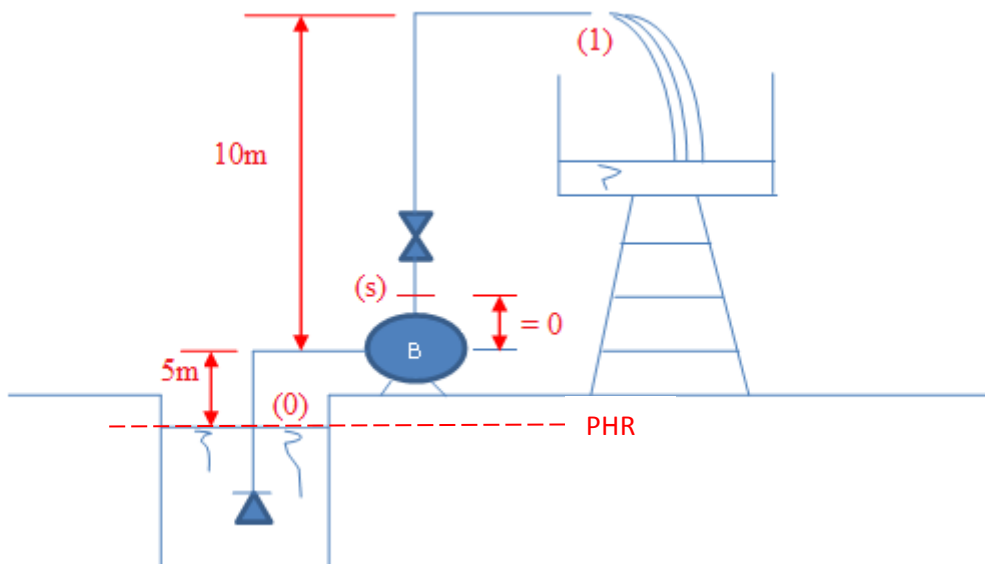


1ª Questão:

Diâmetro nominal de 3" aço 80: $D_{int} = 73,6 \text{ mm}$ e $A = 42,6 \text{ cm}^2$

Situação 1:



$$H_0 + H_s = H_1 + H_{p_{0-1}}$$

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + H_s = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times v_1^2}{2g} + H_{p_{0-1}}$$

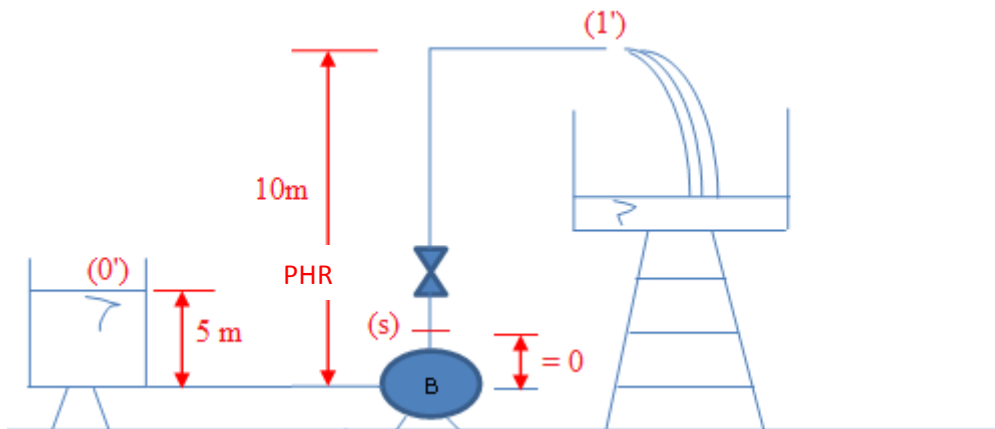
$$0 + 0 + 0 + H_s = 15 + 0 + \frac{1 \times v_1^2}{19,6} + 5 \times \frac{v_1^2}{19,6} = 15 + 6 \times \frac{v_1^2}{19,6} = 15 + \frac{6 \times Q^2}{19,6 \times (42,6 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_s = 15 + 16868,5 \times Q^2 \Rightarrow [H_s] = \text{m} \rightarrow [Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow (0,5)$$

$$15 + 16868,5 \times Q^2 = 30 - 0,403213 \times 10^6 \times Q^2 \therefore 420081,5 \times Q^2 = 15 \Rightarrow Q_\tau = \sqrt{\frac{15}{420081,5}}$$

$$Q_\tau \cong 5,98 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 5,98 \frac{\text{L}}{\text{s}} \Rightarrow (0,5)$$

Situação 2:



$$H_{0'} + H_s = H_{1'} + H_{p_{0-1}}$$

$$z_{0'} + \frac{p_{0'}}{\gamma} + \frac{v_{0'}^2}{2g} + H_s = z_{1'} + \frac{p_{1'}}{\gamma} + \frac{\alpha_{1'} \times v_{1'}^2}{2g} + H_{p_{0-1}}$$

$$0 + 0 + 0 + H_s = 5 + 0 + \frac{1 \times v_{1'}^2}{19,6} + 5 \times \frac{v_{1'}^2}{19,6} = 5 + 6 \times \frac{v_{1'}^2}{19,6} = 5 + \frac{6 \times Q^2}{19,6 \times (42,6 \times 10^{-4})^2}$$

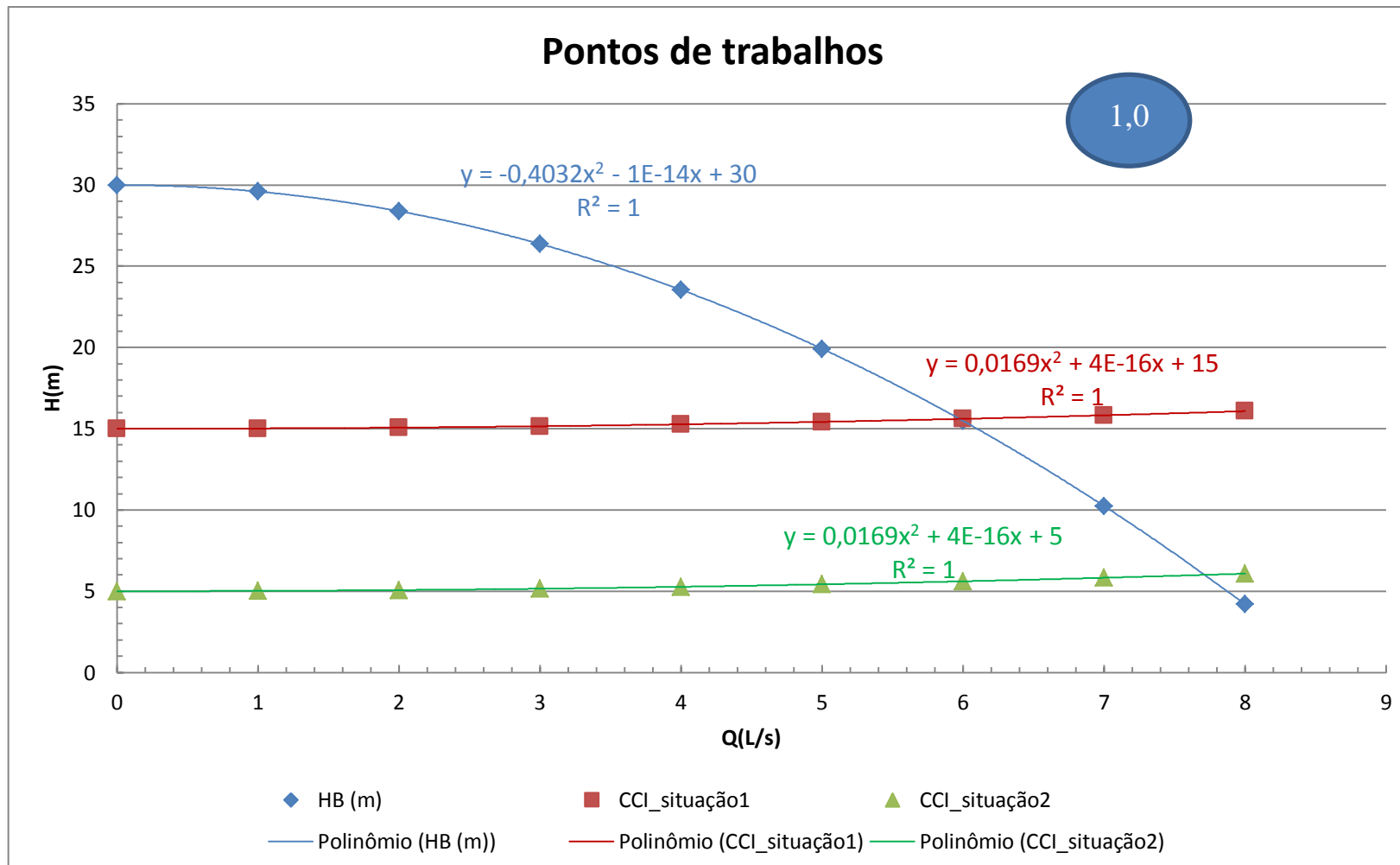
$$H_s = 5 + 16868,5 \times Q^2 \Rightarrow [H_s] = m \rightarrow [Q] = \frac{m^3}{s} \Rightarrow (0,5)$$

