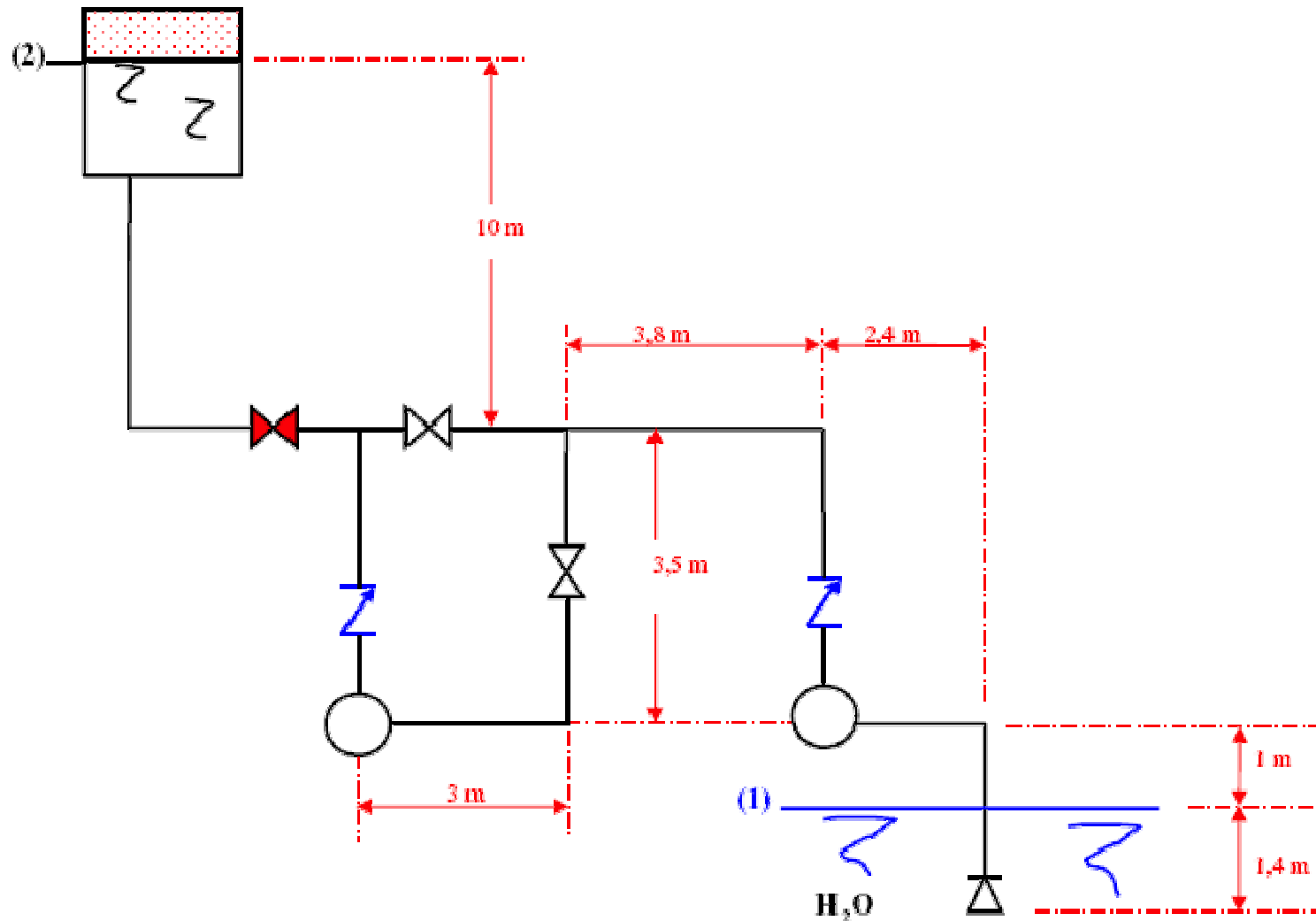


Décima primeira aula

29/04/2008

Exercício para a introdução dos estudos referentes a associação em série de bombas hidráulicas.



