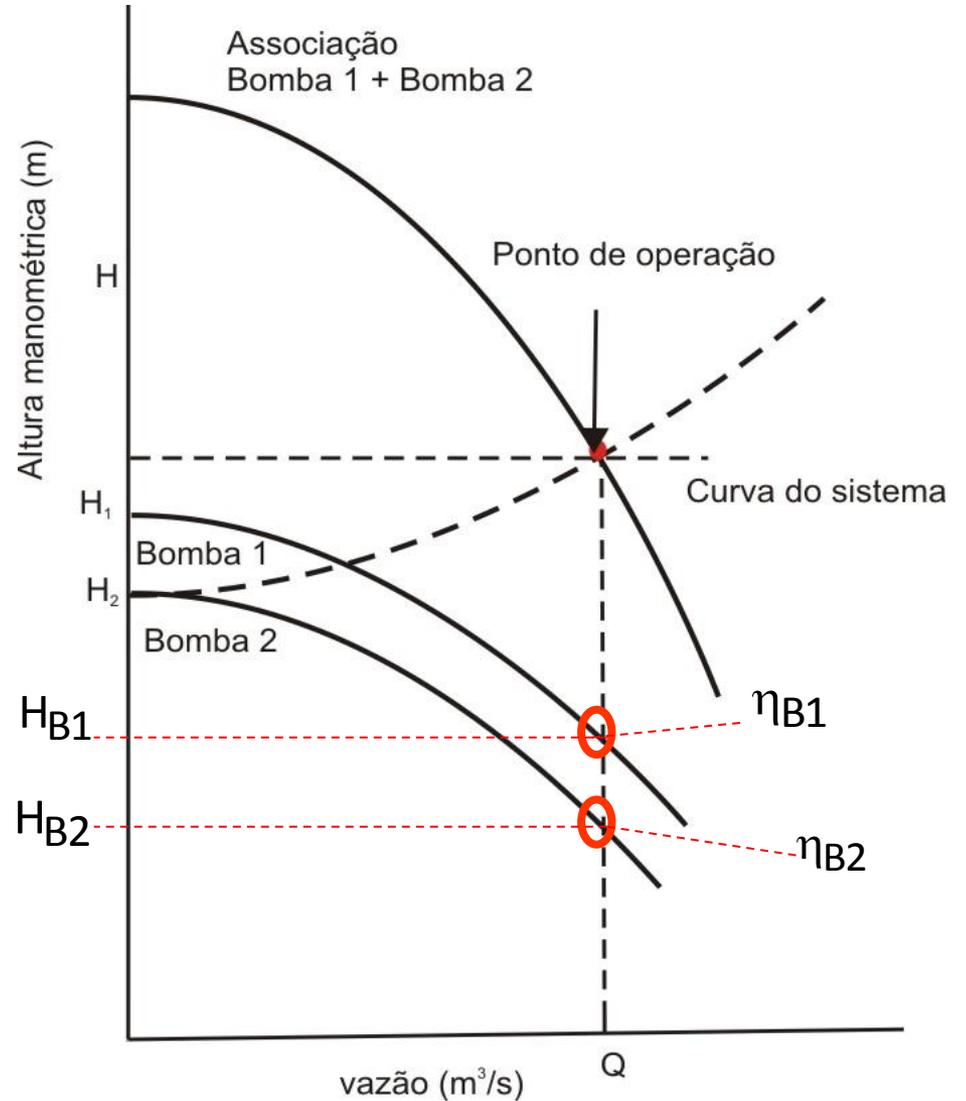
$$\frac{H_{B_{\text{as}}}}{\eta_{B_{\text{as}}}} = \frac{H_{B_{B1}}}{\eta_{B_{B1}}} + \frac{H_{B_{B2}}}{\eta_{B_{B2}}}$$

