

Gabarito primeira prova para engenharia química - abril de 2005

1. Especificar a tubulação de aço (recalque e sucção) e as velocidades médias de escoamento nas mesmas, sabendo que para esta instalação o mais recomendável é se trabalhar com o schedule 40 (Sch 40);

Vamos iniciar o dimensionamento da tubulação pelo recalque, ou seja a tubulação após a bomba, para isto deve-se adotar uma velocidade na faixa de velocidade recomendada, ou seja, entre 1,5 a 3,0 m/s, como a tubulação com o decorrer do tempo tende a diminuir seu diâmetro interno, já que existem as incrustações, opto em trabalhar com o limite inferior, portanto adoto 1,5 m/s.

$$Q_{\text{desejada}} = v \times A \Rightarrow \frac{45}{3600} = 1,5 \times \frac{\pi D^2}{4} \therefore D_{\text{int,ref}} = \sqrt{\frac{4 \times \frac{45}{3600}}{1,5 \times \pi}}$$

Portanto:

$$D_{\text{int,ref}} = 0,103 \text{ m} = 103 \text{ mm}$$

Como a tubulação é de aço, deve-se consultar a norma ANSI B.36.10, onde se obtém para a tubulação de recalque (tubulação após a bomba):

- ✓ diâmetro nominal = 4"
- ✓ diâmetro interno = 102,3 mm;
- ✓ espessura = schedule 40;
- ✓ área da seção livre = 82,1 cm².

Com os dados anteriores pode-se calcular a velocidade média de escoamento no

recalque: $v = \frac{Q}{A} = \frac{45/3600}{82,1 \times 10^{-4}} \cong 1,52 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ o que comprova que a escolha atende as

condições da velocidade estar entre 1,5 e 3,0 m/s e que foi imposta para este problema.

Já para a tubulação de sucção, para se adotar as condições que procuram evitar o fenômeno de cavitação, recomenda-se adotar um diâmetro imediatamente superior ao especificado para a tubulação de recalque, portanto:

- ✓ diâmetro nominal = 5"
- ✓ diâmetro interno = 128,3 mm;
- ✓ espessura = schedule 40;
- ✓ área da seção livre = 129,3 cm².