Quando a instalação dada opera somente com a bomba B1 a CCI é dada por:

$$H_s = K_1 + 527800 \times Q^2, \text{ onde } Q \rightarrow \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ e } H_s \rightarrow \text{m}$$

Nesta situação a pressão no tanque superior é atmosférica.

Pressurizando o tanque com 2 kgf/cm^2 , haverá a necessidade de associar B1 e B2. Sabendo-se que a vazão desejada de operação para ambos os casos é $5,2 \text{ l/s}$, pede-se:

- (a) a potência de B1 quando operar na instalação (com $p_2 = 0$);
- (b) a vazão que será recalçada quando o reservatório superior for pressurizado;
- (c) a potência da associação;
- (d) verificar quanto à cavitação na situação do item (a);
- (e) verificar quanto à cavitação na situação do item (b).

$$f = 0,028 \rightarrow D_{\text{tubo}} = 52,5 \text{ mm} \rightarrow p_{\text{atm}} = 690 \text{ mmHg}$$

Dados:

$$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \rightarrow p_{\text{vapor}} = 0,0236 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} (\text{abs})$$

Tipo	Válvula retenção	T passage m direta	T para ramal ou saída lateral	Cotovêlo	Válvula gaveta	Válvula de pé com crivo
Leq (m)	3	1	2	2	1	18

Importante: não recorrer a dados adicionais, ou seja, este problema deve ser resolvido exclusivamente com os dados aqui fornecidos.

Dados a seguir referente as bombas utilizadas na instalação:

Q (l/s)	HB (m)	η (%)	NPSH (m)
0	51		
1	50	42	1,5
2	48	54	1,6
3	46	61,5	1,8
4	42	65	2,1
5	38	62	2,5
6	32	53	3
7	25	42	3,6
8	12		4,2

Resolução

a) a potência da bomba operando isoladamente.

Inicia-se calculando a carga estática da instalação, ou seja:

$$H_{est} = (z_f - z_i) + \left(\frac{p_f - p_i}{\gamma} \right) = 14,5m$$

Portanto:

$$H_S = 14,5 + 527800Q^2 \rightarrow CCI$$

E isto permite obter a sua representação:

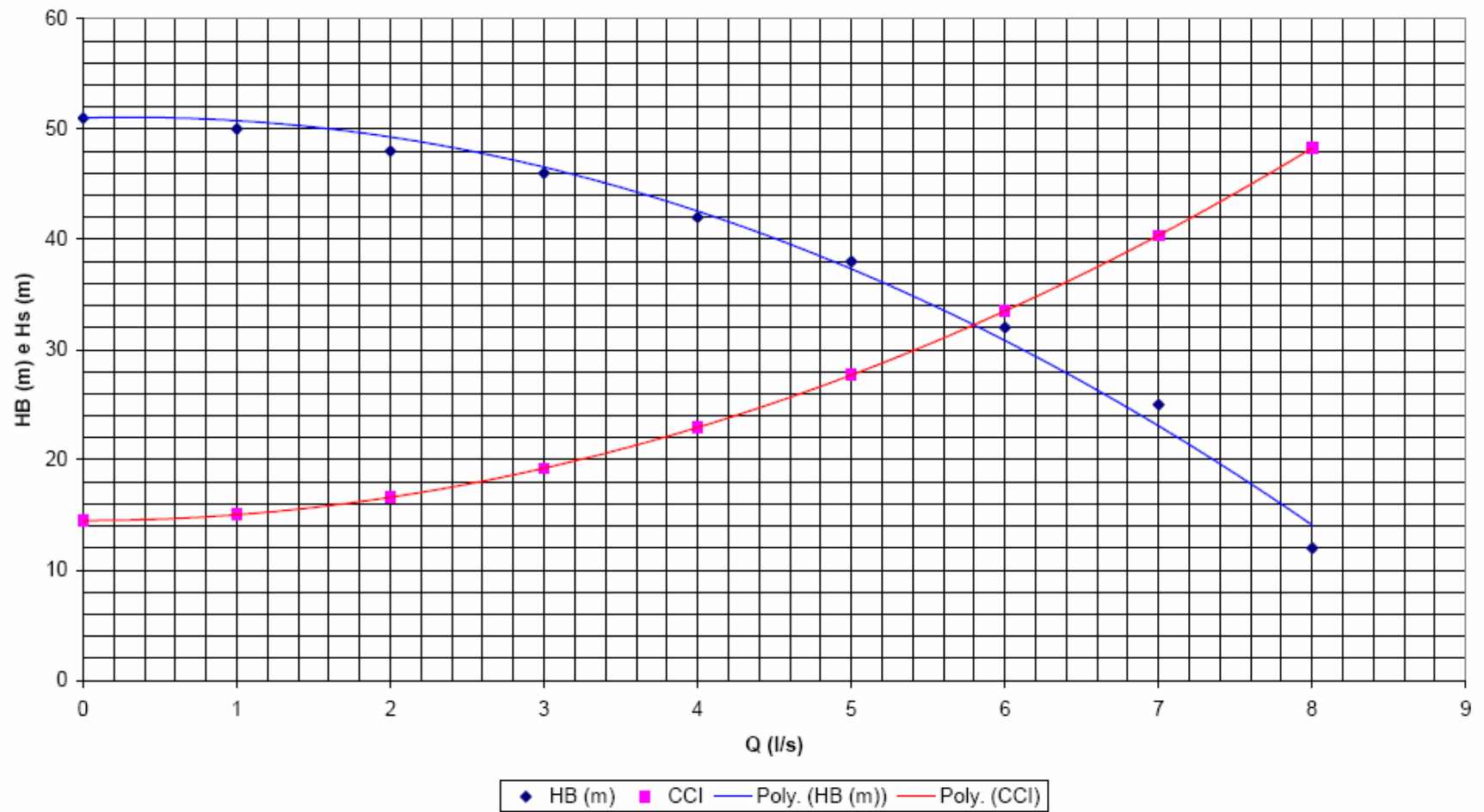
Q (l/s)	HB (m)	η (%)	NPSH (m)	Hs (m)
0	51			14,5
1	50	42	1,5	15,0
2	48	54	1,6	16,6
3	46	61,5	1,8	19,3
4	42	65	2,1	22,9
5	38	62	2,5	27,7
6	32	53	3	33,5
7	25	42	3,6	40,4
8	12		4,2	48,3

Com a tabela anterior pode-se obter os diagramas a seguir:

$$y = -0,6257x^2 + 0,3918x + 51$$
$$R^2 = 0,9907$$

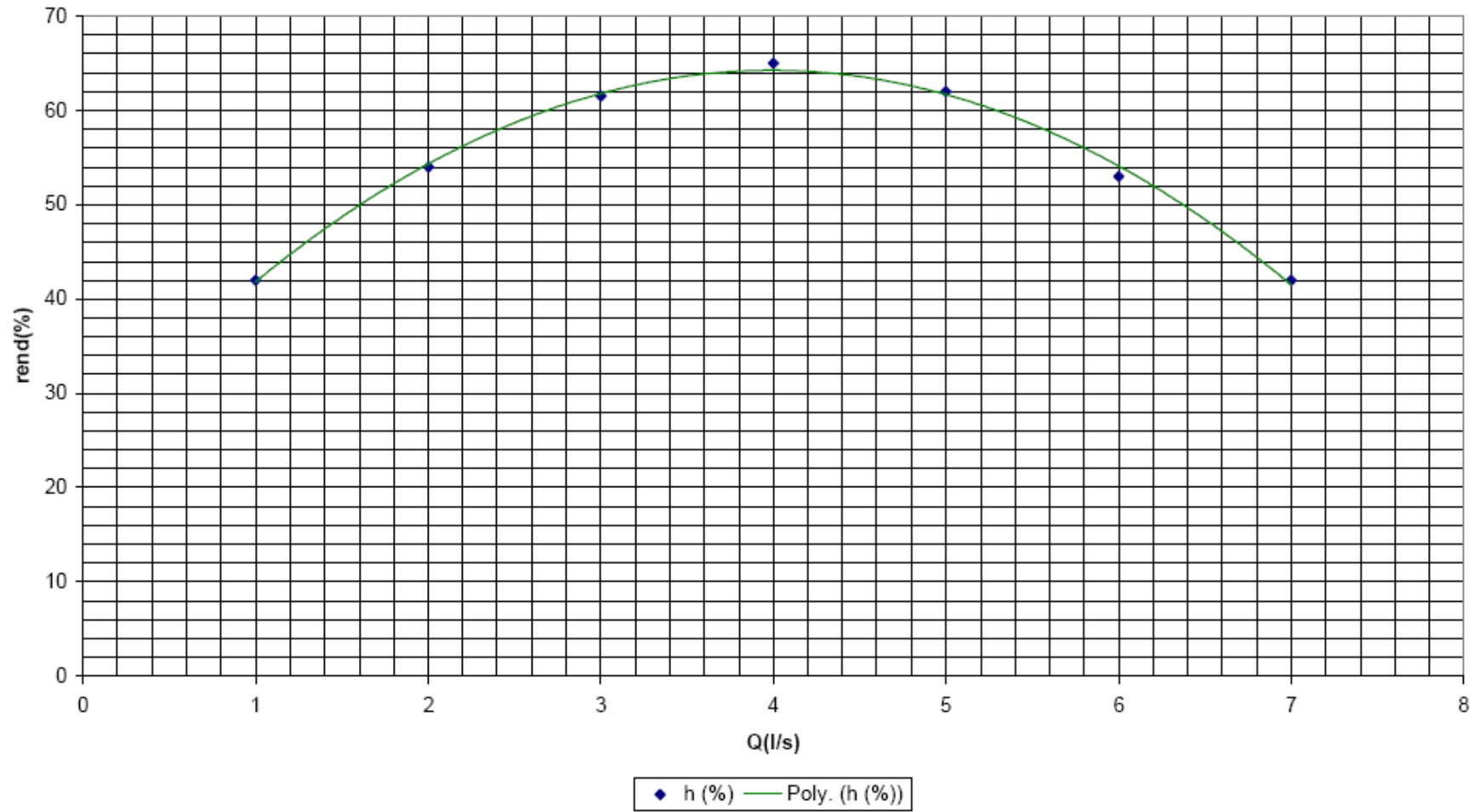
Ponto de trabalho

