Resolução do exercício proposto da nona aula

a) a potência da bomba operando isoladamente

Sabe-se que:

$$N_{B_1} = \frac{\gamma \times Q_\tau \times H_{B_\tau}}{\eta_{B_\tau}}$$

Portanto deve-se determinar o ponto de trabalho, ou seja, o cruzamento das curvas da CCB com a CCI, para isto calcula-se inicialmente a carga estática (H_{est}), a qual no exercício proposto é igual a K_1

$$H_{est} = K_1 = (Z_2 - Z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} = 14{,}5\,\text{m, isto porque}: Z_2 = 14{,}5\,\text{m}; Z_1 = 0 \text{ e } p_2 = p_1 = p_{atm}$$

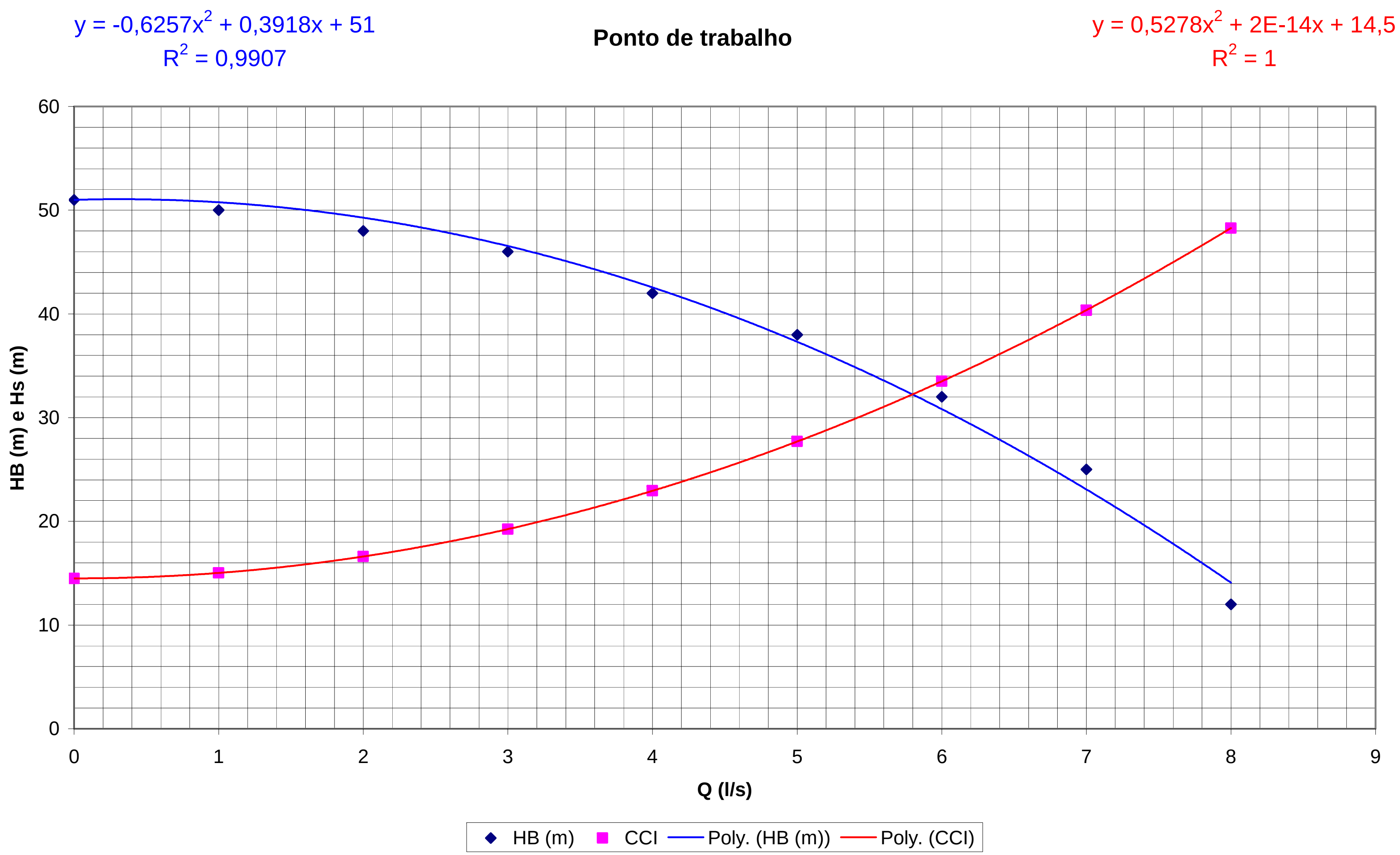
Portanto:

