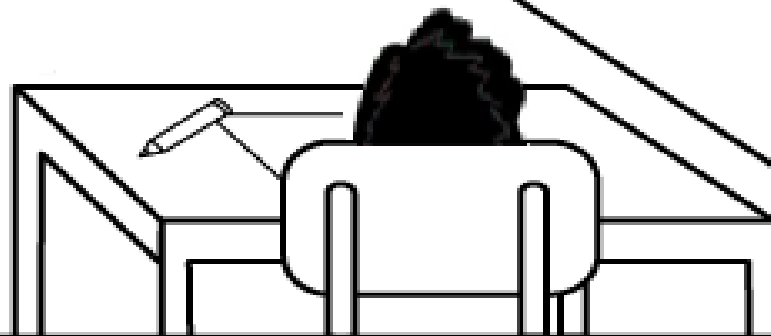
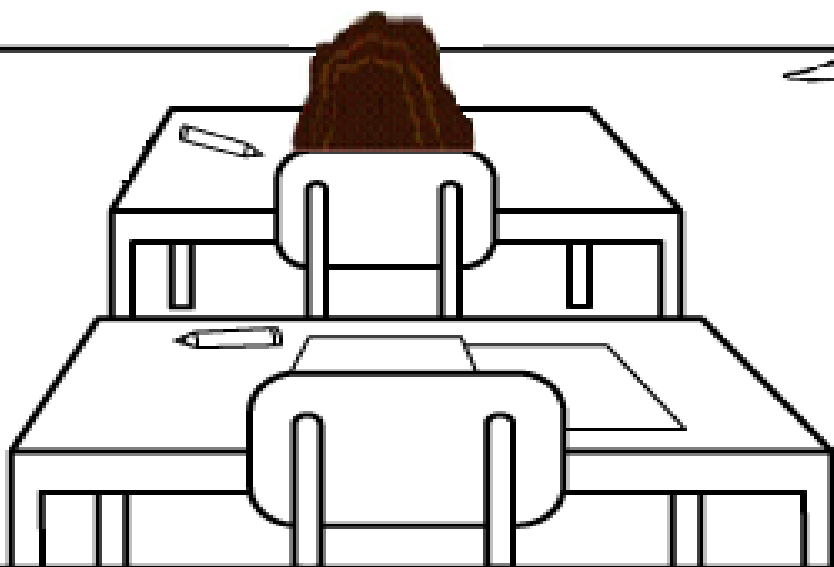
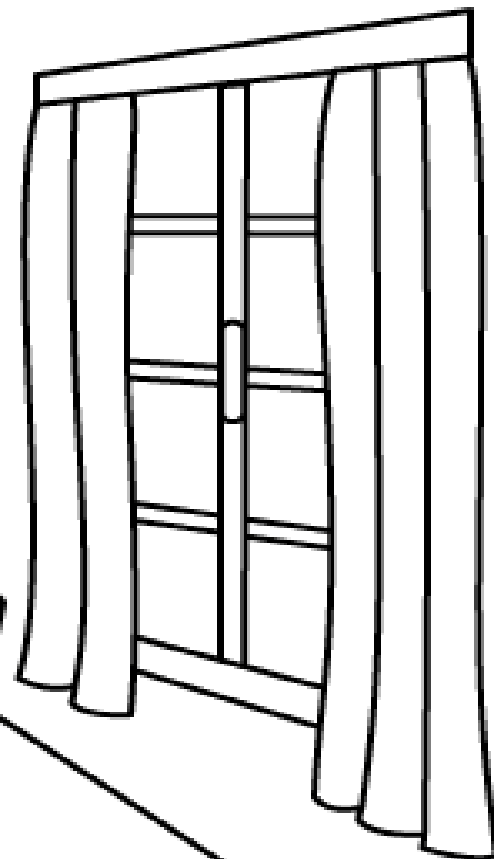



Primeiro semestre de 2012
Mecânica dos Fluidos para a
engenharia química
Aula 8 de teoria



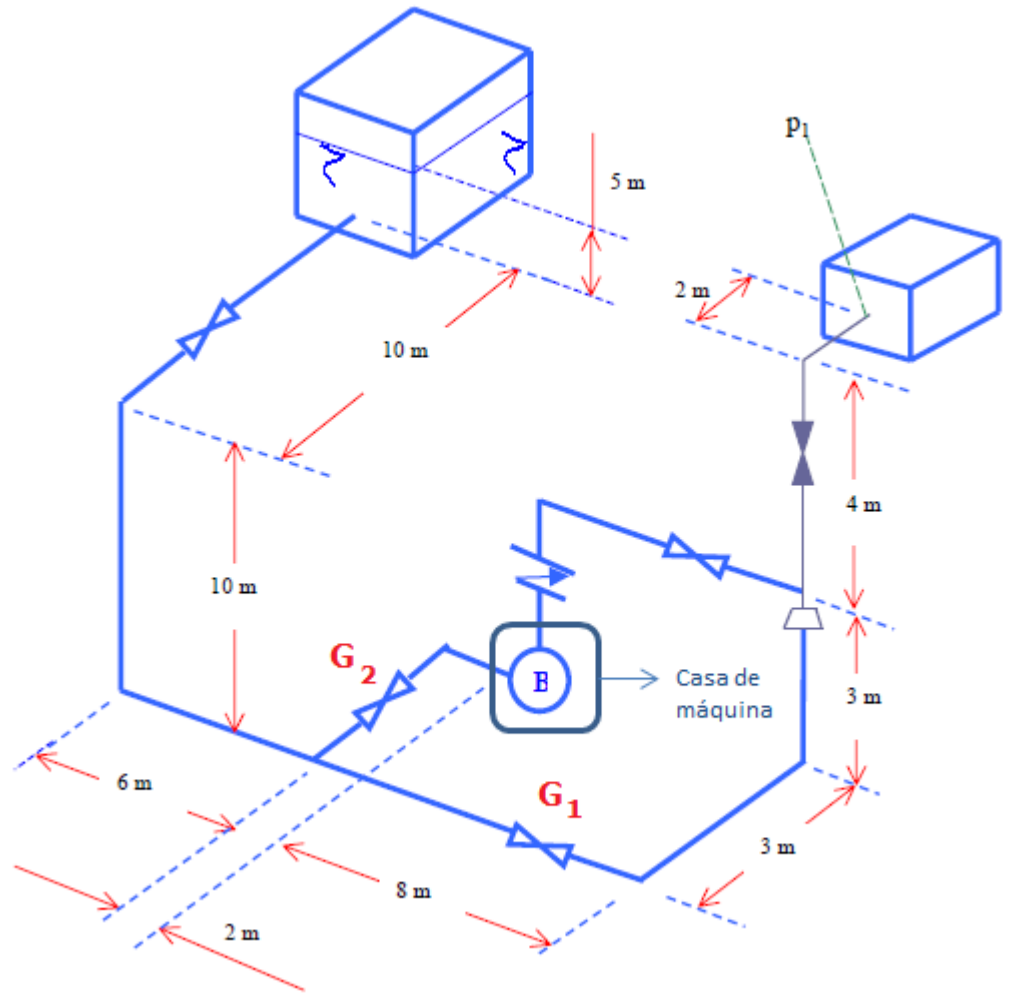


O objetivo desta aula é estudar a associação em série de bombas hidráulicas.