$$5 + 16868,5 \times Q^2 = 30 - 0,403213 \times 10^6 \times Q^2 \therefore 420081,5 \times Q^2 = 25 \Rightarrow Q_\tau = \sqrt{\frac{25}{420081,5}}$$

$$Q_\tau \cong 7,72 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 7,72 \frac{L}{s} \Rightarrow (0,5)$$

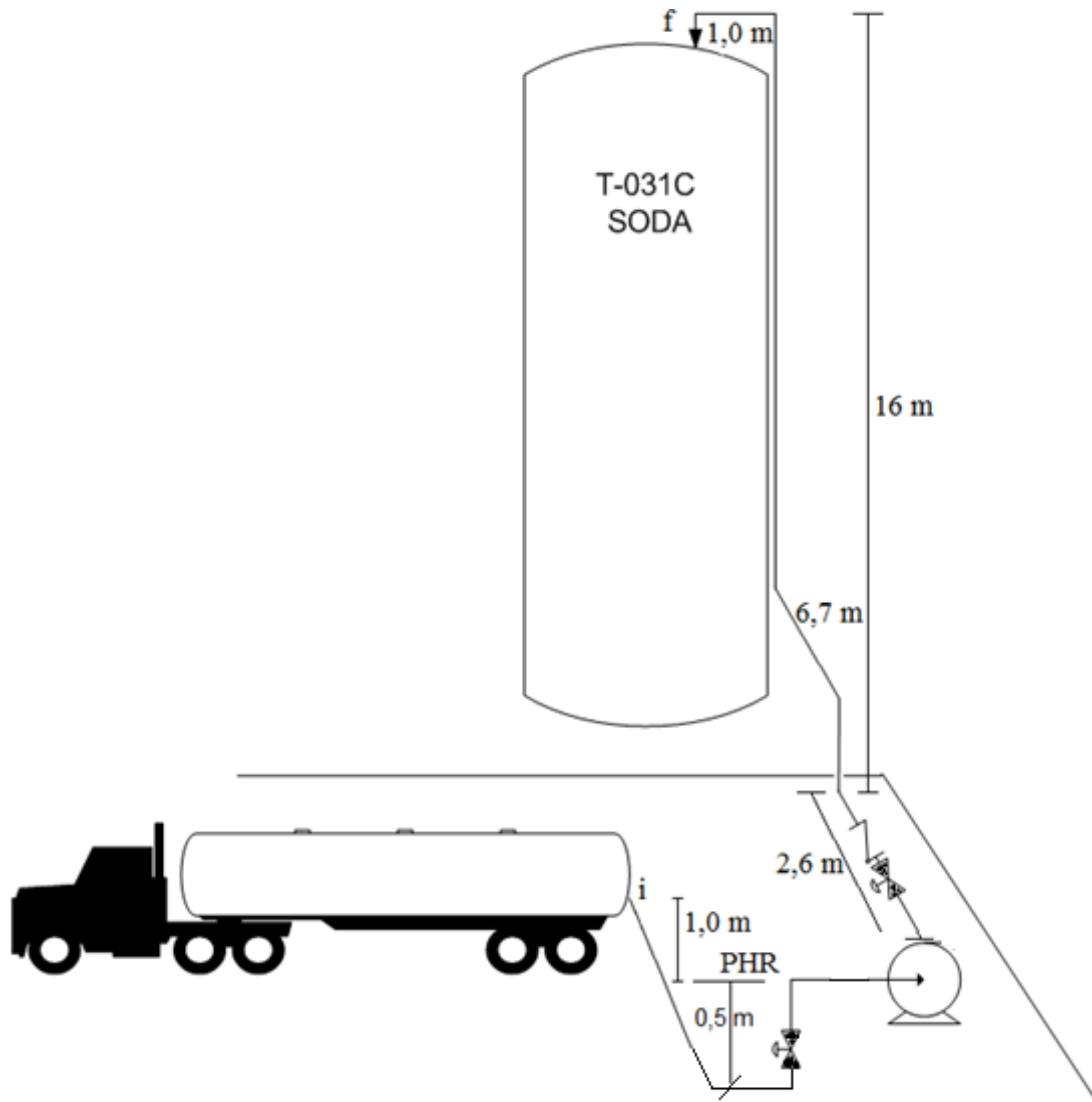


A diferença entre as vazões é originada pela diferença das cargas estáticas como mostrado no gráfico a seguir.