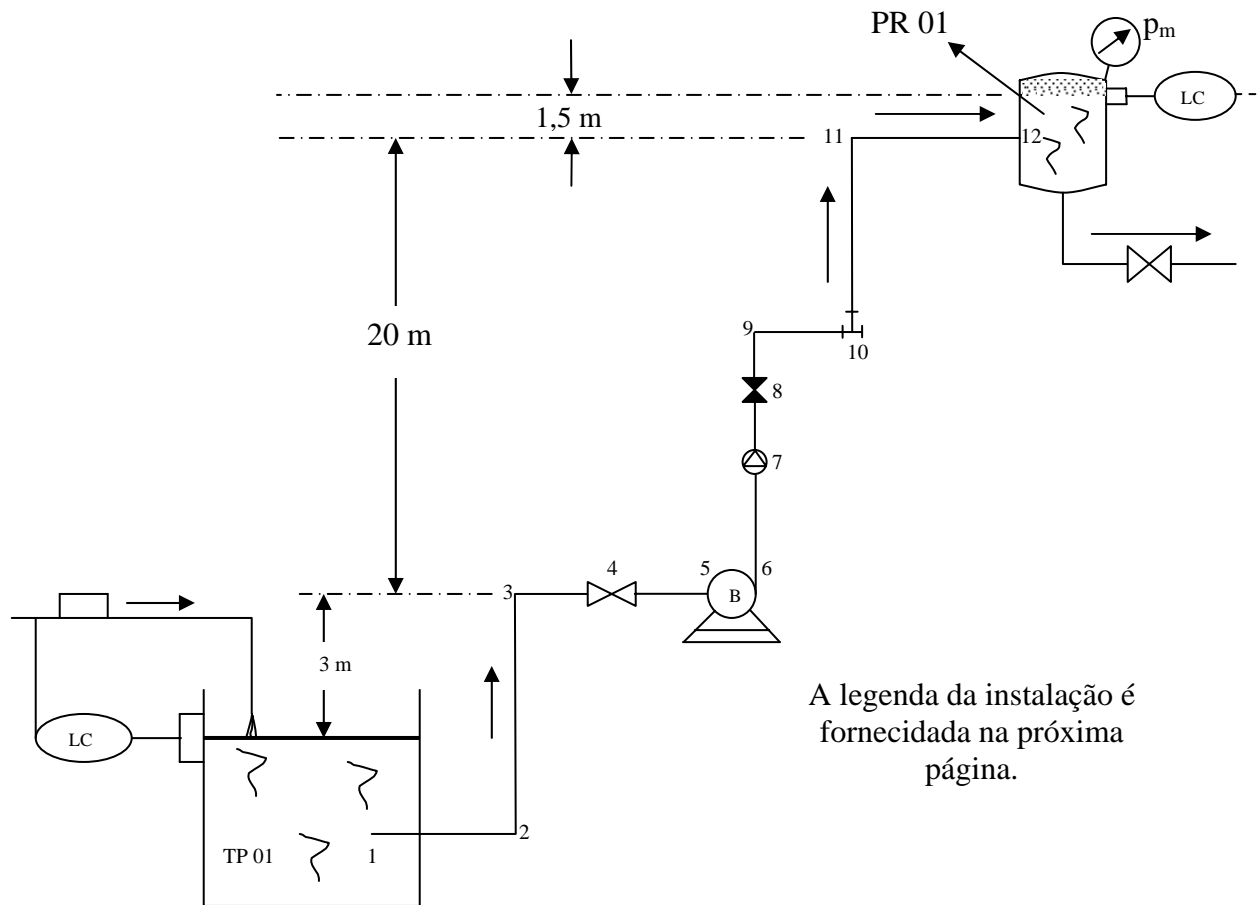
Calcula-se a velocidade média de escoamento na sucção:

$v = \frac{Q}{A} = \frac{45/3600}{129,3 \times 10^{-4}} \cong 0,97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ o que comprova que a escolha atende as condições

da velocidade estar entre 0,8 e 1,5 m/s e que foi imposta para este problema.

2. Obter a equação da CCI (Curva Característica da Instalação) em função dos coeficientes de perda de carga distribuída da sucção (f_s) e do recalque (f_R):

Recorre a equação da energia aplicada entre o nível de captação (seção inicial) e o nível de distribuição (seção final), respectivamente o nível do tanque pulmão TP 01 e o nível do tanque de pressurização PR-01



$$H_{\text{inicial}} + H_{\text{sistema}} = H_{\text{final}} + H_{\text{psucção}} + H_{\text{precalque}}$$

Adotando-se PHR no nível do tanque TP 01, tem-se:

$$0 + 0 + 0 + H_{\text{sistema}} = 24,5 + \frac{25 \times 1000}{996} + H_{\text{pS}} + H_{\text{pR}}$$

$$H_{\text{sistema}} = 49,6 + H_{\text{pS}} + H_{\text{pR}}$$

Para que se possa calcular as perdas de carga é necessário se estabelecer os comprimentos equivalentes dos acessórios hidráulicos, consultando as tabelas das conexões TUPY, tem-se:

✓ para a tubulação de sucção com diâmetro de 5":

Tubulação de sucção	Nome da singularidade	Comprimentos equivalentes em m
1	entrada de borda	4
2	cotovêlo de 90 ⁰	4,7
3	cotovêlo de 90 ⁰	4,7
4	válvula gaveta	0.9
5	entrada da bomba	0

Sabe-se também que o seu comprimento é 10 m, portanto:

$$H_{pS} = f_s \times \frac{(10 + 14,3)}{0,1283} \times \frac{Q^2}{2 \times 9,8 \times (129,3 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{pS} = f_s \times 57799,83 \times Q^2$$