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



c) Se utilizássemos a bomba H 50 - C com o diâmetro de rotor igual a 185 mm, qual seria o novo ponto de trabalho, mantidos constantes os demais dados.

Nota: — = 3" Sch 40 — = 2" Sch 40

d) Na sua opinião, qual a bomba mais cara a H 50 - C \varnothing 214 mm, ou H 50 - C \varnothing 185mm ? Justifique.

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

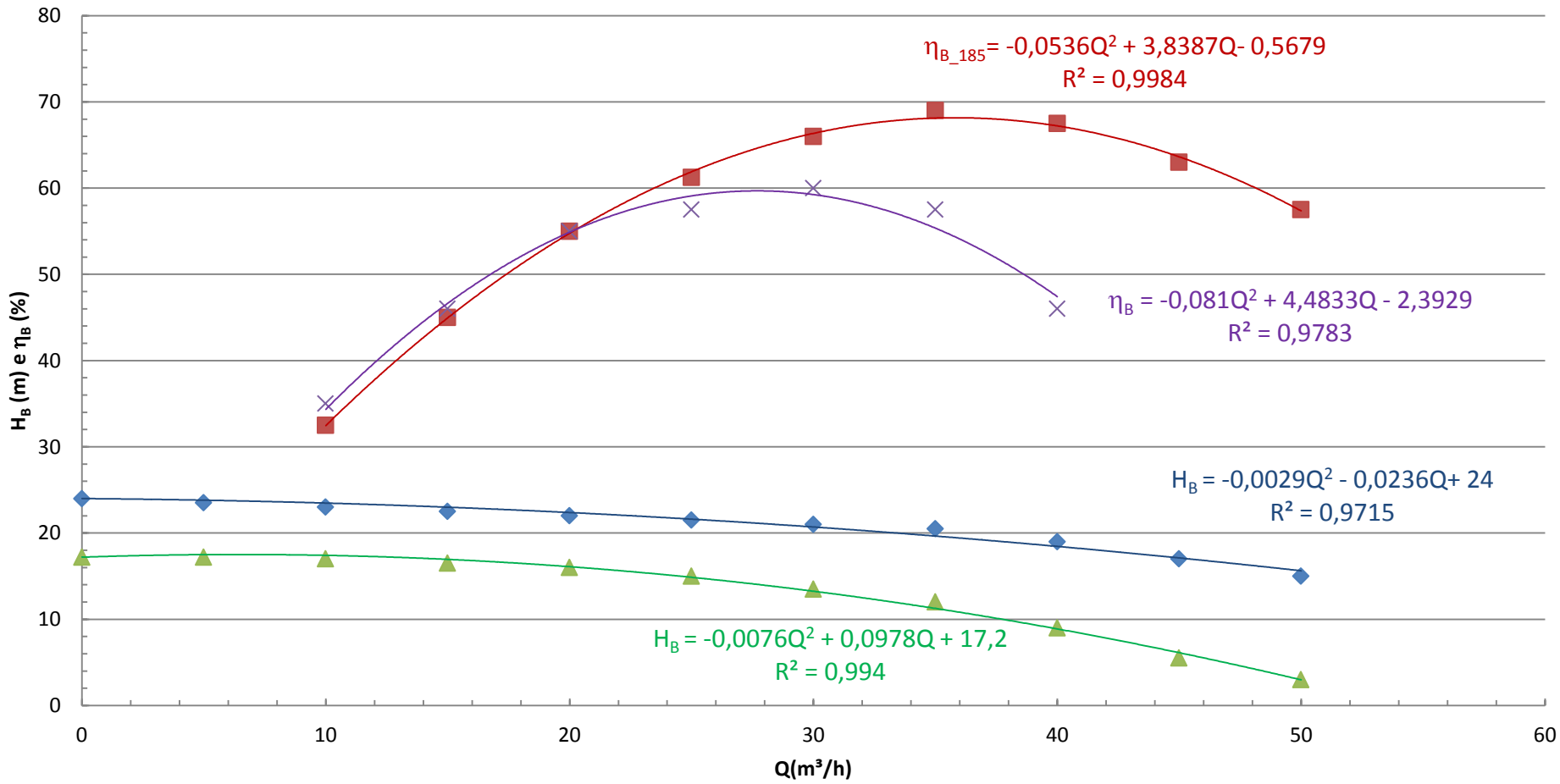
Considere a água a 22°C e a rugosidade do aço igual a 4,6 e-5 m

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 $\eta_B = f(Q)$



- ◆ HB185 (m)
- rend_185
- ▲ CCB_214
- × rend_214
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend_185)
- Polinômio (CCB_214)
- Polinômio (rend_214)

INICIAMOS A SOLUÇÃO CALCULANDO A CARGA ESTÁTICA DA INSTALAÇÃO CONSIDERADA, NO CASO EXISTEM DUAS SITUAÇÕES POSSÍVEIS: UMA COM A VÁLVULA 2 FECHADA E A 1 ABERTA E A OUTRA COM A 2 ABERTA E A 1 FECHADA!

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



Situação 1 = válvula 2 fechada e a 1 aberta

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

$$H_{\text{estática}} \cong 7,0\text{m}$$

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 que haveria o escoamento em queda livre.

$$H_S = 7 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 16,5)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 18,9)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 7 + 10834,8 \times Q^2 + f_{3''} \times 1683936,0 \times Q^2 + f_{2''} \times 5138833,1 \times Q^2$$