2ª Questão:

- 1) Montar a curva característica da instalação CCI (desconsiderar o comprimento do mangote que liga no caminhão) (valor – 1,0)



$$\mathbf{H_i + H_S = H_f + H_{Ptotal}}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} + \mathbf{H_S} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

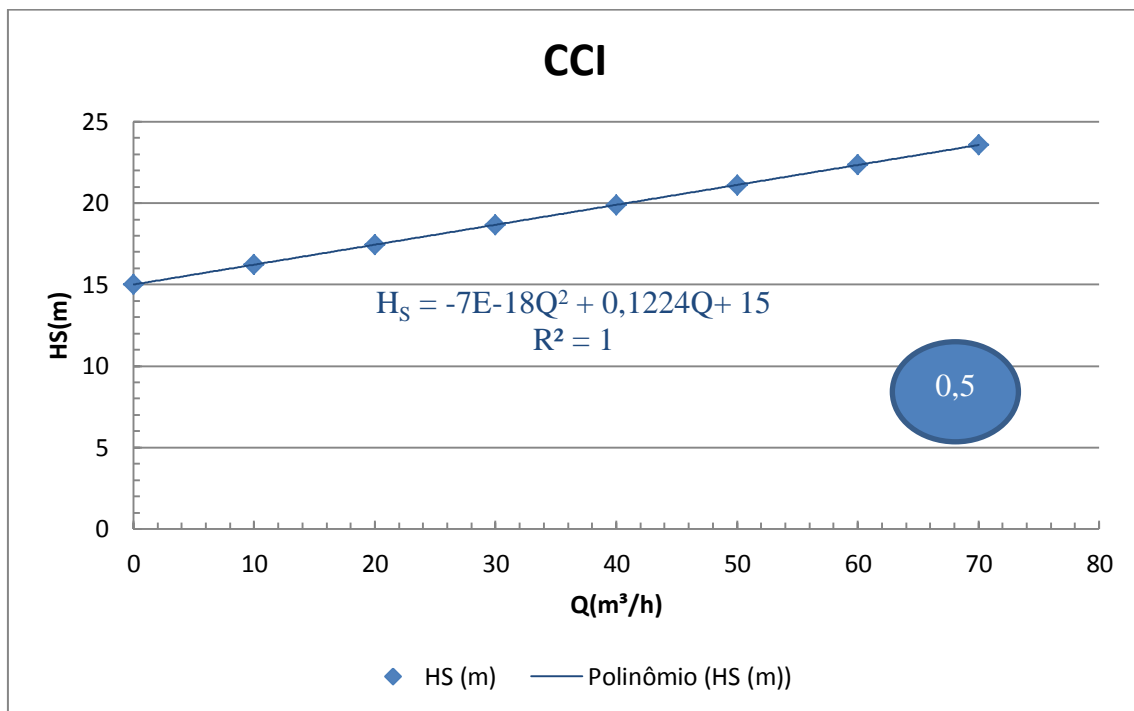
Considerando a existência de respiros, tanto no caminhão como no reservatório de armazenamento e considerando o nível constante em (i) e (f), temos:



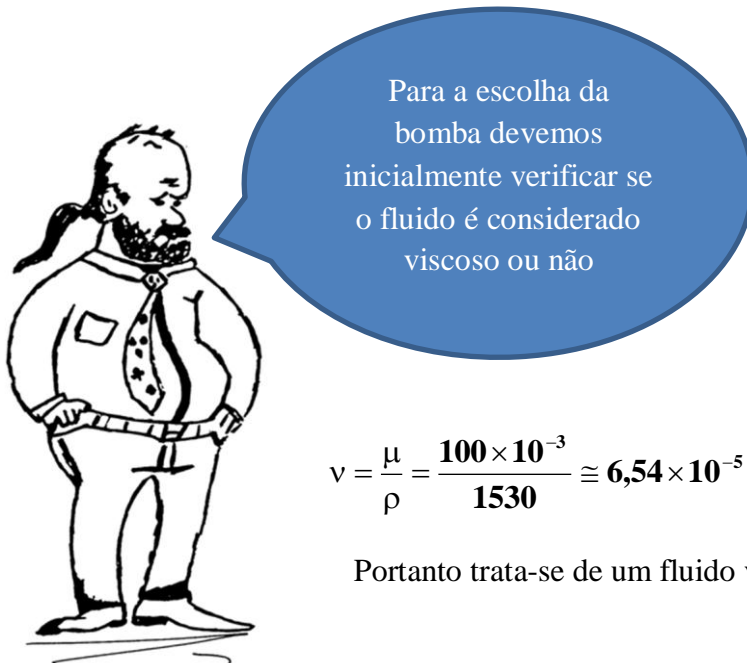
$$1 + 0 + 0 + H_s = 16 + 0 + 0 + f \times \frac{(22,8 + 154,54)}{0,1023} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_s = 15 + f \times 1312165,8 \times Q^2 \Rightarrow (0,5) \rightarrow [H_s] = m \rightarrow [Q] = \frac{m^3}{s}$$

Q (m³/h)	Q(m³/s)	v (m/s)	Re	f	H _s (m)
0	0	0			15
10	0,00278	0,338	529,6	0,121	16,2
20	0,00556	0,677	1059,1	0,0604	17,4
30	0,00833	1,0	1588,7	0,0403	18,7
40	0,0111	1,4	2118,3	0,0302	19,9
50	0,0139	1,7	2647,8	0,0242	21,1
60	0,0167	2,0	3177,4	0,0201	22,3
70	0,0194	2,4	3707,0	0,0173	23,6



- 2) Calcular qual deve ser a bomba utilizada para descarregar a soda para uma vazão de projeto de 45 m³/h. (valor – 1,0)



$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{100 \times 10^{-3}}{1530} \cong 6,54 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 65,4 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Portanto trata-se de um fluido viscoso.

$$Q_{\text{projeto}} = 45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 12,5 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Q (m ³ /h)	Q(m ³ /s)	v (m/s)	Re	f	H _s (m)
45	0,0125	1,5	2383,1	0,0269	20,51

Portanto: **H_{Bprojeto} = 20,6m ≈ 21m**

Com a vazão de projeto e a carga manométrica de projeto obtemos os coeficientes C_Q e C_H e através deles calcula-se a vazão de projeto e a carga manométrica de projeto para a água.