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

Operação de bombas diferentes em série



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



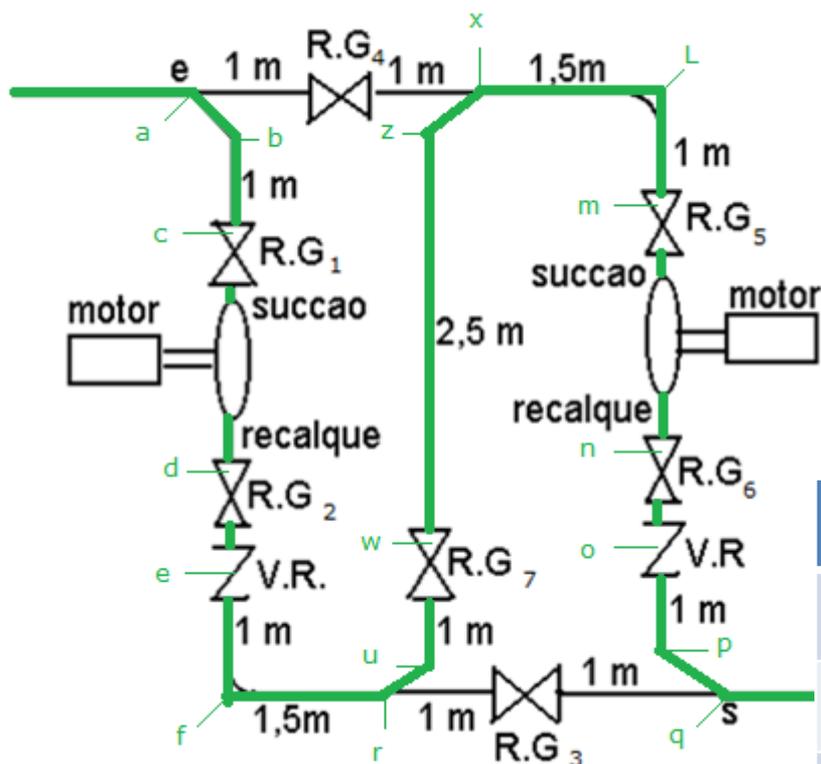


Voltando ao
exercício

LIXO

VIABILIZANDO A ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE: REGISTROS GAVETAS FECHADOS: 3 E 4 E
 REGISTROS GAVETAS ABERTOS: 1, 2, 5, 6 E 7. Nesse caso opera-se com uma associação
 em série de bombas.

LEGENDA



- a, r, x, q = tê de passagem de lado (Tupy)
- b, u, z, p = joelhos (fêmeas) de 90° (Tupy)
- c, d, w, m, n = válvulas gaveta (Mipel)
- e, o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)
- f, L = curvas (fêmeas) de 90° (Tupy)

Singularidade	Diâmetro nominal	Leq (m)
a, r, x, q	3"	4,11
b, u, z, p	3"	2,82
c, d, w, m, n	3"	1,03
e, o	3"	3,95
f, L	3"	1,64

Devemos acrescentar:

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

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

Com a casa de máquina

$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(52,5 + 76,65)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 18,4)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