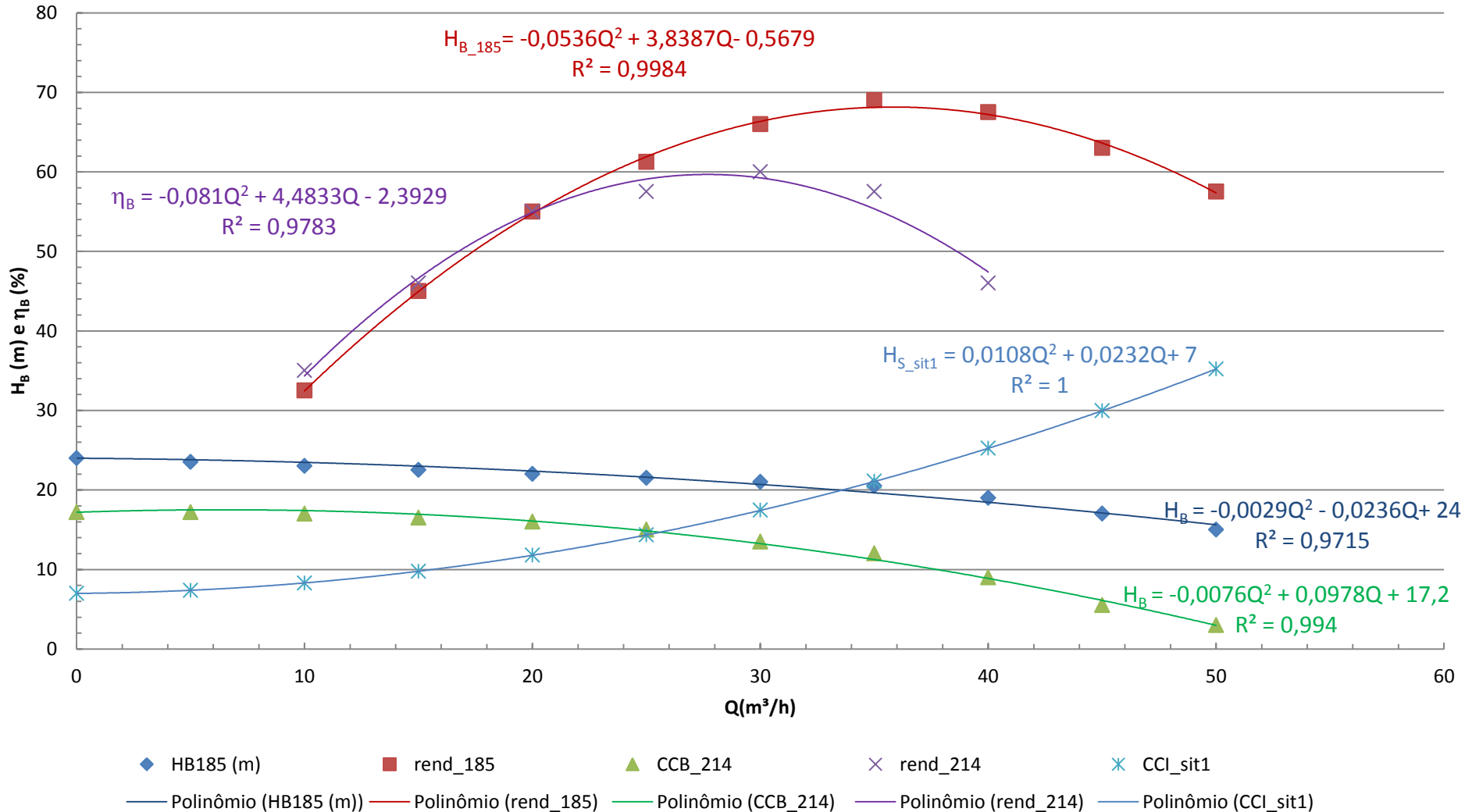


Solução gráfica

Q(m ³ /h)	H _{B185} (m)	η _{B185} (%)	H _{B214} (m)	η _{B214} (%)	f _{3"}	f _{2"}	H _{S_sit1} (m)
0	24		17,2		0	0	7
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	7,4
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	8,3
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	9,8
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	11,8
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	14,4
30	21	66	13,5	60	0,0200	0,0206	17,4
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	21,1
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	25,3
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	30,0
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	35,2

Verificamos que não existe vazão em queda livre para a situação 1, a não ser com bombas!

$$H_B = f(Q) \text{ e } \eta_B = f(Q)$$

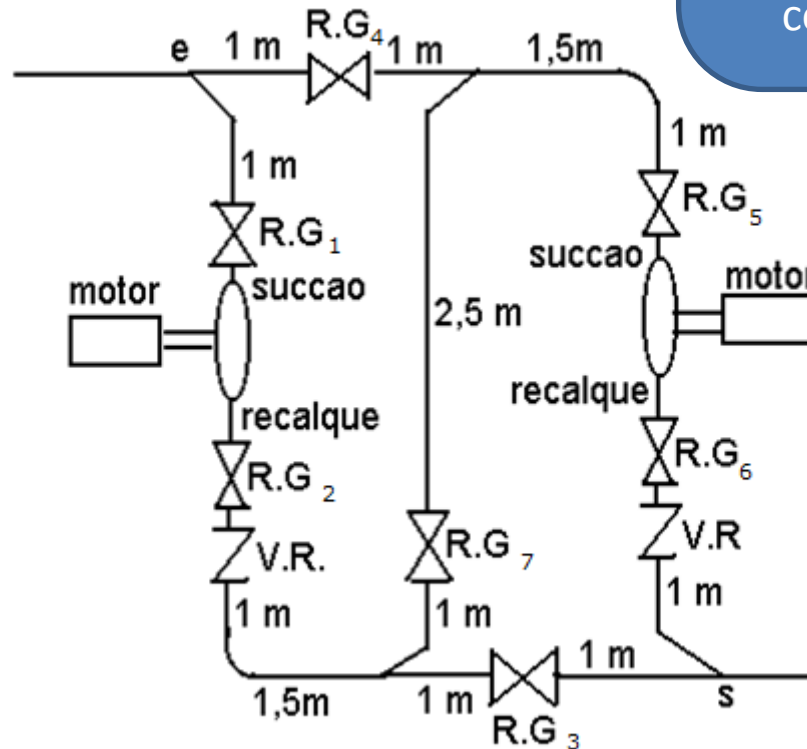


Mas para obtê-lo
devemos refletir
sobre a instalação
das bombas e as
eventuais
alterações na CCI.



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 deveremos corrigir as equações da CCI anteriores, isto porque tivemos alteração tanto no L, como na ΣLeq !

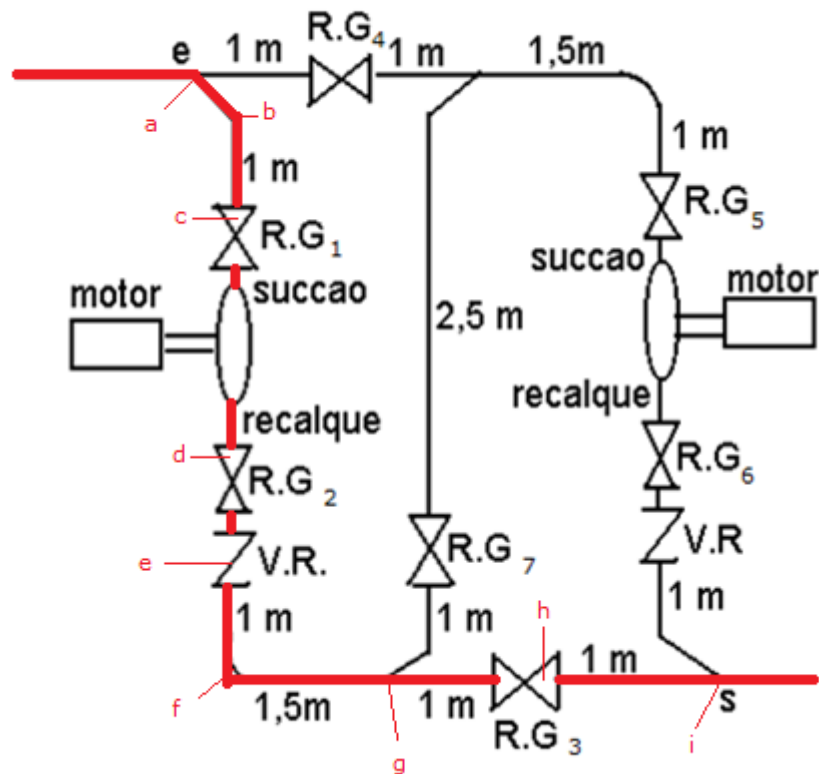


Isso mesmo e sabendo que a instalação na casa de máquina trabalha com um único diâmetro e que os tubos são de aço 40 com diâmetro nominal de 3", obtenha o ponto de trabalho operando com a bomba H50-C com o diâmetro de rotor igual a 214 mm e 185 mm para a situação 1, ou seja, para a pressão na seção final igual a 1,5 kgf/cm². Explique as operações com as válvulas gaveta para viabilizar o funcionamento.