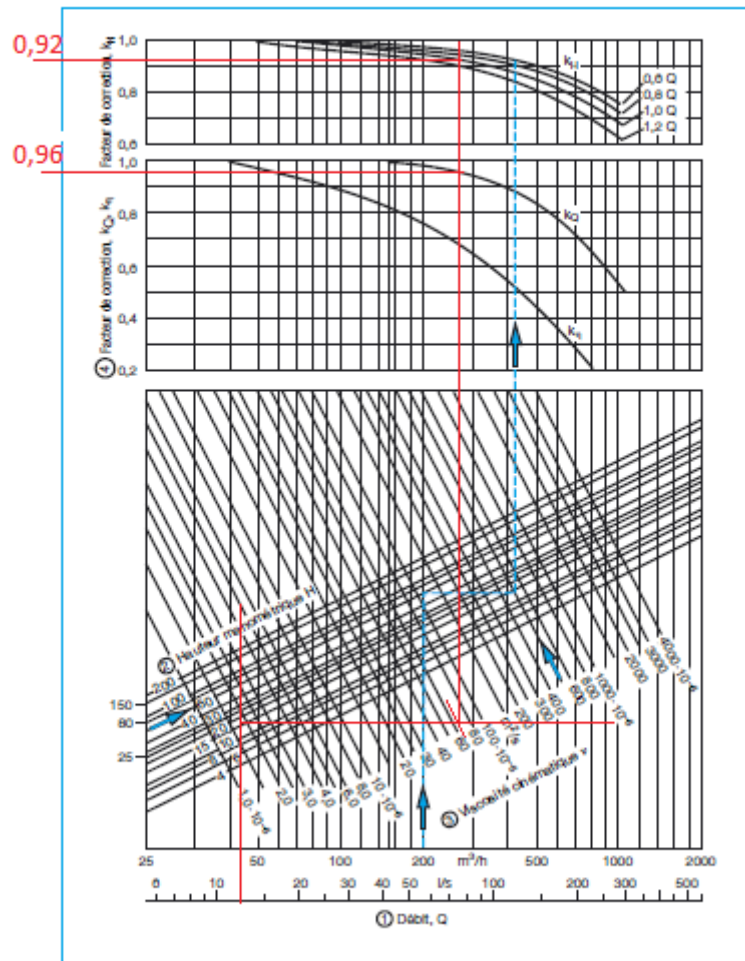
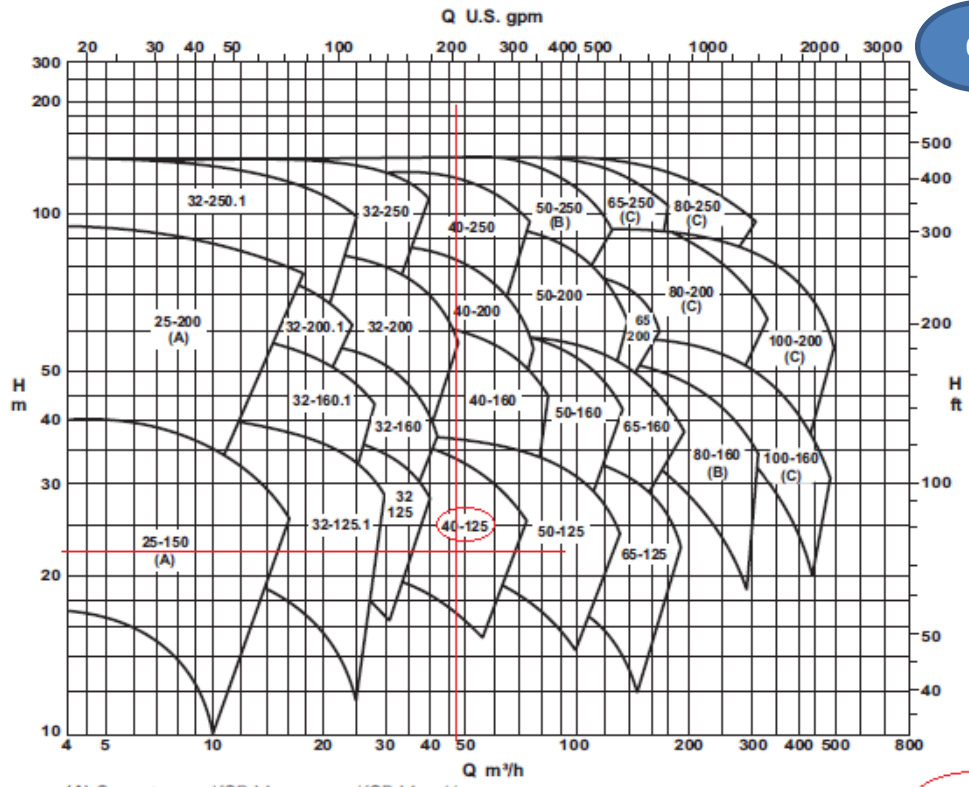


Figure 49 : Détermination des facteurs de correction, k, selon les normes de l'Hydraulic Institute.
Exemple illustré : $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 57,5 \text{ m}$, $\nu = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$0,96 = \frac{45}{Q_{\text{projeto_água}}} \therefore Q_{\text{projeto_água}} \cong 47 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$0,92 = \frac{20,6}{H_{\text{B}_{\text{projeto_água}}}} \therefore H_{\text{B}_{\text{projeto_água}}} \cong 22,4\text{m}$$

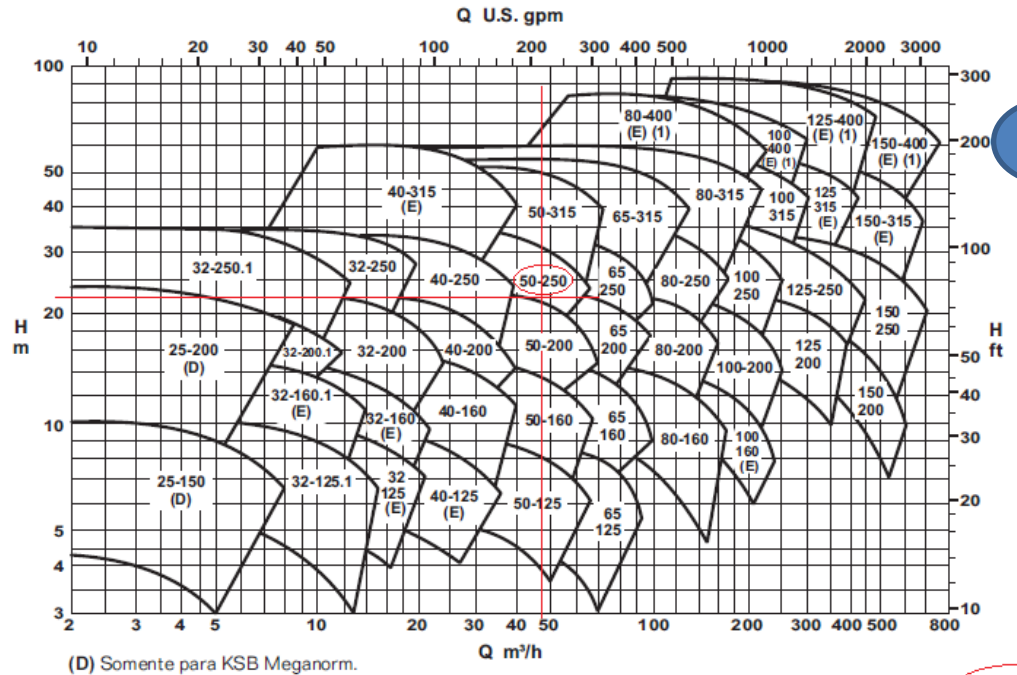
Considerando o catálogo da KSB MEGANORM, MEGABLOC, MEGACHEM e MEGACHEM V, temos as escolhas das bombas representadas nos diagramas a seguir:



0,5

- (A) Somente para KSB Meganorm e KSB Megabloc.
- (B) Somente para KSB Meganorm, KSB Megachem e KSB Megachem V.
- (C) Somente para KSB Meganorm e KSB Megachem.

3.500 rpm



0,5

- (D) Somente para KSB Meganorm.
- (E) Somente para KSB Meganorm e KSB Megachem.
- (1) Sob consulta para KSB Megachem V.

1.750 rpm

3) Verificar o fenômeno de cavitação. (valor – 1,0)



Para fazer esta verificação o ponto de trabalho deve ser determinado. Para este caso, como o escoamento é laminar tem-se a CCI representada por uma reta e a verificação da cavitação feita para a água.