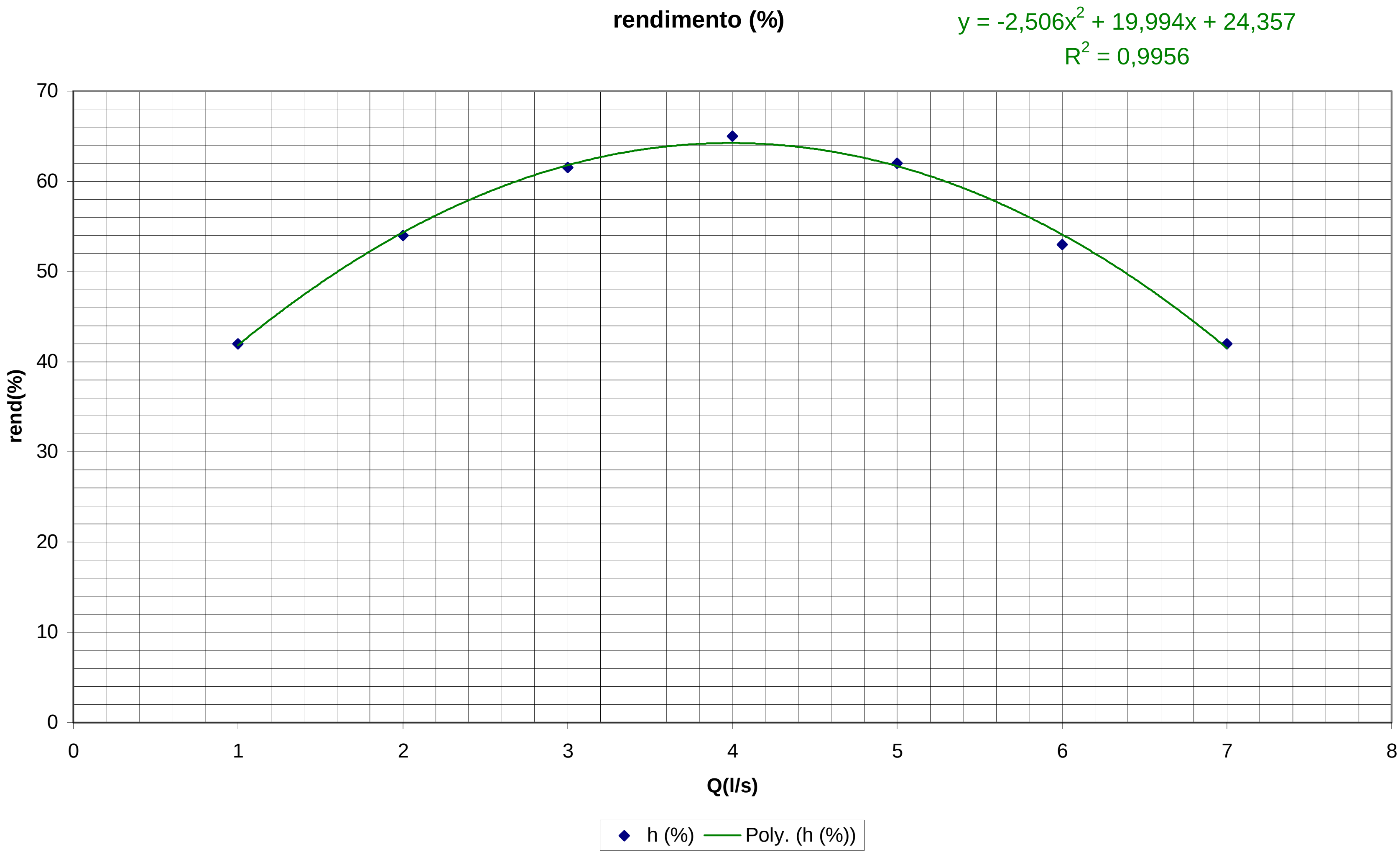
$$H_S = 14{,}5 + 527800Q^2$$

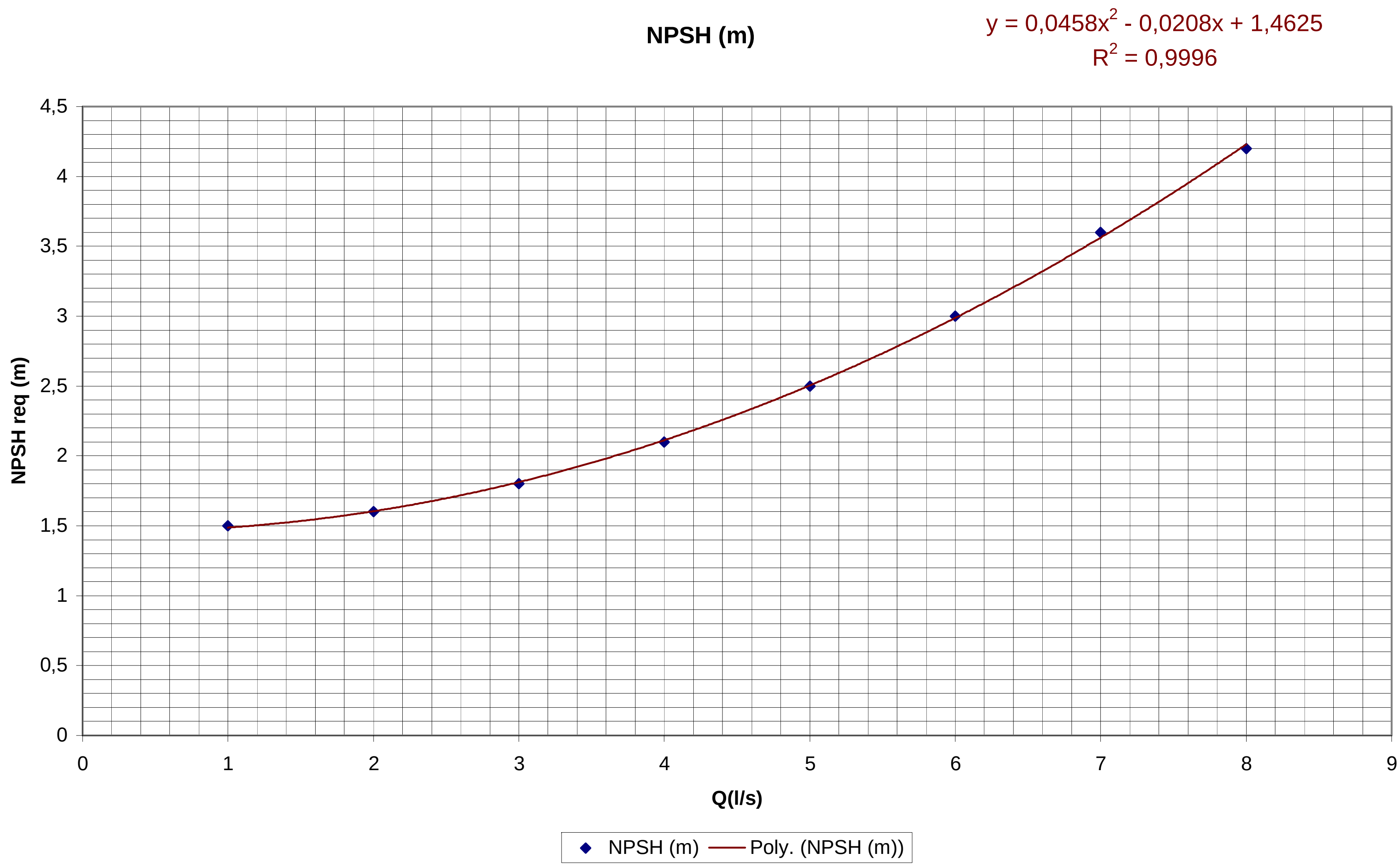
Evocando os dados fornecidos pelo fabricante e considerando a equação da CCI anterior, resulta:

Q (l/s)	HB (m)	η (%)	NPSH (m)	Hs (m)
0	51			14,5
1	50	42	1,5	15,0
2	48	54	1,6	16,6
3	46	61,5	1,8	19,3
4	42	65	2,1	22,9
5	38	62	2,5	27,7
6	32	53	3	33,5
7	25	42	3,6	40,4
8	12		4,2	48,3

Com a tabela anterior obtém-se as curvas:


y = -0,6257x2 + 0,3918x + 51
R2 = 0,9907
Ponto de trabalho
y = 0,5278x2 + 2E-14x + 14,5
R2 = 1
HB (m) e Hs (m)
Q (l/s)
HB (m)
CCI
Poly. (HB (m))
Poly. (CCI)


rendimento (%)
y = -2,506x2 + 19,994x + 24,357
R2 = 0,9956
rend(%)
Q(l/s)
h (%)
Poly. (h (%))
0
10
20
30
40
50
60
70
0
1
2
3
4
5
6
7
8


NPSH (m)
y = 0,0458x2 - 0,0208x + 1,4625
R2 = 0,9996
NPSH req (m)
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Q(l/s)
NPSH (m)
Poly. (NPSH (m))

O ponto de trabalho é obtido igualando-se a equação da CCB com a da CCI, ou seja:

$$-0{,}6257Q^2 + 0{,}3918Q + 51 = 0{,}5278Q^2 + 2e - 14x + 14{,}5$$

$$\therefore 1{,}1535Q^2 - 0{,}3918Q - 36{,}5 = 0 \therefore Q = \frac{0{,}3918 \pm \sqrt{(-0{,}3918)^2 + 4 \times 1{,}1535 \times 36{,}5}}{2 \times 1{,}1535}$$

$$\therefore Q \cong 5{,}8\frac{l}{s}\ \text{(litro/segundo)}$$

Considerando a vazão obtida acima respectivamenta nas equações da CCI, do rendimento e do $NPSH_{requerido}$ resulta:

$$H_B = 0{,}5278 \times (5{,}8)^2 + 2e - 14 \times 5{,}8 + 14{,}5 \cong 32{,}3\ m$$

$$\eta_B = -2{,}506 \times (5{,}8)^2 + 19{,}994 \times 5{,}8 + 24{,}357 \cong 56\%$$

$$NPSH_{requerido} = 0{,}0458 \times (5{,}8)^2 - 0{,}0208 \times 5{,}8 + 1{,}4625 \cong 2{,}9\ m$$

Com as informações do ponto de trabalho, pode-se calcular a potência da bomba, ou seja:

$$N_B = \frac{1000 \times 5{,}8 \times 10^{-3} \times 32{,}3}{0{,}56} \cong 334{,}5\frac{kgf \times m}{s} \cong 4{,}5\ CV$$

b) a vazão de escoamento com a associação em série das bombas

Quando o reservatório superior for pressurizado há a necessidade de se trabalhar com a associação em série, e isto implica que além da $CCB_{associação}$, deve-se obter a nova equação da CCI, já que ocorrerá mudança tanto na carga estática, como na parcela correspondente a perda de carga, como mostrado a seguir:

$$H_{est_{nova}} = 14{,}5 + \frac{20000 - 0}{1000} = 34{,}5\ m$$

$$B_{inst_{novo}} = 527800 - 0{,}028 \times \frac{(3 + 2 \times 1 + 1)}{0{,}0525} \times \frac{1}{2 \times 9{,}8 \times \left(\frac{\pi \times 0{,}0525^2}{4}\right)^2} +$$

$$0{,}028 \times \frac{(10 + 2 \times 2 + 1 + 2 + 3)}{0{,}0525} \times \frac{1}{2 \times 9{,}8 \times \left(\frac{\pi \times 0{,}0525^2}{4}\right)^2} \cong 5359293{,}1$$

$$\therefore H_{S_{nova}} = 34{,}5 + 609093{,}11Q^2$$

Para obtenção do ponto de trabalho, deve-se proceder de forma análoga a feita para o item anterior, porém com a nova CCI e com a associação em série, onde se tem a mesma vazão e a soma da carga manométrica, portanto:

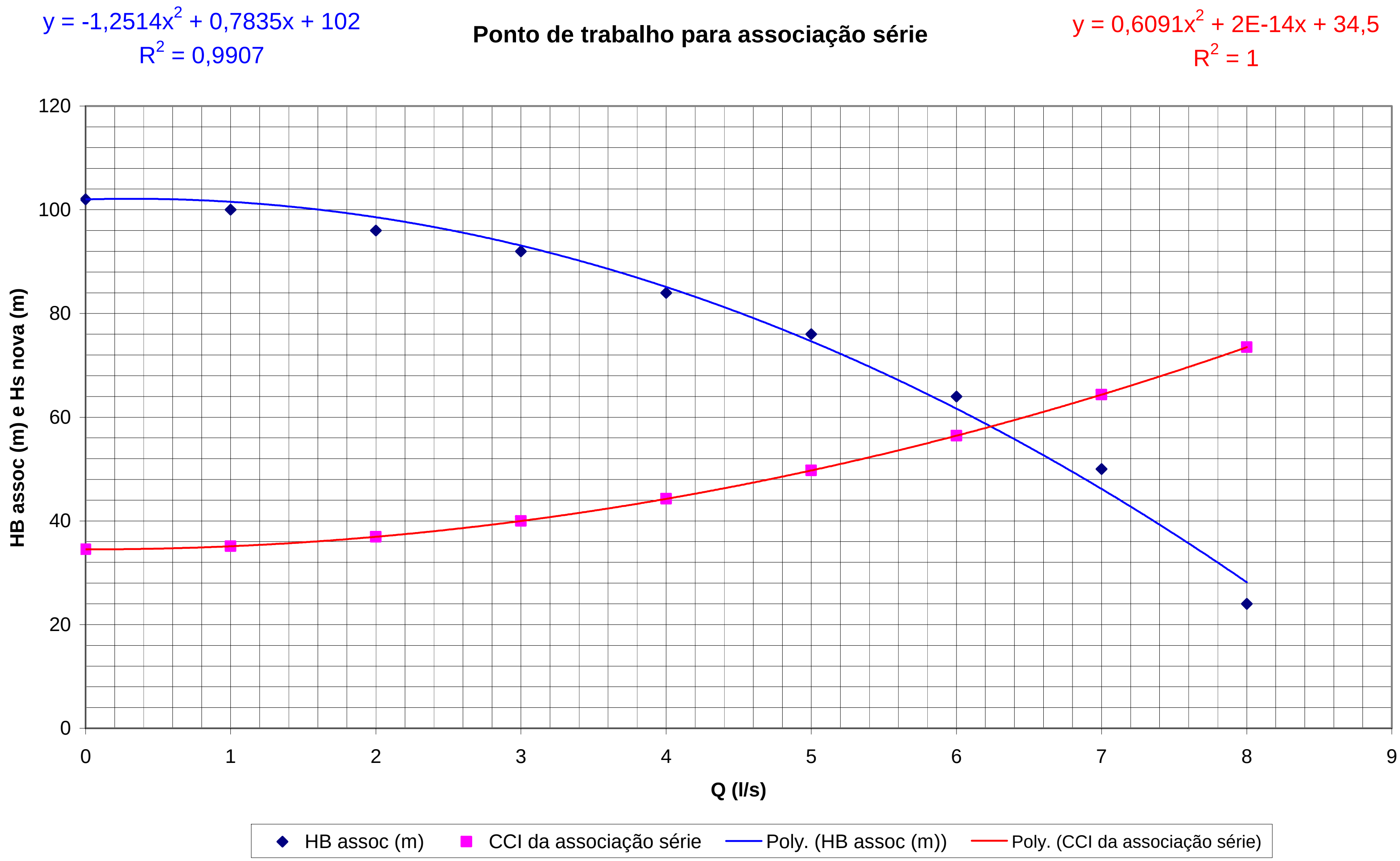
Q (l/s)	HB assoc (m)	Hs nova (m)
0	102	34,5
1	100	35,1
2	96	36,9
3	92	40,0
4	84	44,2
5	76	49,7
6	64	56,4
7	50	64,3
8	24	73,5