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)

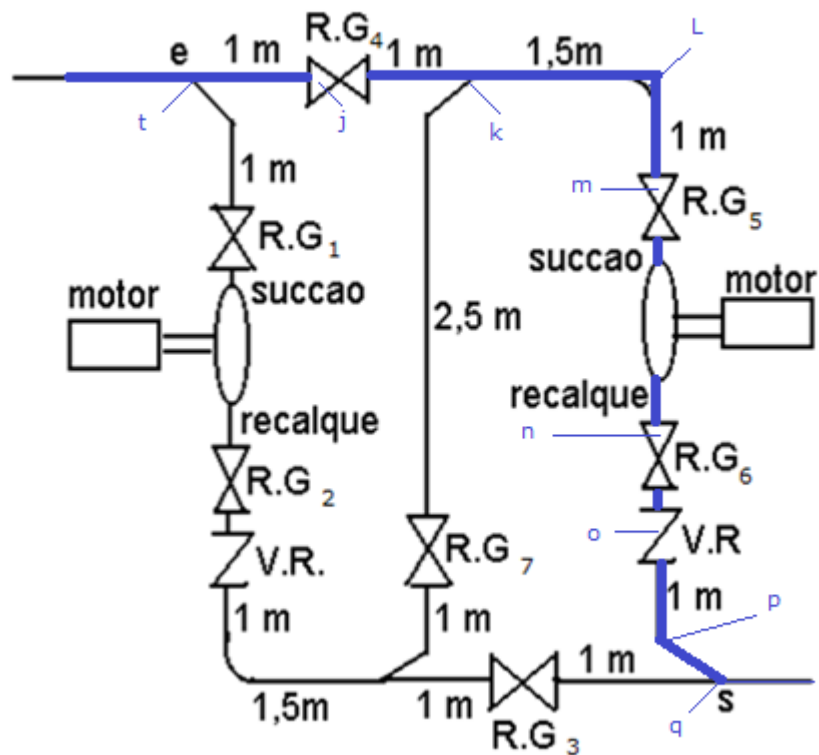
Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
a	3"	4,11
b	3"	2,82
c, d, h	3"	1,03
e	3"	3,95
f	3"	1,64
g, i	3"	0,50

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

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

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

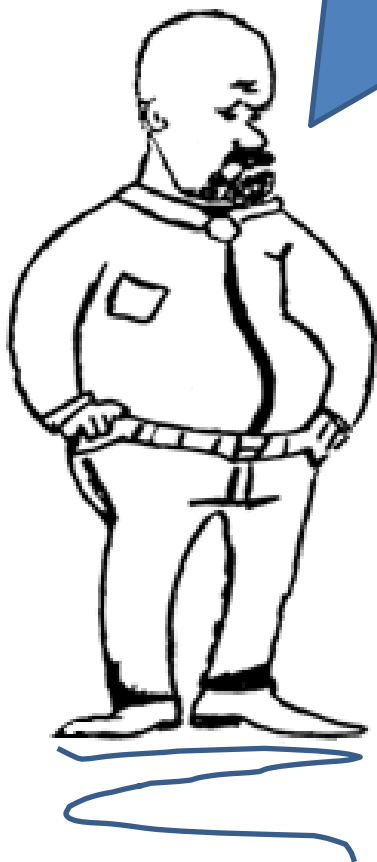


- t, k = tê de passagem direta (Tupy)
- p = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)
- j, m, n = registros ou válvulas gaveta (Mipel)
- o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)
- L = curva (fêmea) de 90° (Tupy)
- q = tê de passagem de lado (Tupy)

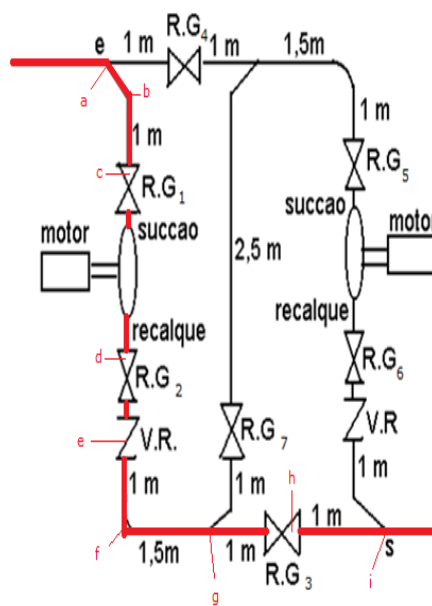
Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
q	3"	4,11
p	3"	2,82
j, m, n	3"	1,03
o	3"	3,95
L	3"	1,64
t, k	3"	0,50

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

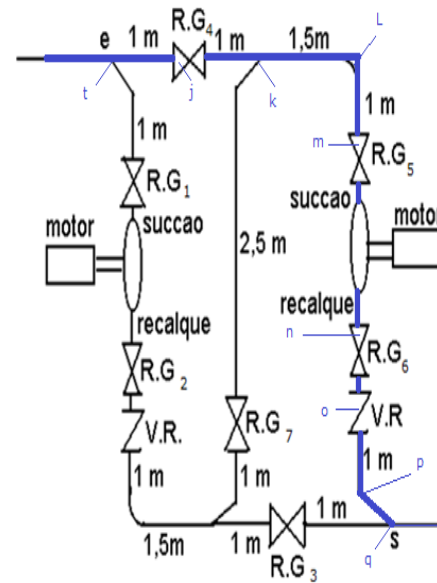
EM RELAÇÃO A CASA DE MÁQUINA AS
DUAS POSSIBILIDADES SÃO IDÊNTICAS,
POIS EM AMBAS SE TEM O MESMO
COMPRIMENTO TOTAL DE TUBULAÇÃO E
A MESMA SOMATÓRIA DE
COMPRIMENTOS EQUIVALENTES.