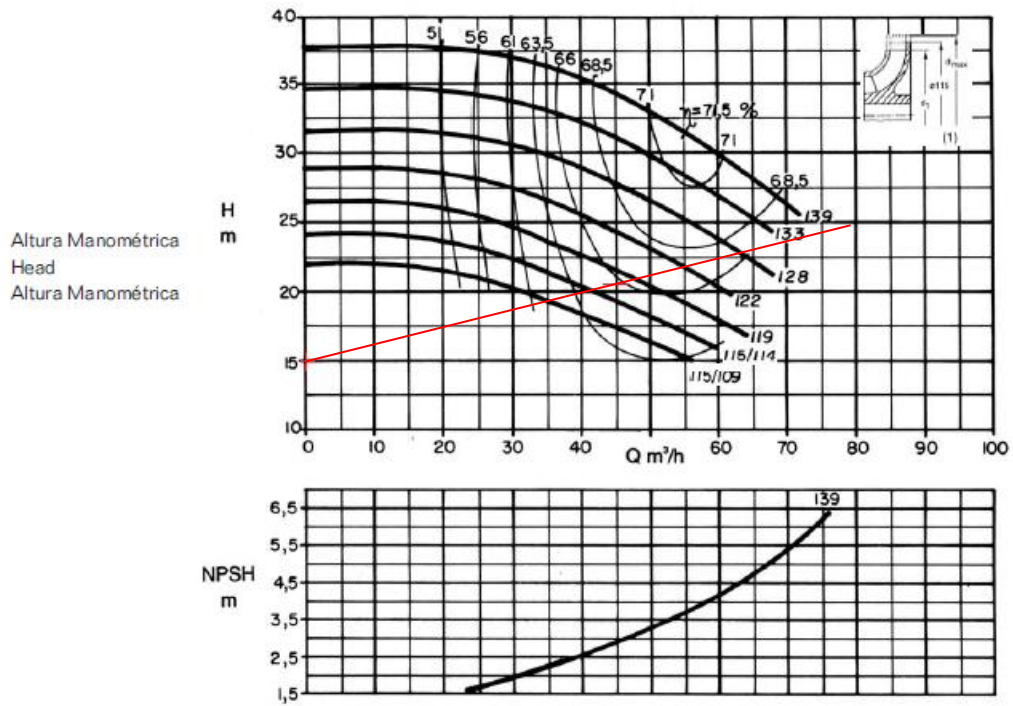
$$H_s = 0,1224Q + 15 \rightarrow R^2 = 1 \rightarrow [H_s] = m \rightarrow [Q] = \frac{m^3}{h}$$

Q(m ³ /h)	0	45
H _s (m)	15	20,5

Com os valores acima obtemos o NPSH_{req} para a água. Apresento a seguir a solução para a bomba de 3500 rpm.



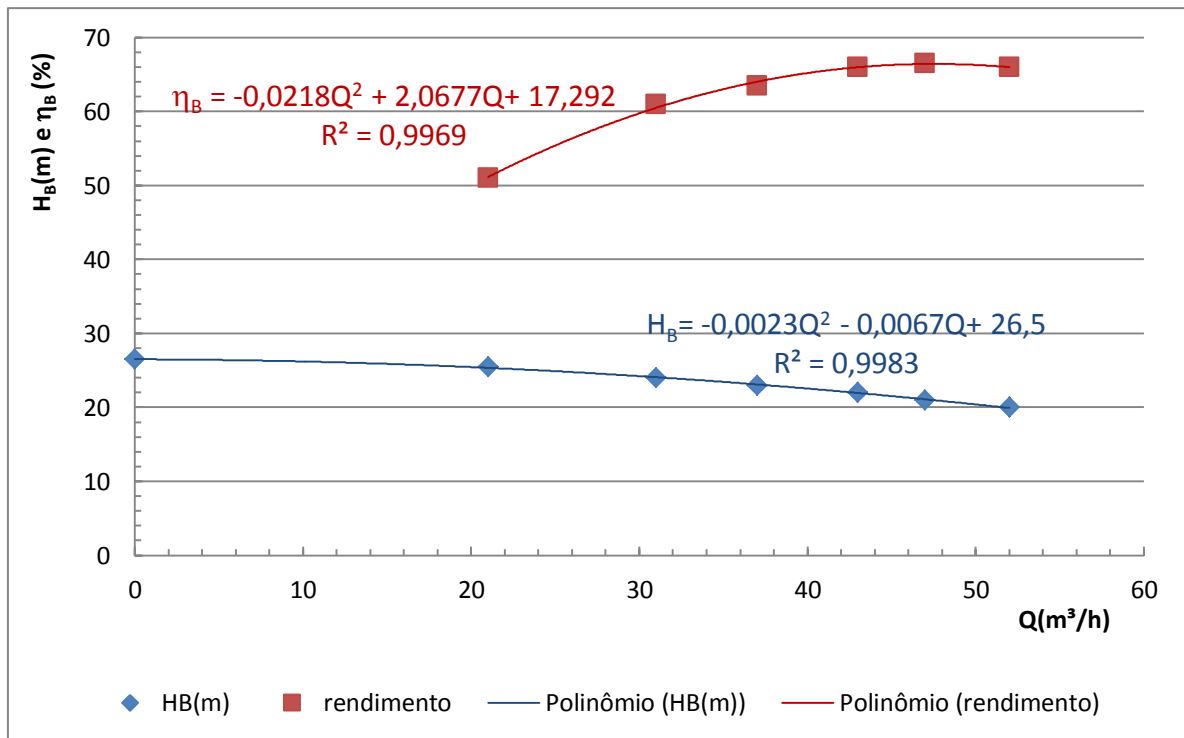
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	40-125	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	



Optando pela bomba de 119 mm de diâmetro do rotor, temos para a água:

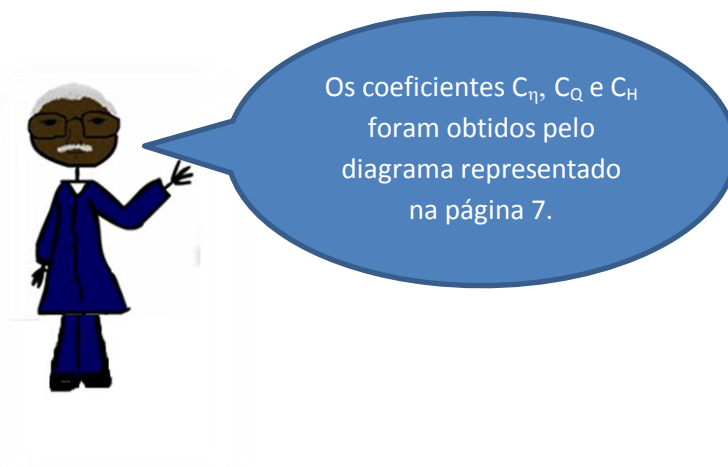
Q (m ³ /h)	0	21	31	37	43	47	52
H _B (m)	26,5	25,5	24	23	22	21	20
η _B (%)		51	61	63,5	66	66,5	66