$$y = 0,5278x^2 + 2E-14x + 14,5$$
$$R^2 = 1$$



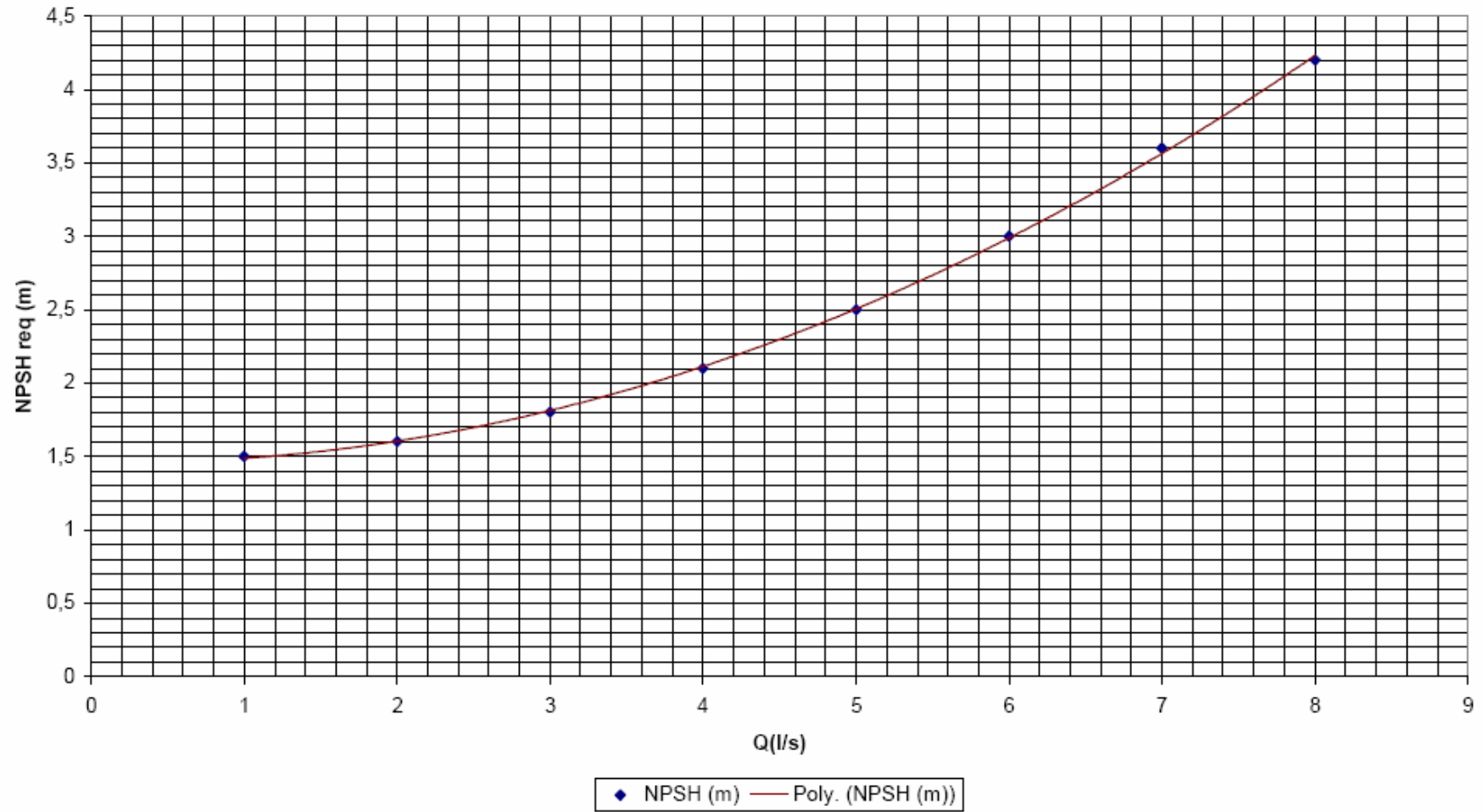
rendimento (%)