Primeira
possibilidade



Segunda
possibilidade



Solução para a situação 1

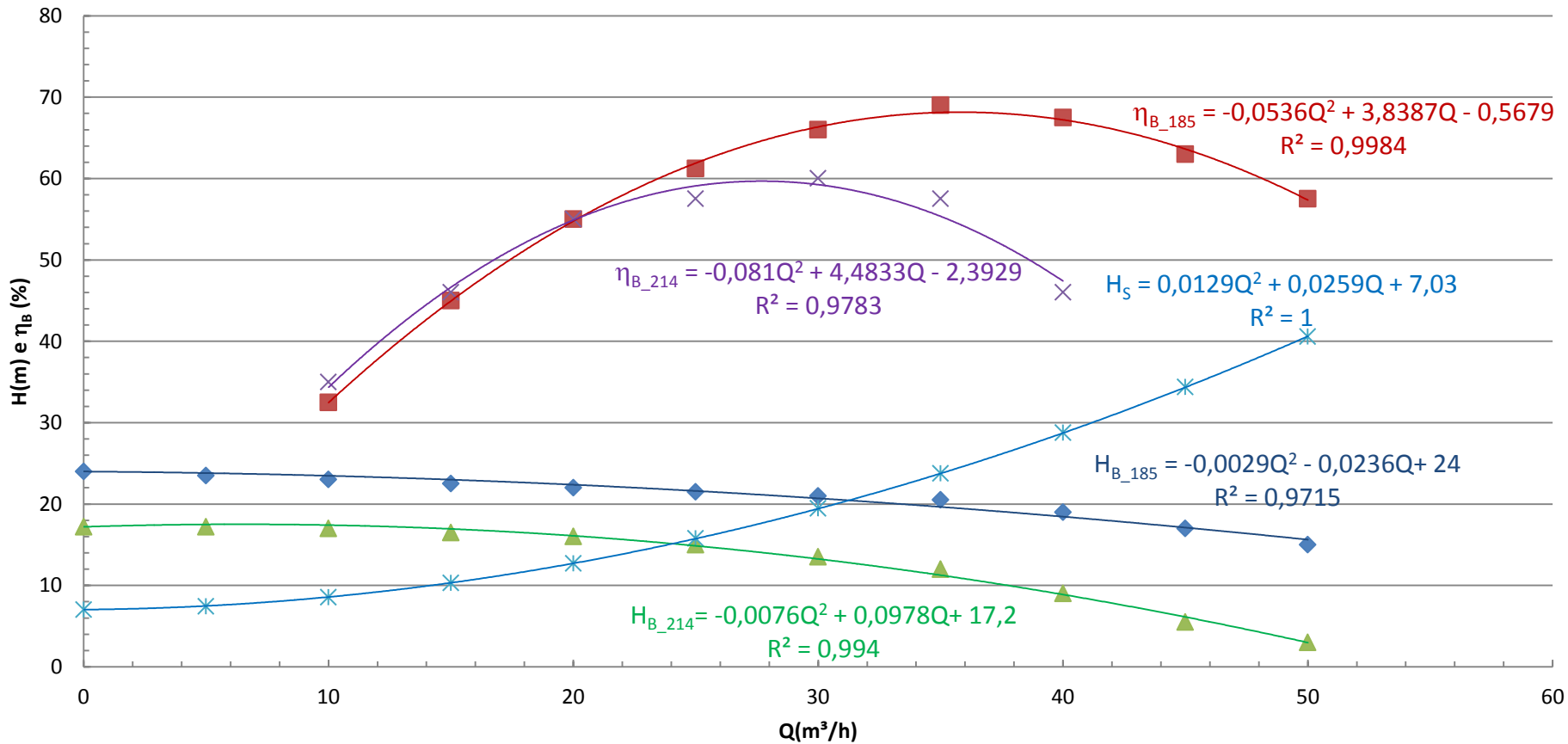
$$H_S = 7,03 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 26,8 + 5,5 + 16,61)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 21,3)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 7,03 + 10834,8 \times Q^2 + f_{3''} \times 2616865,3 \times Q^2 + f_{2''} \times 5634142,2 \times Q^2$$

Q(m³/h)	H _{B185} (m)	h _{B185} (%)	H _{B214} (m)	h _{B214} (%)	f _{3''}	f _{2''}	H _s (m)
0	24		17,2		0	0	7,0
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	7,4
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	8,5
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	10,3
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	12,7
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	15,8
30	21	66	13,5	60	0,02	0,0206	19,4
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	23,8
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	28,8
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	34,4
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	40,6

Solução para a situação 1 (cont.)

Ponto de trabalho



- ◆ HB185 (m)
- rend_185
- ▲ HB_214
- × rend_214
- ✱ CCI
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend_185)
- Polinômio (HB_214)
- Polinômio (rend_214)
- Polinômio (CCI)

Ponto de trabalho parcial para a bomba com diâmetro de rotor igual a 185 mm

$H_S = H_{B_{as}} \rightarrow$ ponto de trabalho

$$0,0129Q^2 + 0,0259Q + 7,03 = -0,0029Q^2 - 0,0236Q + 24$$

$$0,0158Q^2 + 0,0495Q - 16,97 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{-0,0495 + \sqrt{0,0495^2 + 4 \times 0,0158 \times 16,97}}{2 \times 0,0158} \cong 31,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0129 \times 31,2^2 + 0,0259 \times 31,2 + 7,03 = 20,4\text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,0536 \times 31,2^2 + 3,8387 \times 31,2 - 0,5679 \cong 67,0\%$$

$$N_{B_\tau} = \frac{997,8 \times 9,8 \times \left(\frac{31,2}{3600} \right) \times 20,4}{0,67} \cong 2580,3\text{W}$$

Ponto de trabalho parcial para a bomba com diâmetro de rotor igual a 214 mm

$$H_S = H_{B_{as}} \rightarrow \text{ponto de trabalho}$$

$$0,0129Q^2 + 0,0259Q + 7,03 = -0,0076Q^2 + 0,0978Q + 17,2$$

$$0,0205Q^2 - 0,0719Q - 10,17 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{0,0719 + \sqrt{0,0719^2 + 4 \times 0,0205 \times 10,17}}{2 \times 0,0205} \cong 24,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0205 \times 24,1^2 + 0,0259 \times 24,1 + 7,03 = 19,6\text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,081 \times 24,1^2 + 4,4833 \times 24,1 - 2,3929 \cong 58,6\%$$

$$N_{B_\tau} = \frac{997,8 \times 9,8 \times \left(\frac{24,1}{3600} \right) \times 19,6}{0,586} \cong 2189,5\text{W}$$

Vamos analisar
a situação 2.



Situação 2 = válvula 1 fechada e a 2 aberta

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

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

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.



$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 26,8)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 21,3)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