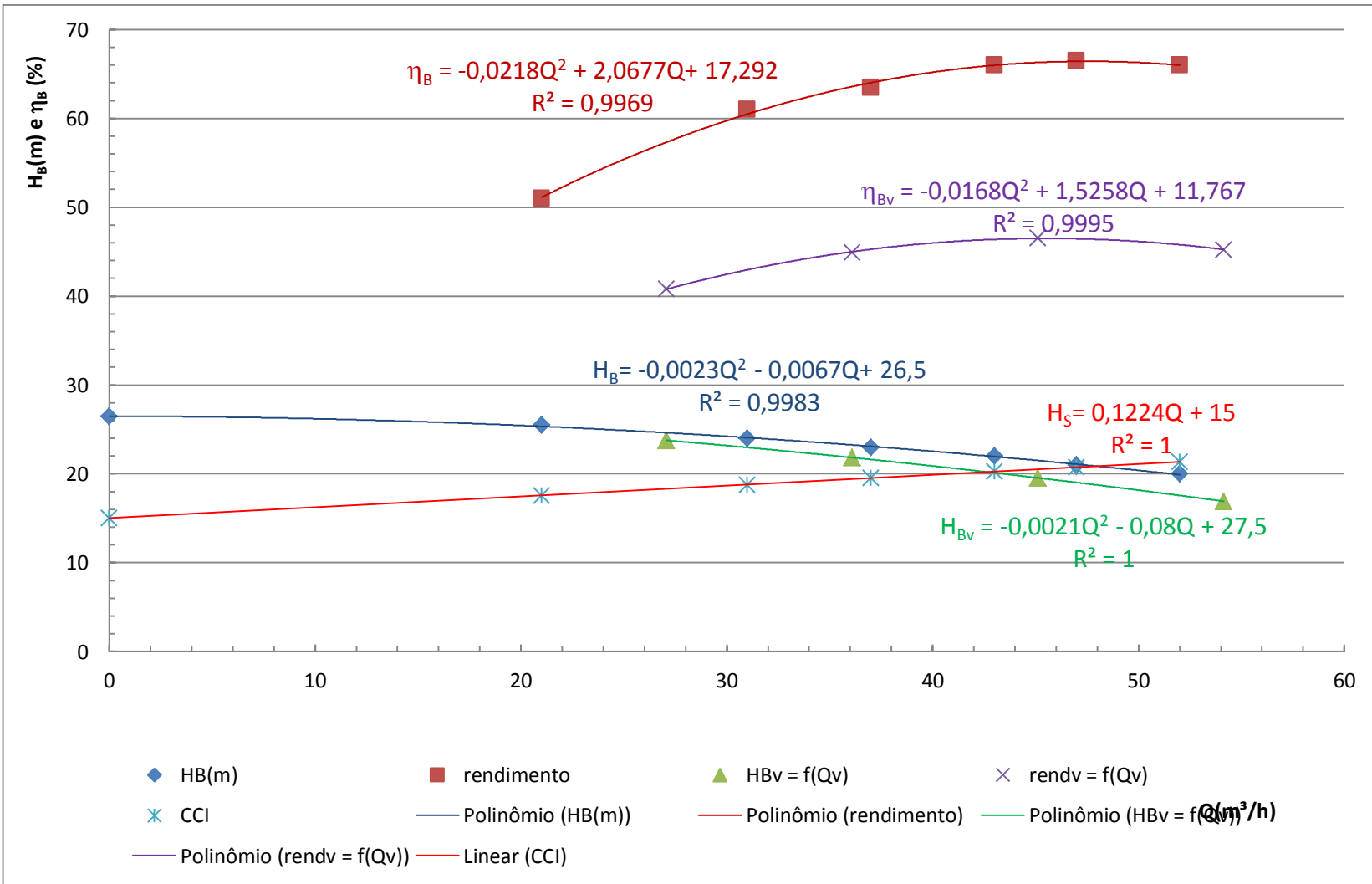
Com a tabela anterior podemos através do Excel obter:



O que nos permite preencher a tabela a seguir:

	0,6Q	0,8Q	1,0Q	1,2Q
Q(m ³ /h)	28,2	37,6	47	56,4
H _B (m)	24,5	23	21	18,8
η _B (%)	58,3	64,2	66,5	64,6
C _η	0,7	0,7	0,7	0,7
C _Q	0,96	0,96	0,96	0,96
C _H	0,97	0,95	0,93	0,90
Q _v (m ³ /h)	27,072	36,096	45,12	54,144
H _{Bv} (m)	23,765	21,85	19,53	16,92
η _{Bv} (%)	40,81	44,94	46,55	





Só observando os diagramas anteriores já poderíamos concluir que o rotor de 119 mm não é o adequado, porém vamos comprovar isto.

$$-0,0021Q^2 - 0,008Q + 27,5 = 0,1224Q + 15$$

$$0,0021Q^2 = 0,2024Q - 12,5 =$$

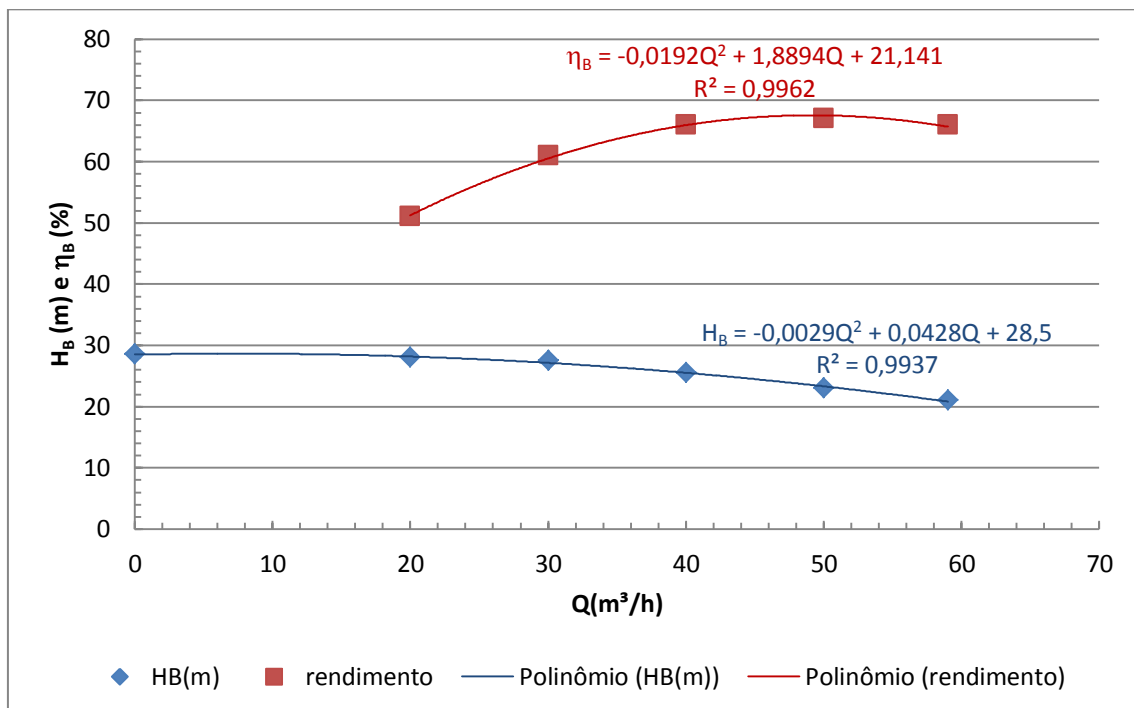
$$Q_{\tau} = \frac{-0,02024 + \sqrt{0,2024^2 + 4 \times 0,0021 \times 12,5}}{2 \times 0,0021} \cong 42,8 \frac{m^3}{h}$$

A vazão no ponto de trabalho é insuficiente já que queríamos 45 m³/h, portanto a bomba de rotor 119 mm não é adequada, daí escolhermos o rotor de 122 mm.