✓ para a tubulação de recalque com diâmetro de 4":

Tubulação de recalque	Nome da singularidade	Comprimentos equivalentes em m
6	saída da bomba	0
7	válvula de retenção tipo leve	8.4
8	válvula globo	34
9	cotovêlo de 90 ⁰	3,76
10	tê de saída de lado	5,49
11	cotovêlo de 90 ⁰	3,76
12	entrada normal	1,6

Sabe-se também que o seu comprimento é 40 m, portanto:

$$H_{p,R} = f_R \times \frac{(40 + 57,01)}{0,1023} \times \frac{Q^2}{2 \times 9,8 \times (82,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p,R} = f_R \times 717791,79 \times Q^2$$

Com as informações anteriores escreve-se a equação da CCI (Curva Característica da Instalação):

$$H_{\text{sistema}} = 49,6 + f_s \times 57799,83 \times Q^2 + f_R \times 717791,79 \times Q^2$$

3. Obter o ponto de trabalho considerando que a instalação irá operar com a bomba centrífuga tipo KSB MEGANORM tamanho 50-160 com rotação de 3500 rpm;

Como foram fornecidas várias curvas para a bomba em questão, isto em função do tamanho do seu rotor, inicialmente deve-se procurar especificá-lo, para isto evoca-se a condição: "para a escolha do diâmetro do rotor deve-se considerar que: $Q_{\text{ponto de trabalho}} \geq 1,1 \times Q_{\text{desejada}}$, onde a vazão desejada é

$$45 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ portanto: } Q_{\text{ponto de trabalho}} \geq 49,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}.$$

Considerando a vazão de $50 \text{ m}^3/\text{h}$, tem-se:

$$\checkmark f_s = 0,021853$$

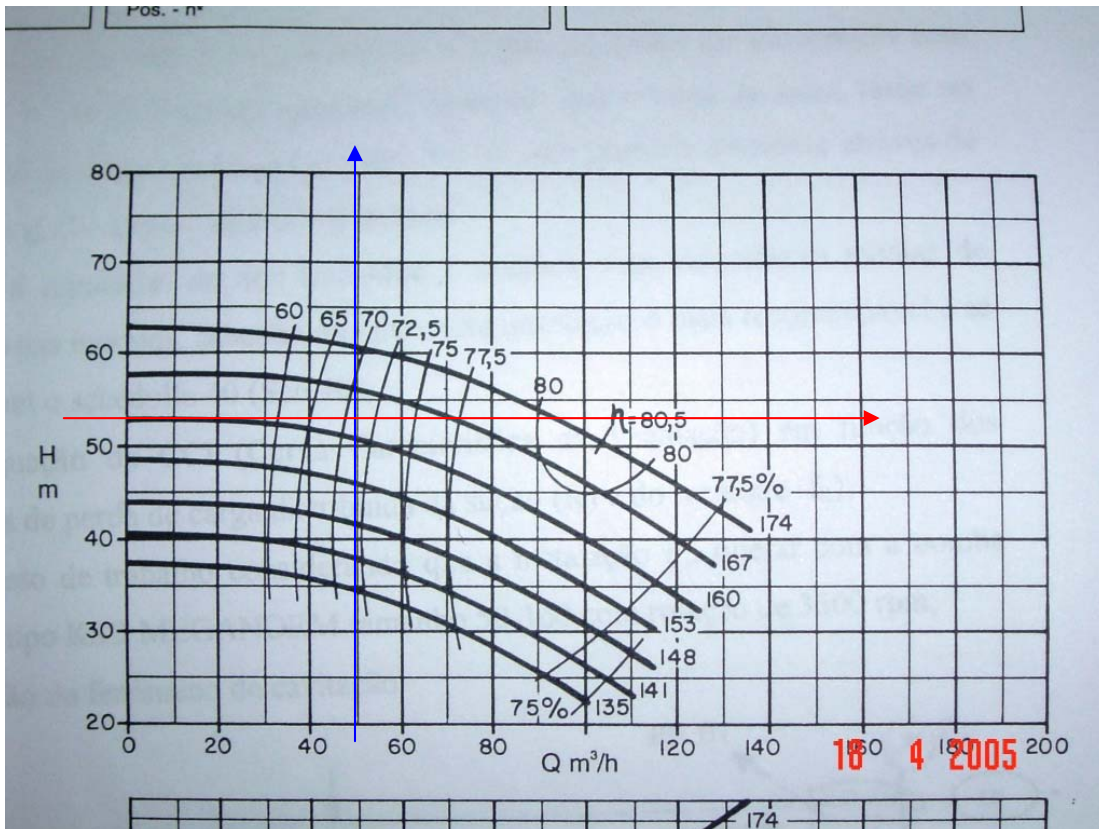
$$\checkmark f_r = 0,022617$$

Com os valores anteriores na equação da CCI, tem-se:

$$H_{\text{sistema}} = 49,6 + 0,021853 \times 57799,83 \times \left(\frac{50}{3600}\right)^2 + 0,022617 \times 717791,79 \times \left(\frac{50}{3600}\right)^2$$

$$H_{\text{sistema}} \cong 53 \text{ m}$$

Com a vazão de 50 m³/h e com a carga manométrica de 53 m nas curvas fornecidas pelo fabricante, pode-se escolher o diâmetro de rotor adequado:

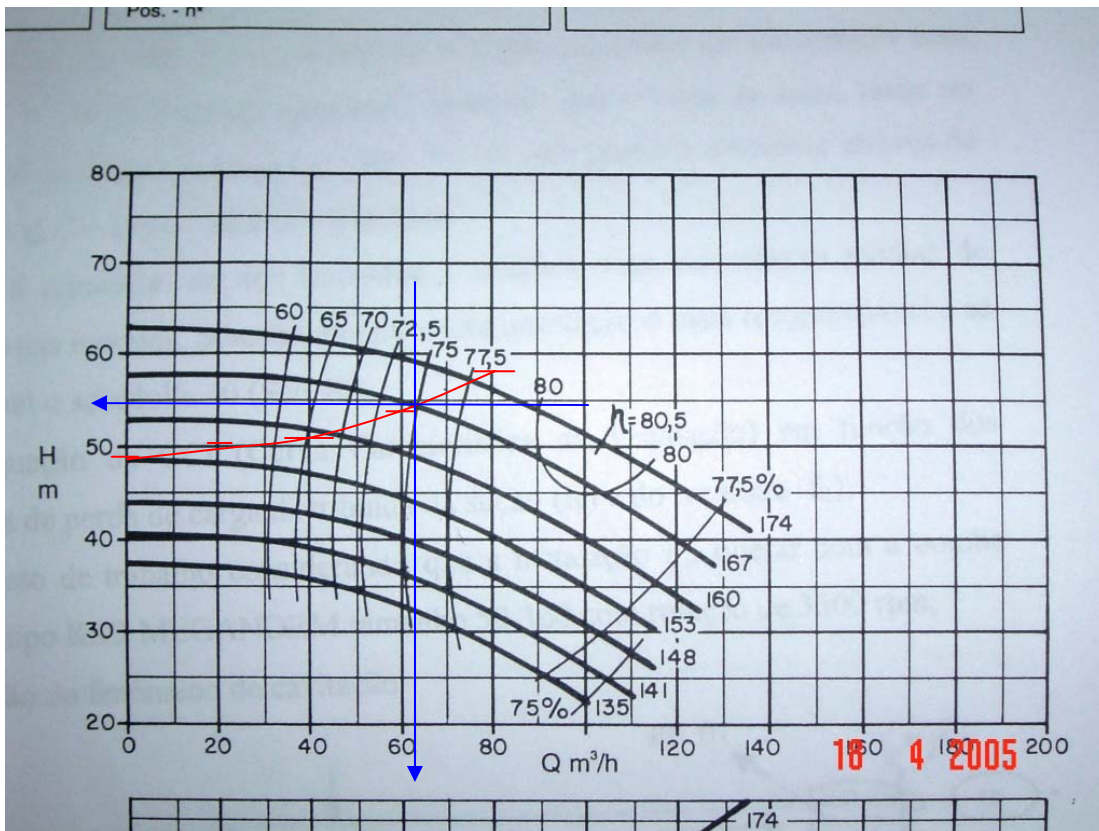


Portanto, pode-se optar pela bomba de diâmetro de rotor 167 mm, já que certamente o ponto de trabalho nela atenderá as condições estabelecidas para a vazão e carga manométrica.

Para se estabelecer o ponto de trabalho deve-se traçar a CCI, para tal recorre-se a tabela a seguir:

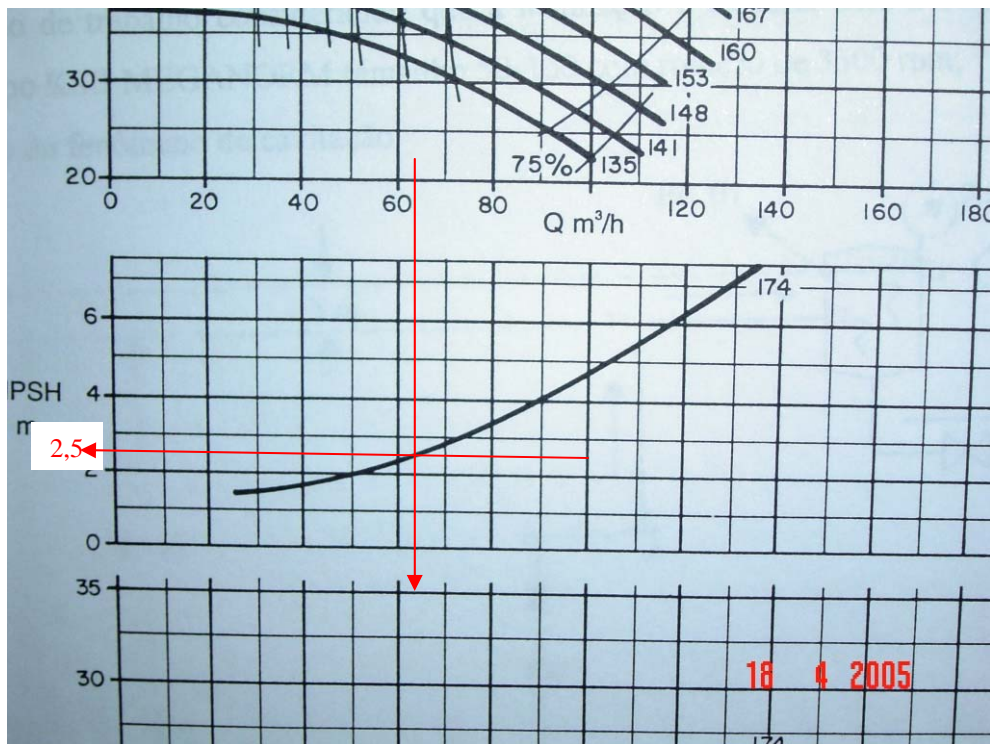
Q (m³/h)	Hs (m)		fs	fr
0	49,6		0	0
10	49,8		0,0258	0,025694
20	50,2		0,023574	0,023915
30	50,8		0,022669	0,023222
40	51,8		0,02217	0,02285
50	53,0		0,021853	0,022617
60	54,4		0,021633	0,022457
70	56,1		0,021471	0,022341
80	58,1		0,021347	0,022252
90	60,3		0,021248	0,022182
100	62,8		0,021168	0,022126
110	65,5		0,021102	0,022079
120	68,5		0,021047	0,02204

Os valores marcados em amarelo é que foram utilizados para se determinar o ponto de trabalho:



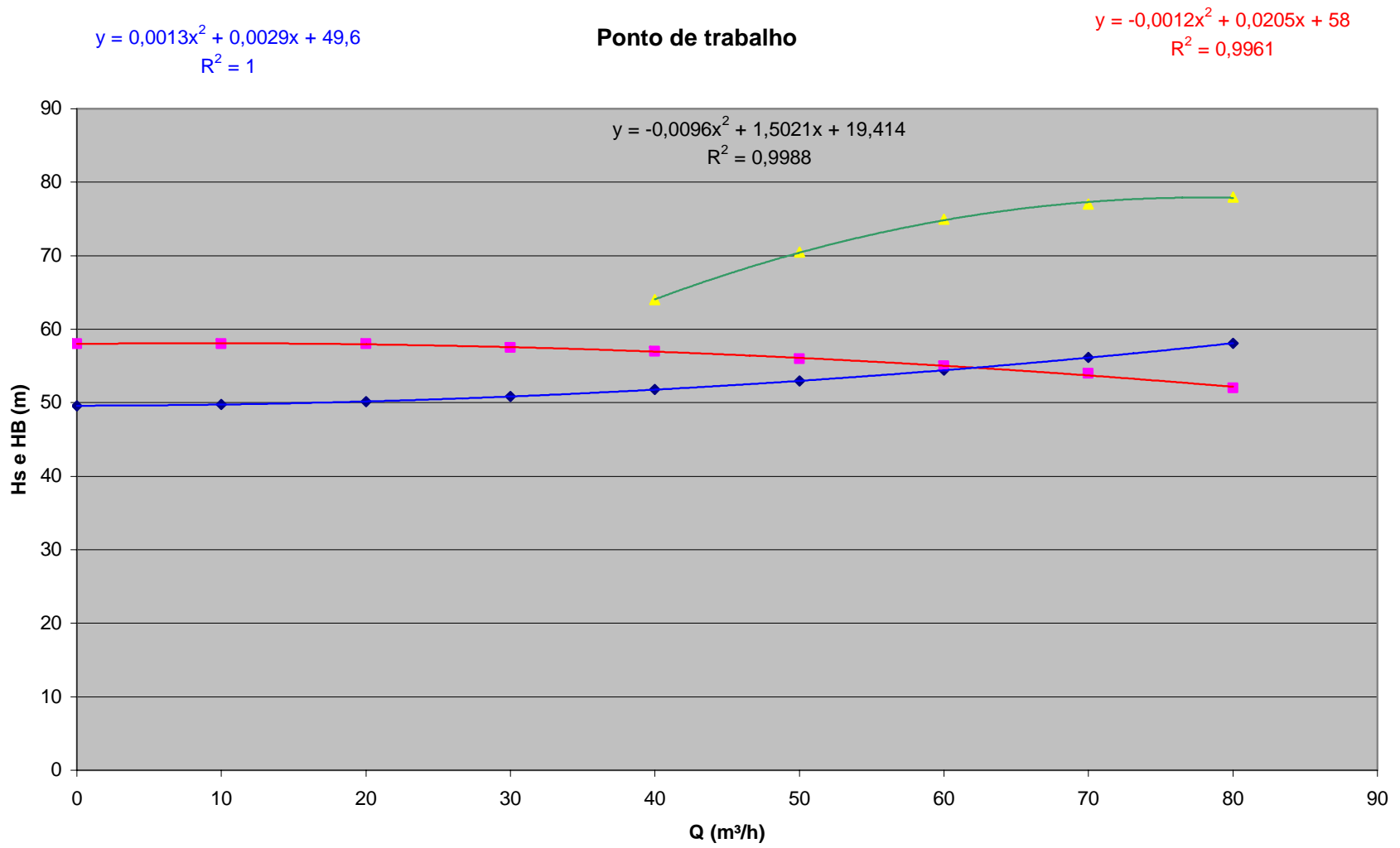
Para a situação descrita pelo gráfico acima, obtém o seguinte ponto de trabalho:

- ✓ vazão do ponto de trabalho $\approx 62 \text{ m}^3/\text{h}$
- ✓ carga manométrica $\approx 54,5 \text{ m}$
- ✓ rendimento $\approx 75\%$
- ✓ $\text{NPSH}_{\text{requerido}} \approx 2,5 + 0,5 = 3,0 \text{ m}$



Só para confirmar os valores anteriores pode-se trabalhar com a tabela em uma planilha Excel:

Q (m³/h)	Hs (m)	HB (m)	η_B (%)
0	49,6	58	
10	49,8	58,0	
20	50,2	58,0	
30	50,8	57,5	
40	51,8	57,0	64
50	53,0	56,0	70,5
60	54,4	55,0	75
70	56,1	54,0	77
80	58,1	52,0	78



Através dos diagramas anteriores obtidos no Excel, tem-se:

$$0,0013Q^2 + 0,0029Q + 49,6 = -0,0012Q^2 + 0,0205Q + 58$$

$$(0,0013 + 0,0012)Q^2 + (0,0029 - 0,0205)Q + 49,6 - 58 = 0$$

$$0,0025Q^2 - 0,0176Q - 8,4 = 0$$

$$Q = \frac{0,0176 \pm \sqrt{(-0,0176)^2 + 4 \times 0,0025 \times 8,4}}{2 \times 0,0025}$$

$$\therefore Q = 61,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ e } Q' = -54,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{que pelo fato de ser negativa não se torna viável}$$

Com a vazão anterior determina-se, tanto a carga manométrica como a vazão:

$$H_B = H_{\text{sistema}} = 0,0013 \times (61,6)^2 + 0,0029 \times 61,6 + 49,6 = 54,7 \text{ m}$$

$$\eta_B = -0,0096 \times (61,6)^2 + 1,5021 \times 61,6 + 19,414 \cong 75,5\%$$

As respostas anteriores comprovam que as leituras feitas no cruzamento da CCI com a CCB, foram bem razoáveis.

4. Verificação do fenômeno de cavitação.

Para esta verificação há a necessidade de se determinar o NPSH disponível, ou seja:

$$\text{NPSH}_{\text{disponível}} = Z_{\text{inicial}} + \frac{P_{\text{inicial abs}}}{\gamma} - \frac{P_{\text{vapor}}}{\gamma} - H_{\text{ps}}, \text{ onde:}$$

✓ $Z_{\text{inicial}} \rightarrow$ é obtido com PHR no eixo da bomba, portanto: $Z_{\text{inicial}} = -3 \text{ m}$;

✓ $P_{\text{inicial abs}} \rightarrow$ é obtida na tabela II para a altitude de 900 m, portanto:

$$\frac{P_{\text{inicial abs}}}{\gamma} = \frac{9,22 \times 1000 \times 9,8}{996 \times 9,8} = 9,26 \text{ m};$$

✓ p_{vapor} → é obtida na tabela I para a temperatura de escoamento igual a

$$30^{\circ}\text{C}: \frac{p_{\text{vapor}}}{\gamma} = \frac{31,5 \times 13,6}{996} \cong 0,43 \text{ m};$$

✓ H_{ps} → é calculada para a vazão do ponto de trabalho, ou seja $62 \text{ m}^3/\text{h}$, porém o coeficiente de perda de carga distribuída será adotado para $60 \text{ m}^3/\text{h}$, isto porque para esta vazão ele será maior e desta forma se trabalha com um pouco mais de segurança:

$$H_{\text{ps}} = 0,021633 \times 57799,83 \times \left(\frac{62}{3600}\right)^2 \cong 0,38 \text{ m}$$

Portanto: $\text{NPSH}_{\text{disponível}} = -3 + 9,26 - 0,43 - 0,38 = 5,45 \text{ m}$

Como o $\text{NPSH}_{\text{disponível}}$ é maior que o $\text{NPSH}_{\text{requerido}}$ pode-se afirmar que não ocorre o fenômeno de cavitação e que: Reserva contra a cavitação = $5,45 - 3 = 2,45 \text{ m}$.