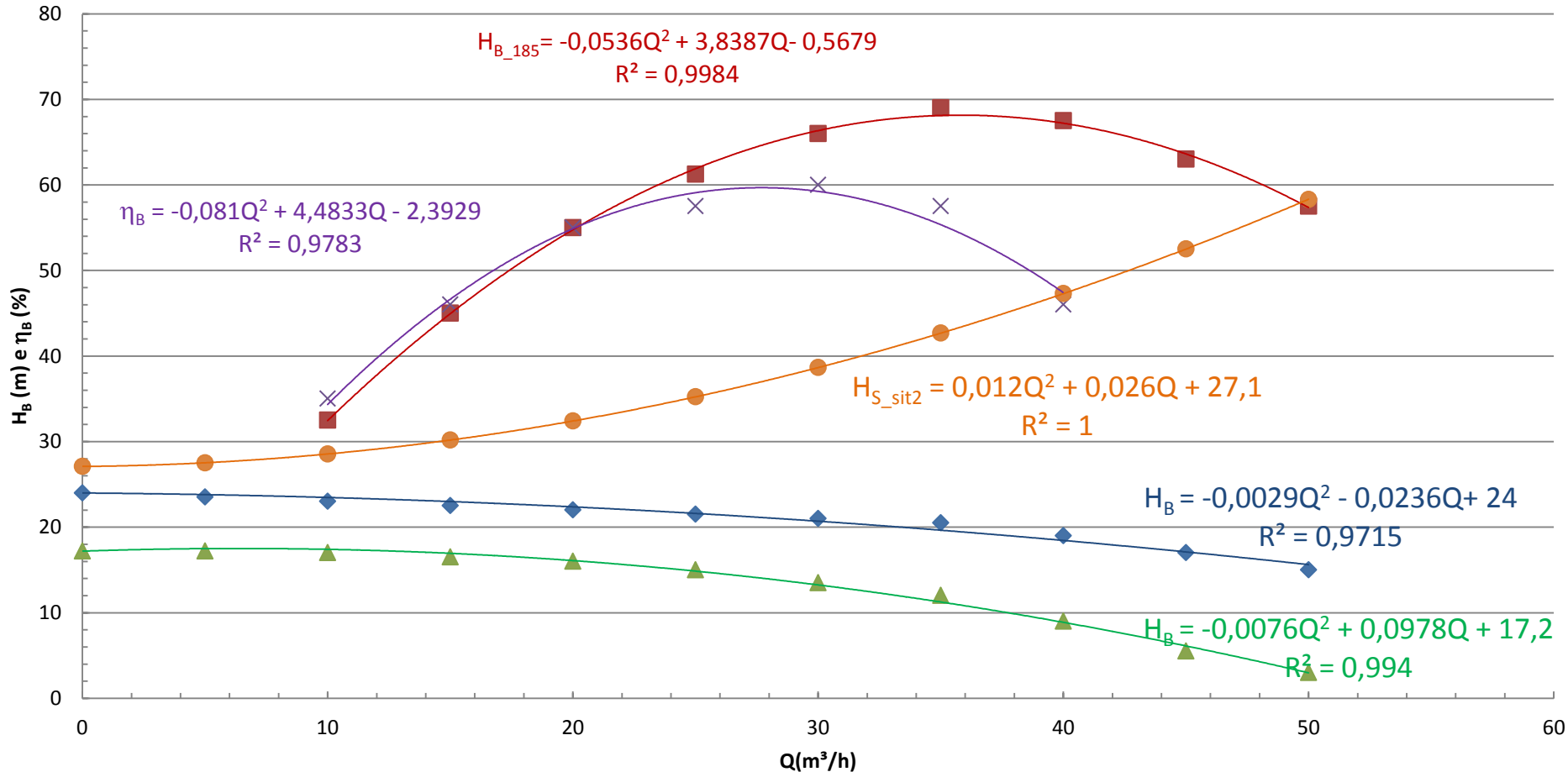
$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1980423,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5634142,3 \times Q^2$$

Solução gráfica

Q(m ³ /h)	H _{B185} (m)	η _{B185} (%)	H _{B214} (m)	η _{B214} (%)	f ₃ "	f ₂ "	H _{S_sit2} (m)
0	24		17,2		0	0	27,1
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	27,5
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	28,5
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	30,2
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	32,4
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	35,2
30	21	66	13,5	60	0,0200	0,0206	38,7
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	42,7
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	47,3
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	52,5
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	58,3

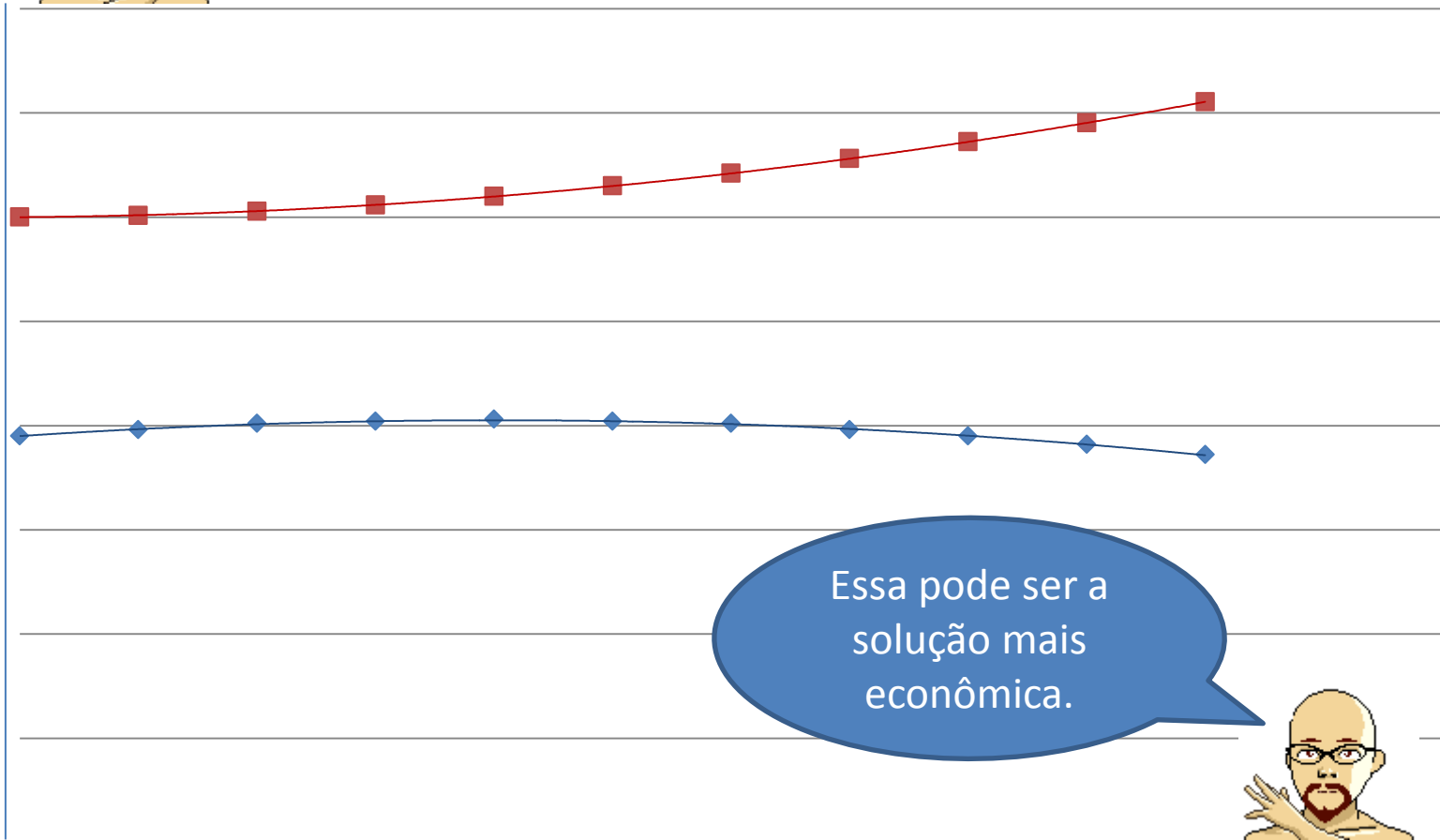
Verificamos que também não existe ponto de trabalho para a situação 2

$$H_B = f(Q) \text{ e } \eta_B = f(Q)$$



- ◆ HB185 (m)
- rend_185
- ▲ CCB_214
- × rend_214
- CCI_sit2
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend_185)
- Polinômio (CCB_214)
- Polinômio (rend_214)
- Polinômio (CCI_sit2)

Como para a situação 2 não existe o ponto de trabalho, ou seja, uma única bomba 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 associada em série das bombas resolve o problema.