Optando pela bomba de 122 mm de diâmetro do rotor, temos para a água:

Q (m ³ /h)	0	20	30	40	50	59
H _B (m)	28,5	28	27,5	25,5	23	21
η _B (%)		51	61	66	67	66

Com a tabela anterior podemos através do Excel obter:



O que nos permite preencher a tabela a seguir:

	0,6Q	0,8Q	1,0Q	1,2Q
Q(m ³ /h)	30	40	50	60
H _B (m)	27,5	25,5	23	20,6
η _B (%)	61	66	67	65,4
C _η	0,70	0,70	0,70	0,70
C _Q	0,965	0,965	0,965	0,965
C _H	0,96	0,94	0,92	0,9
Q _v (m ³ /h)	28,95	38,6	48,25	57,9
H _{Bv} (m)	26,4	23,97	21,16	18,54
η _{Bv} (%)	42,7	46,2	46,9	45,78

Influence sur les courbes caractéristiques de la pompe - Facteurs de correction

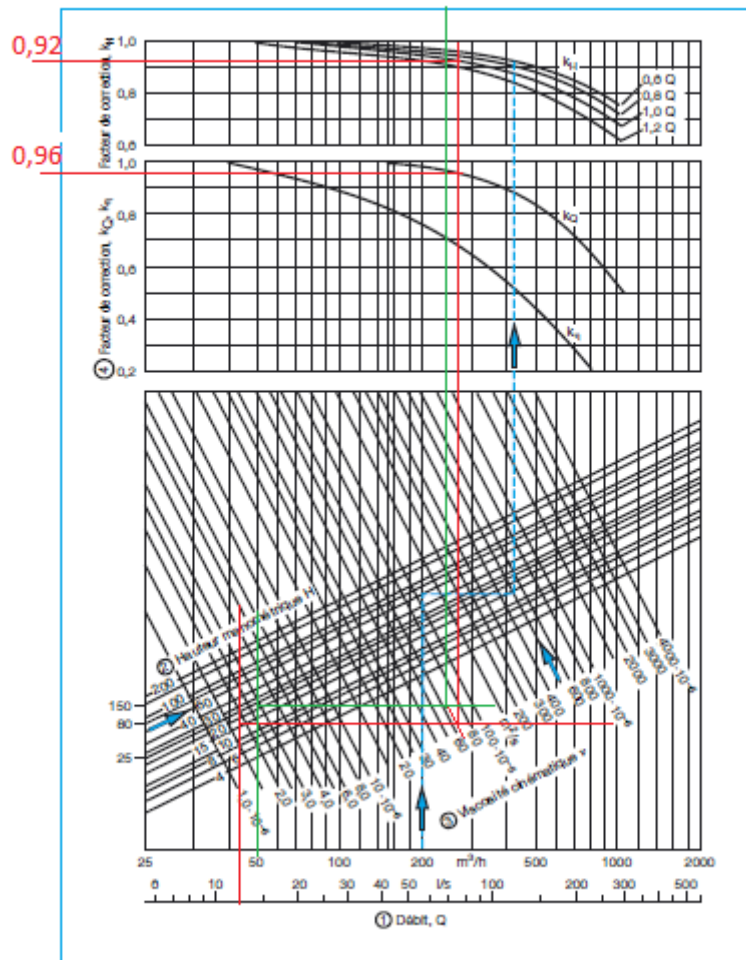
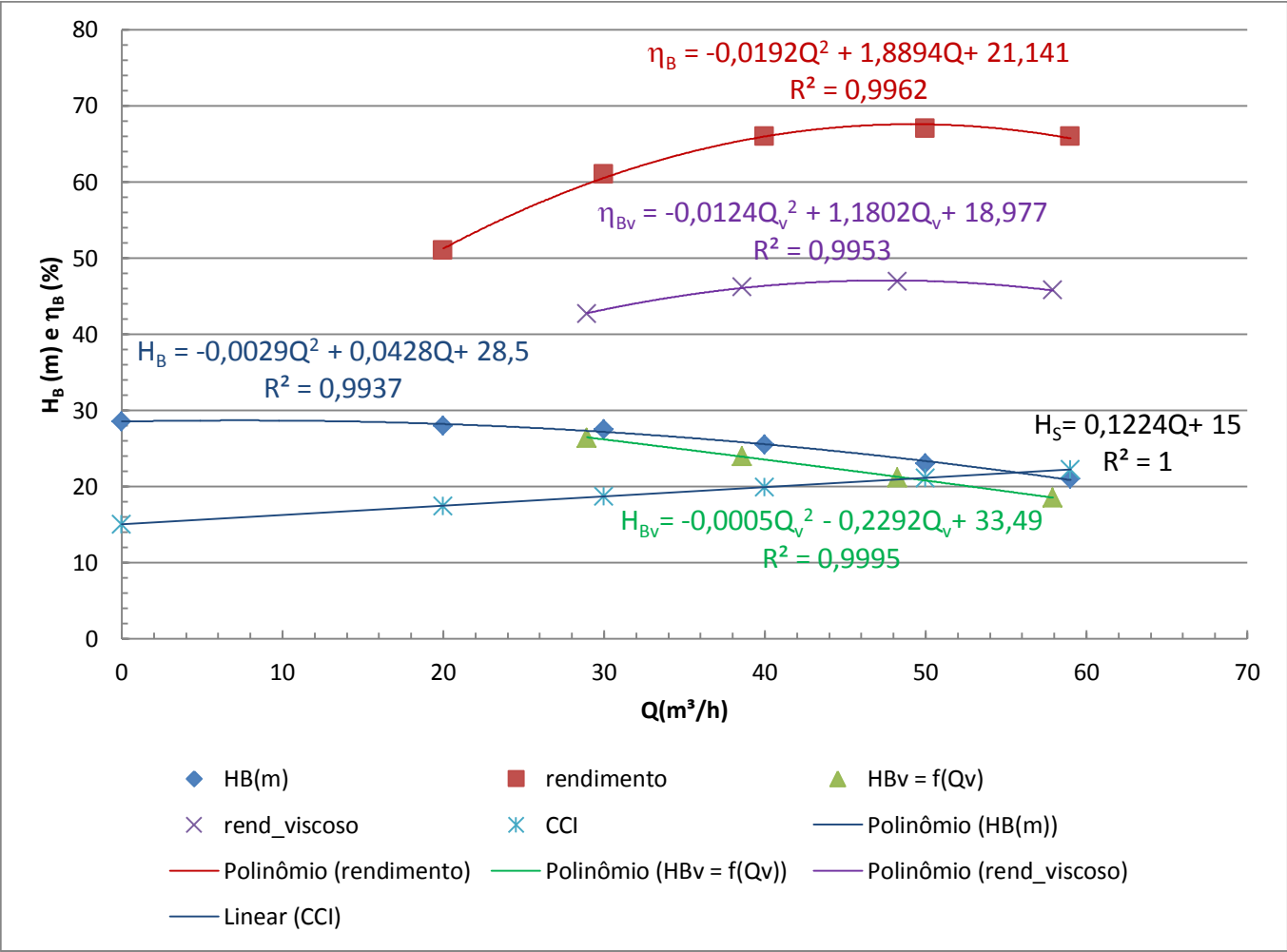


Figure 49 : Détermination des facteurs de correction, k, selon les normes de l'Hydraulic Institute.
Exemple illustré : Q = 200 m³/h, H = 57,5 m, v = 500 · 10⁻⁶ m²/s



Determinação da vazão no ponto de trabalho:

$$-0,0005Q^2 - 0,2292Q + 33,49 = 0,1224Q + 15$$

$$0,0005Q^2 + 0,3516Q - 18,49 = 0$$

$$\therefore Q_t = \frac{-0,3516 + \sqrt{0,3516^2 + 4 \times 0,0005 \times 18,49}}{2 \times 0,0005} \cong 49,15 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} > 45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