Com a tabela anterior, pode-se determinar o novo ponto de trabalho e em particular a vazão de escoamento para esta nova situação:

$$-1{,}2514Q^2 + 0{,}7835Q + 102 = 0{,}6091Q^2 + 2e^{-14}Q + 34{,}5$$

$$\therefore 1{,}8605Q^2 - 0{,}7835Q - 67{,}5 = 0$$

$$Q = \frac{0{,}7835 \pm \sqrt{(-0{,}7835)^2 + 4 \times 1{,}8605 \times 67{,}5}}{2 \times 1{,}8605} \therefore Q \cong 6{,}24\frac{l}{s}(\text{litro}/s)$$



y = -1,2514x2 + 0,7835x + 102
R2 = 0,9907
Ponto de trabalho para associação série
y = 0,6091x2 + 2E-14x + 34,5
R2 = 1
HB assoc (m) e Hs nova (m)
Q (l/s)
HB assoc (m)
CCI da associação série
Poly. (HB assoc (m))
Poly. (CCI da associação série)

c) a potência da associação em série das bombas

Como as bombas são iguais, pode-se afirmar que o rendimento da associação em série é igual ao rendimento da bomba isolada, portanto:

$$\eta_{B_{associação}} = -2{,}506 \times (6{,}24)^2 + 19{,}994 \times 6{,}24 + 24{,}357 \cong 51{,}5\%$$

Por outro lado, com a vazão do ponto de trabalho na equação da nova CCI, tem-se que:

$$H_{B_{associação}} = 0{,}6091 \times (6{,}24)^2 + 2 \times e^{-14} \times 6{,}24 + 34{,}5 \cong 58{,}2\ m$$

Portanto:

$$N_{B_{associação}} = \frac{1000 \times 6{,}24 \times 10^{-3} \times 58{,}2}{0{,}515} \cong 705{,}2 \frac{kgf \times m}{s} \cong 9{,}4\ CV$$

d) verificação do fenômeno de cavitação para o item a

Para verificar-se o fenômeno de cavitação há a necessidade de se calcular o $NPSH_{disponível}$ e para isto adota-se o PHR no eixo da bomba e calcula-se a perda de carga antes da bomba com a vazão do ponto de trabalho.

$$NPSH_{disponível} = Z_1 + \frac{p_{1_{abs}} - p_{vapor}}{\gamma} - f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q_\tau^2}{2 \times g \times A_{aB}^2}$$

$$NPSH_{disponível} = -1 + \frac{0{,}69 \times 13600 - 0{,}0236 \times 10^4}{1000} - 0{,}028 \times \frac{(4{,}8 + 18 + 2)}{0{,}0525} \times \frac{(\frac{5{,}8}{1000})^2}{2 \times 9{,}8 \times \left(\frac{\pi \times 0{,}0525^2}{4}\right)^2}$$

$$\therefore NPSH_{disponível} = 3{,}3\ m$$

$$\therefore NPSH_{disponível} - NPSH_{requerido} = 3{,}3 - 2{,}9 = 0{,}4\ m$$

Como existe a reserva contra a cavitação ($NPSH_{disponível}$ – $NPSH_{requerido}$) pode-se afirmar que não está ocorrendo o fenômeno de cavitação.

e) verificação do fenômeno de cavitação para o item b

No caso da associação em série basta verificar o fenômeno de cavitação para a primeira bomba, onde deve-se obter o novo NPSH$_{requerido}$ e isto resulta:

$$NPSH_{requerido} = 0{,}0458 \times (6{,}24)^2 - 0{,}0208 \times 6{,}24 + 1{,}4625 \cong 3{,}12\ m$$

$$NPSH_{disponível} = Z_1 + \frac{p_{1_{abs}} - p_{vapor}}{\gamma} - f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q_\tau^2}{2 \times g \times A_{aB}^2}$$

$$NPSH_{disponível} = -1 + \frac{0{,}69 \times 13600 - 0{,}0236 \times 10^4}{1000} - 0{,}028 \times \frac{(4{,}8 + 18 + 2)}{0{,}0525} \times \frac{(\frac{6{,}24}{1000})^2}{2 \times 9{,}8 \times \left(\frac{\pi \times 0{,}0525^2}{4}\right)^2}$$

$$\therefore NPSH_{disponível} = 2{,}54\ m$$

$$\therefore NPSH_{disponível} - NPSH_{requerido} = 2{,}54 - 3{,}12 = -0{,}58\ m$$

Como deixou de existir a reserva contra a cavitação (NPSH$_{disponível}$ – NPSH$_{requerido}$<0) pode-se afirmar que está ocorrendo o fenômeno de cavitação.