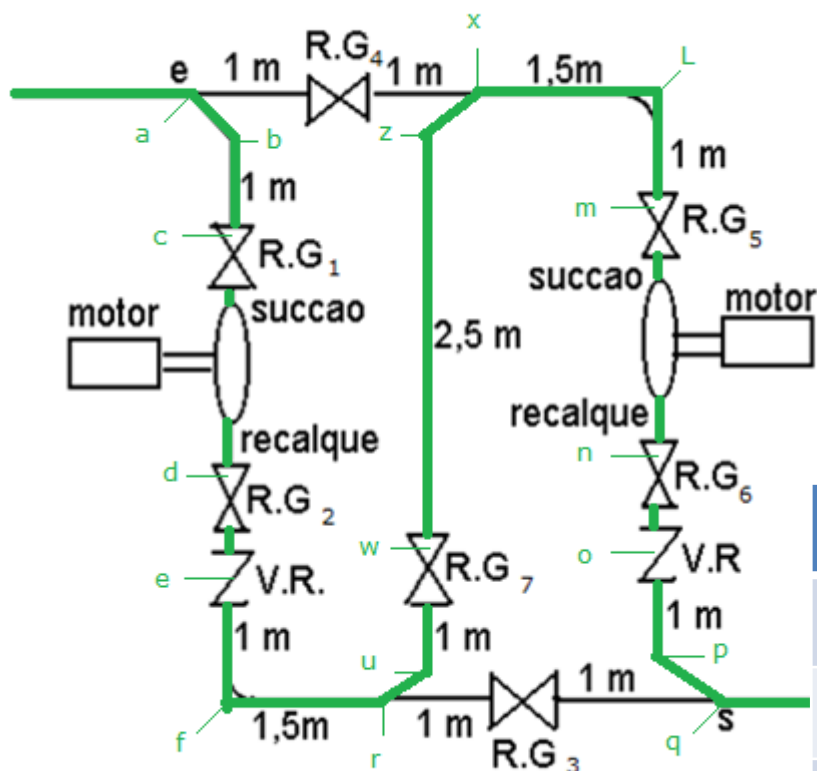


Essa pode ser a solução mais econômica.



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)

Devemos acrescentar:

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

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

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



Obtenção da
nova CCI

Para a associação em
série se mantém a Q
e soma-se os H_B



$$L_{3''} = 42 + 10,5 = 52,5\text{m}$$

$$\sum \text{Leq}_{3''} = 26,8 + 44,05 = 70,85\text{m}$$

$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{123,35}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{27,3}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 3550658,2 \times Q^2 + f_{2''} \times 5634142,3 \times Q^2$$

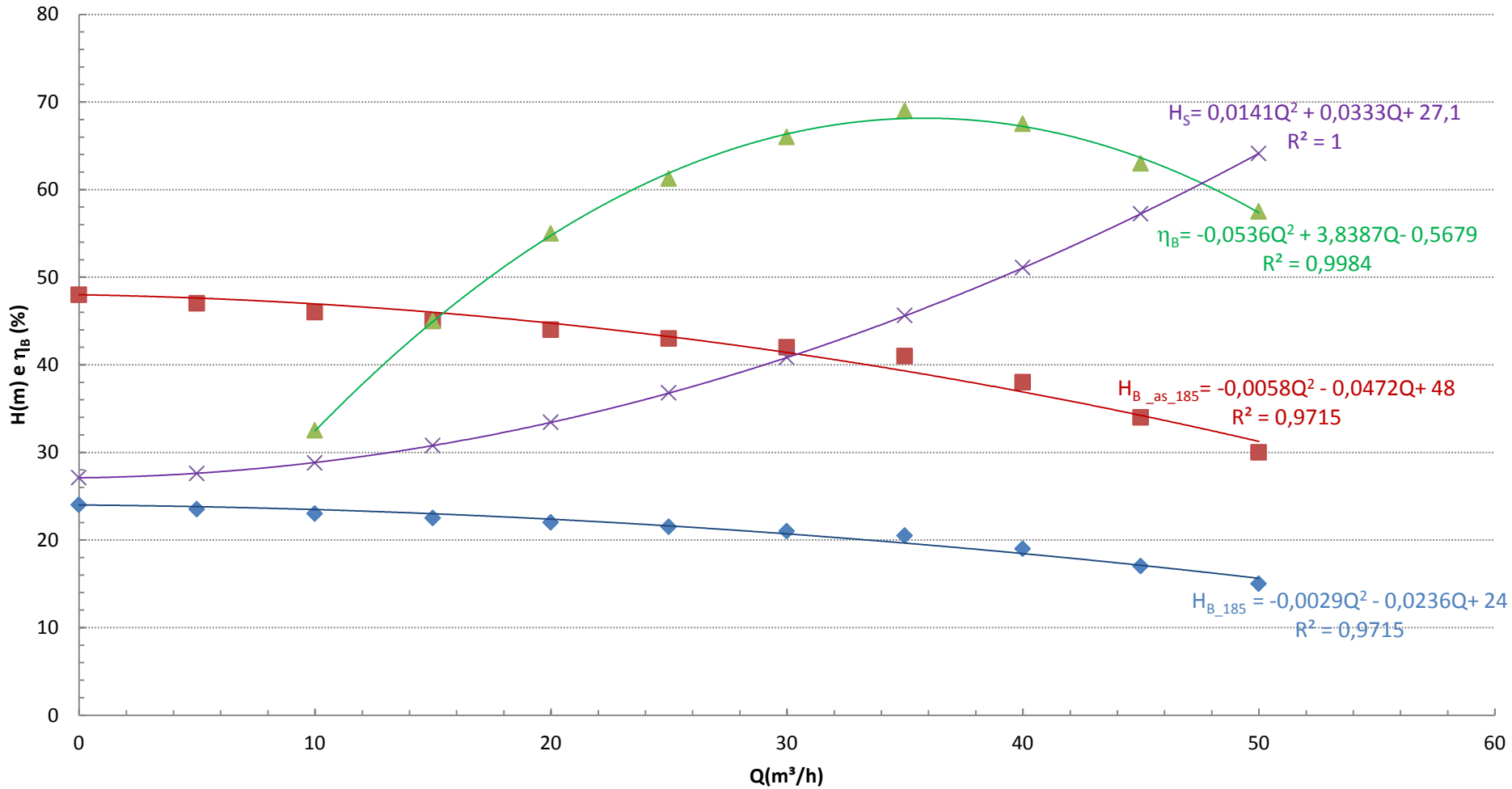
OUTRA COISA IMPORTANTE É OBSERVAR QUE EM TODAS AS POSSIBILIDADES DE FUNCIONAMENTO SÓ EXISTEM ALTERAÇÕES NA CASA DE MÁQUINA E DA OPERAÇÃO DE UMA SÓ BOMBA PARA A ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE SE ALTERA A CCB, ISTO PORQUE SE “MANTÉM” A VAZÃO E SOMA-SE AS CARGAS MANOMÉTRICAS.