$$y = -2,506x^2 + 19,994x + 24,357$$
$$R^2 = 0,9956$$



NPSH (m)

$$y = 0,0458x^2 - 0,0208x + 1,4625$$
$$R^2 = 0,9996$$



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

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

$$\therefore 1,1535Q^2 - 0,3918Q - 36,5 = 0$$

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

$$\therefore Q = 5,8 \frac{l}{s}$$

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

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

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

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

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

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

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 $CCB_{\text{associação}}$, 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:

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

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

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

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

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:

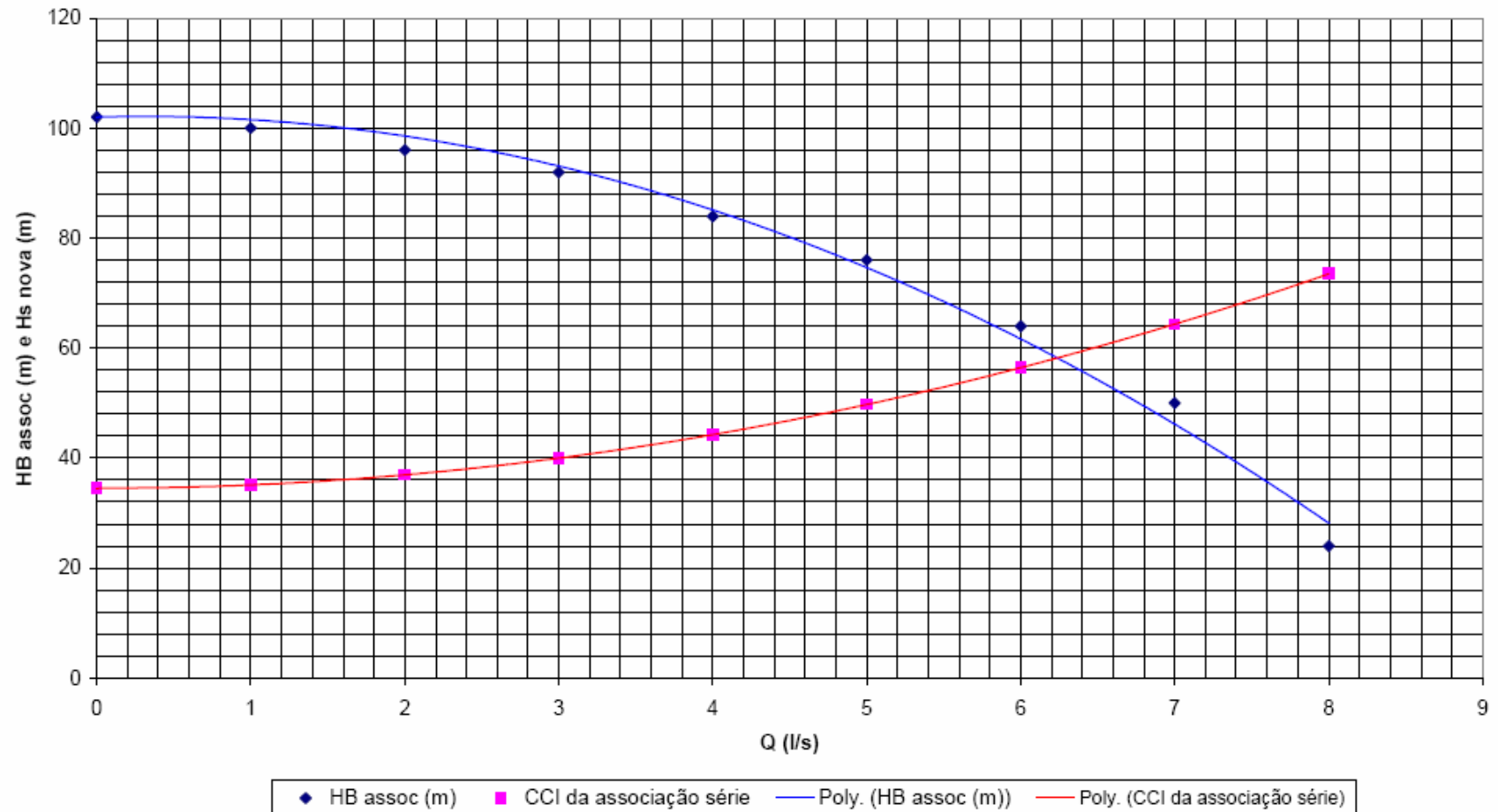
Q (l/s)	HB assoc (m)	Hs nova (m)
0	102	34,5
1	100	35,1
2	96	36,9
3	92	40,0
4	84	44,2
5	76	49,7
6	64	56,4
7	50	64,3
8	24	73,5

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

$$y = -1,2514x^2 + 0,7835x + 102$$
$$R^2 = 0,9907$$

Ponto de trabalho para associação série

$$y = 0,6091x^2 + 2E-14x + 34,5$$
$$R^2 = 1$$



$$\begin{aligned}
 -1,2514Q^2 + 0,7835Q + 102 &= 0,6091Q^2 + 2e^{-14}Q + 34,5 \\
 \therefore 1,8605Q^2 - 0,7835Q - 67,5 &= 0 \\
 Q &= \frac{0,7835 \pm \sqrt{(-0,7835)^2 + 4 \times 1,8605 \times 67,5}}{2 \times 1,8605} \therefore Q \cong 6,24 \frac{\text{l}}{\text{s}} \text{ (litro / s)}
 \end{aligned}$$

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:

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

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

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

Portanto:

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

d) verificação do fenômeno de cavitação para o item a
Para verificar-se o fenômeno de cavitação há a necessidade de se calcular o $NPSH_{\text{disponível}}$ 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.

$$NPSH_{\text{disponível}} = Z_1 + \frac{P_{1_{\text{obs}}} - P_{\text{vapor}}}{\gamma} - f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q_t^2}{2 \times g \times A_{aB}^2}$$

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

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

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

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 $NPSH_{\text{requerido}}$ e isto resulta:

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

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

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

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

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

No item d) não está cavitando, porém a reserva é baixa, já no item e) cavita.

Fonte de consulta

- <http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/associacoes%20de%20bombas.pdf>
- <http://pqj.ep.usp.br/disciplinas/pqi467/redetubo.pdf>
- http://www.facens.br/alunos/material/PedrazziC002PNC2/pedrazzi_bombas.pdf