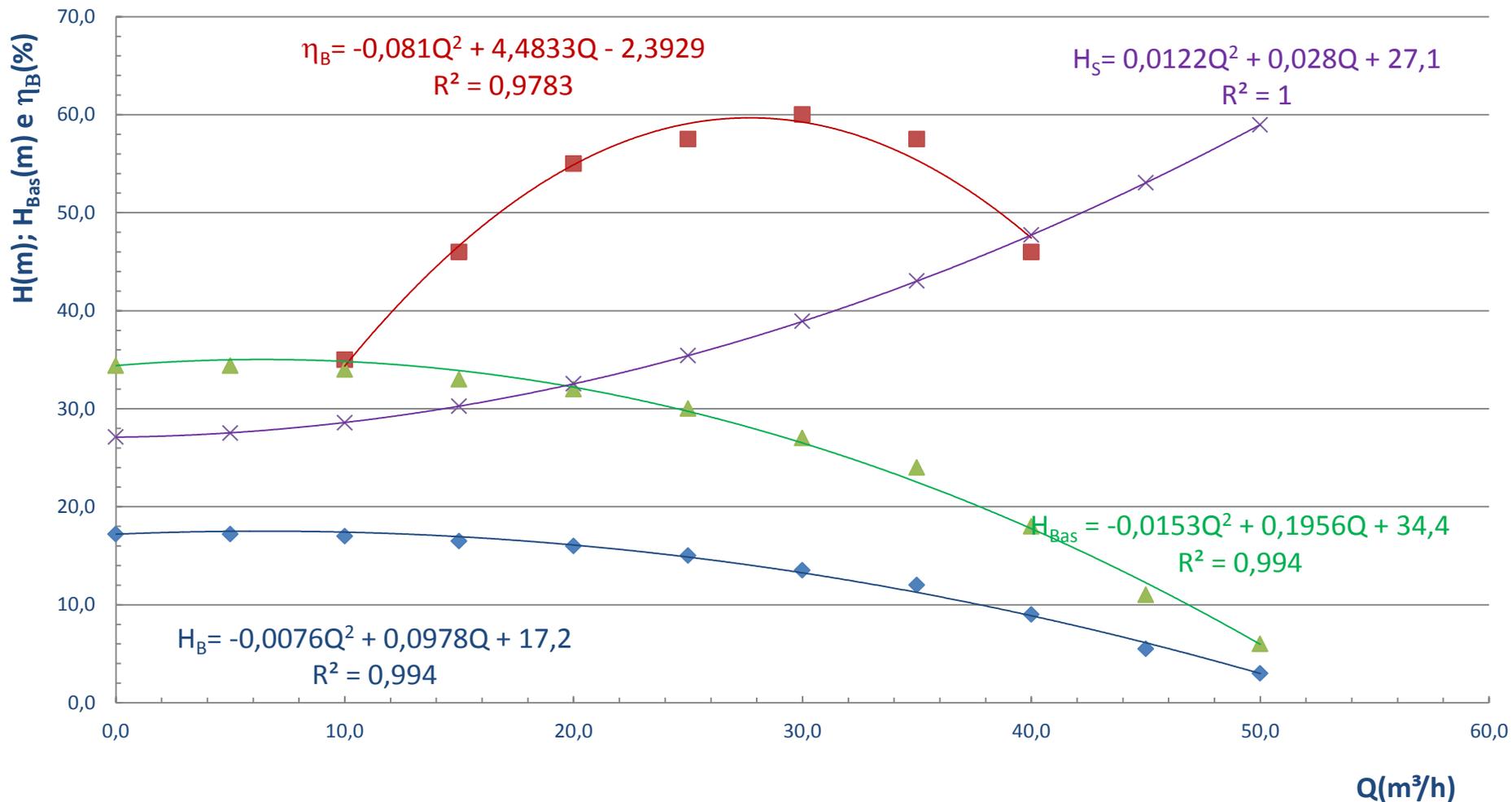
$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 3717612,6 \times Q^2 + f_{2''} \times 5035643,6 \times Q^2$$



Agora é só traçá-la junto da CCB das bombas associadas em série.

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	H_{B214} (m)	η_{B214} (%)	H_{B214as} (m)	f_3''	f_2''	H_s (m)
0	17,2		34,4	0	0	27,1
5	17,2		34,4	0,0263	0,0252	27,6
10	17	35	34	0,0231	0,0228	28,7
15	16,5	46	33	0,0217	0,0218	30,6
20	16	55	32	0,0209	0,0212	33,1
25	15	57,5	30	0,0204	0,0209	36,3
30	13,5	60	27	0,0200	0,0206	40,2
35	12	57,5	24	0,0197	0,0204	44,8
40	9	46	18	0,0195	0,0203	50,0
45	5,5		11	0,0193	0,0202	55,9
50	3		6	0,0191	0,0201	62,4

Associação em série



- ◆ HB214 (m)
- rendimento
- ▲ associação série
- × CCI
- Polinômio (HB214 (m))
- Polinômio (rendimento)
- Polinômio (associação série)
- Polinômio (CCI)



Determinem o ponto de trabalho da associação em série, verifiquem o custo de operação mensal, sabendo que a instalação opera 8 horas/dia, calculem o $NPSH_{\text{disponível}}$ e verifiquem o fenômeno de recirculação.