Agora traça-se a CCI e se obtém, se êle existir, o ponto de trabalho.



Q(m ³ /h)	H _{B185} (m)	H _{B214} (m)	H _{B185_a_serie} (m)	H _{B214_a_serie} (m)
0	24	17,2	48	34,4
5	23,5	17,2	47	34,4
10	23	17	46	34
15	22,5	16,5	45	33
20	22	16	44	32
25	21,5	15	43	30
30	21	13,5	42	27
35	20,5	12	41	24
40	19	9	38	18
45	17	5,5	34	11
50	15	3	30	6

Associação em série com a bomba H50-C com diâmetro do rotor igual a 185 mm



◆ HB185 (m)

■ associação_série_185

▲ rendimento_185

× CCI

— Polinômio (HB185 (m))

— Polinômio (associação_série_185)

— Polinômio (rendimento_185)

— Polinômio (CCI)

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

$$H_S = H_{B_{as}} \rightarrow \text{ponto de trabalho}$$

$$0,0141Q^2 + 0,0333Q + 27,1 = -0,0058Q^2 - 0,0472Q + 48$$

$$0,0199Q^2 + 0,0805Q - 20,9 = 0$$

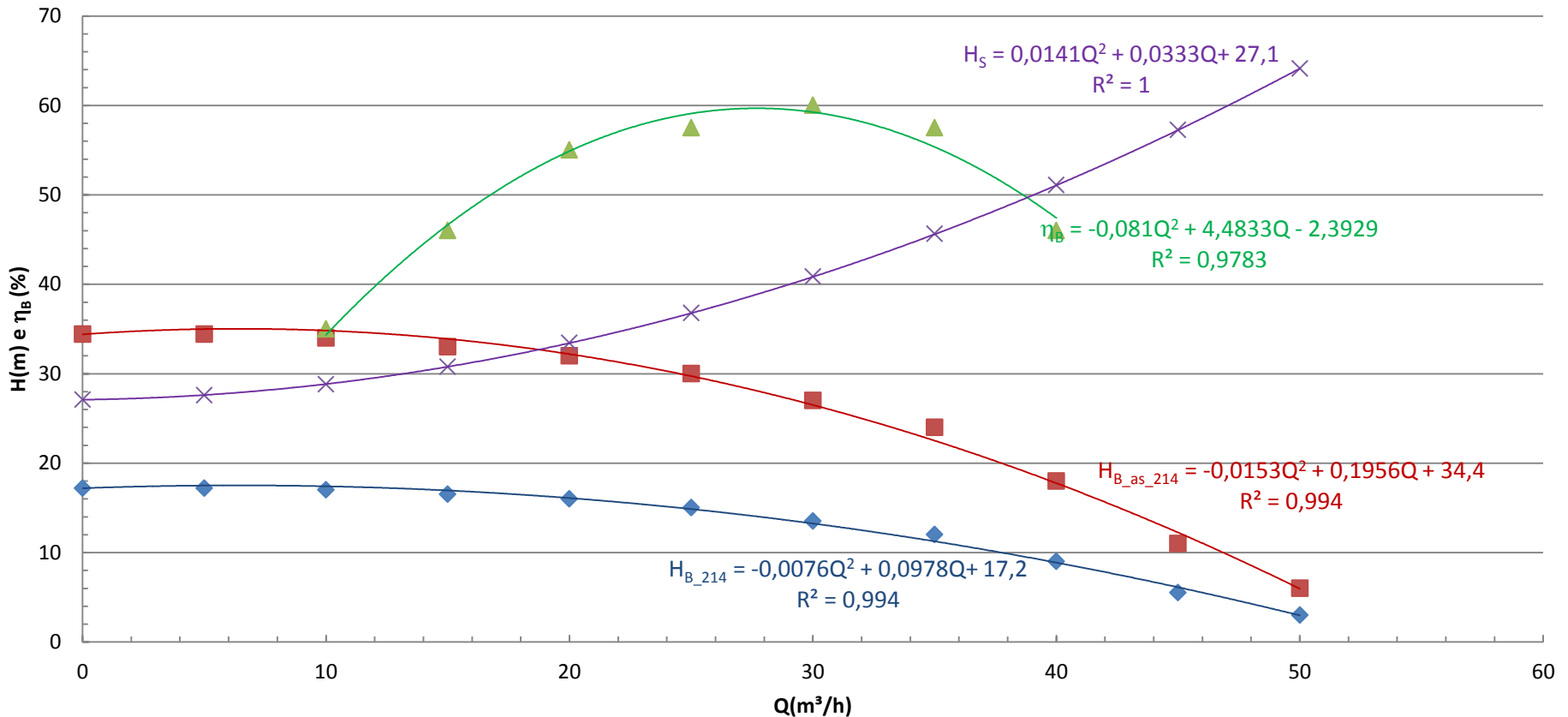
$$Q_\tau = \frac{-0,0805 + \sqrt{0,0805^2 + 4 \times 0,0199 \times 20,9}}{2 \times 0,0199} \cong 30,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0141 \times 30,5^2 + 0,0333 \times 30,5 + 27,1 = 41,2\text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,0536 \times 30,5^2 + 3,8387 \times 30,5 - 0,5679 \cong 66,7\%$$

$$N_{B_\tau} = \frac{997,8 \times 9,8 \times \left(\frac{30,5}{3600} \right) \times 41,2}{0,667} \cong 5118\text{W}$$

Associação em série com a bomba H50-C com diâmetro do rotor igual a 214 mm



- ◆ HB214 (m)
- associação_série_214
- ▲ rend_214
- × CCI
- Polinômio (HB214 (m))
- Polinômio (associação_série_214)
- Polinômio (rend_214)
- Polinômio (CCI)

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

$$H_S = H_{B_{as}} \rightarrow \text{ponto de trabalho}$$

$$0,0141Q^2 + 0,0333Q + 27,1 = -0,0153Q^2 + 0,1956Q + 34,4$$

$$0,0294Q^2 - 0,1623Q - 7,3 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{0,1623 + \sqrt{0,1623^2 + 4 \times 0,0294 \times 7,3}}{2 \times 0,0294} \cong 18,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0141 \times 18,8^2 + 0,0333 \times 18,8 + 27,1 = 32,8 \text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,081 \times 18,8^2 + 4,4833 \times 18,8 - 2,3929 \cong 53,3\%$$

$$N_{B_\tau} = \frac{997,8 \times 9,8 \times \left(\frac{18,8}{3600} \right) \times 32,8}{0,533} \cong 3143 \text{W}$$

Reflexões

Q(m ³ /h)	H _{B185} (m)	η _{B185} (%)	H _{B214} (m)	η _{B214} (%)
0	24		17,2	
5	23,5		17,2	
10	23	32,5	17	35
15	22,5	45	16,5	46
20	22	55	16	55
25	21,5	61,25	15	57,5
30	21	66	13,5	60
35	20,5	69	12	57,5
40	19	67,5	9	46
45	17	63	5,5	
50	15	57,5	3	

$$Q_{\tau_{185}} \cong 1,11Q_{\eta_{B_{\text{máx}}}}$$

$$Q_{\tau_{214}} \cong 0,63Q_{\eta_{B_{\text{máx}}}}$$