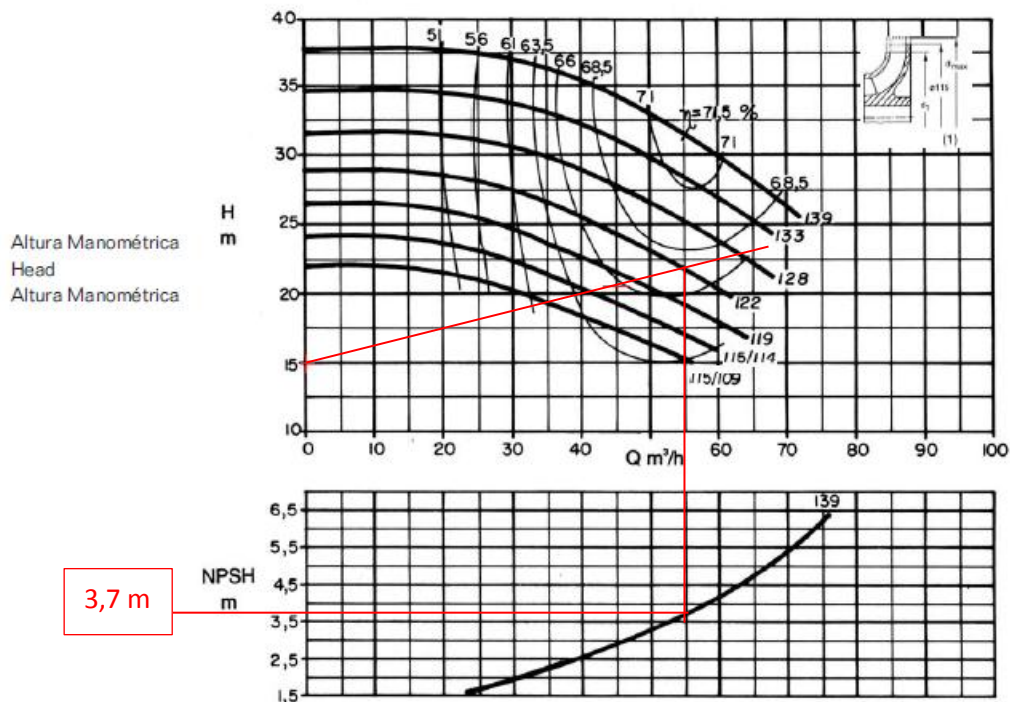
\therefore serve

$$H_{B_t} = 0,1224 \times 49,19 + 15 \cong 21\text{m}$$

A vazão no ponto de trabalho é suficiente já que queríamos 45 m³/h, portanto a bomba de rotor 122 mm é adequada.

No caso da verificação do fenômeno de cavitação vamos considerar a situação para a água, portanto:

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	40-125	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	



Alguém poderia questionar que o diâmetro escolhido foi o de 122 mm e o NPSH_{req} só é fornecido para o diâmetro de 139 mm, portanto como determinar o valor para 122 mm?

Para responder ao questionamento anterior transcrevo a resposta que obtive da KSB Entrando em contato com a KSB, fabricante de bombas hidráulicas, para esclarecimento do porque em muitas CCB só existir a curva do NPSH_{req} para um único diâmetro, recebi a resposta abaixo:

“Prezado Raimundo, a diferença entre os valores de NPSH para os diâmetros mínimos e máximos dos rotores é muito pequena, motivo pelo qual é apresentada apenas a curva com os valores maiores.”

Atenciosamente,
 Paulo Sérgio F. de Vilhena
 Gerente Setorial de Vendas
 Distribuição -Building Service – Irrigação
 KSB Bombas Hidráulicas S.A.
 Fone: (11) 4596-8735
pvilhena@ksb.com.br

A partir deste ponto, calculamos o $NPSH_{\text{disponível}}$, para isto inicialmente devemos determinar o coeficiente de perda de carga distribuída:

Q (m³/h)	Q(m³/s)	v (m/s)	Re	f	H _s (m)
49,15	0,013653	1,7	2602,8	0,0246	21,01

$$NPSH_{\text{disp}} = 1 + \frac{93326 - 1866,6}{1530 \times 9,8} - 0,0246 \times \frac{(3,2 + 52,24)}{102,3 \times 10^{-3}} \times \frac{\left(\frac{49,15}{3600}\right)^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$NPSH_{\text{disp}} \cong 5,2\text{m} \Rightarrow (0,5)$$

Pelos valores lido e calculados nós podemos afirmar que existe uma reserva contra a cavitação adequada, portanto não existe a possibilidade de estar ocorrendo o fenômeno de cavitação, já que:

$$\text{reserva_contra_cavitação} = NPSH_{\text{disponível}} - NPSH_{\text{requerido}}$$

$$\text{reserva_contra_cavitação} = 5,2 - 3,7 = 1,5\text{m} > 0 \therefore \text{sem cavitação} \Rightarrow (0,5)$$

3ª Questão:

Devido a uma expansão da planta química, você está sendo consultado(a) para viabilizar as seguintes situações **especificando a Q e o H_B no ponto de trabalho**:

- alimentar um processo que exige no mínimo uma vazão de 210 m³/h e carga manométrica mínima de 96,6 m; (valor – 2,0)
- alimentar um processo que exige no mínimo uma vazão de 210 m³/h e carga manométrica mínima de 58,2 m. (valor – 2,0)

Iniciamos verificando se o fluido, no caso o isopropanol a 42^oC é considerado viscoso ou não:

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,4 \times 10^{-3}}{768} \cong 1,823 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 1,823 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} < 20 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

portanto o fluido não é considerado viscoso \Rightarrow [0,25]

Vamos verificar o ponto de trabalho para a situação original, ou seja, a bomba operando isoladamente:

$$H_B = 60 + 0,0421 \times Q - 0,0004 \times Q^2 \Rightarrow [H_B] = \text{m} \rightarrow [Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_S = 14 + 14256 \times Q^2 \Rightarrow [H_B] = \text{m} \rightarrow [Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\therefore H_S = 14 + \frac{14256}{3600^2} \times Q^2 = 14 + 1,1 \times 10^{-3} \times Q^2 \Rightarrow [H_B] = \text{m} \rightarrow [Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$60 + 0,0421 \times Q - 0,0004 \times Q^2 = 14 + 1,1 \times 10^{-3} \times Q^2$$

$$1,5 \times 10^{-3} \times Q^2 - 0,0421 \times Q - 46 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{0,0421 + \sqrt{0,0421^2 + 4 \times 46 \times 1,5 \times 10^{-3}}}{2 \times 1,5 \times 10^{-3}} \cong 189,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow (0,5)$$

$$H_{B\tau} = 14 + 1,1 \times 10^{-3} \times 189,7^2 \cong 53,6\text{m} \Rightarrow (0,5)$$

Portanto o projeto original não atende nem a situação (1) e nem a (2). **(0,25)**

Como existe a possibilidade da associação em série e paralelo, vamos obter o ponto de trabalho para estas possibilidades.

Associação em série

$$H_{Bas} = 2 \times H_B = 2 \times (60 + 0,0421Q - 0,0004Q^2) = 120 + 0,0842Q - 0,0008Q^2$$

$$H_{Sas} = 42 + 1,125 \times 1,1 \times 10^{-3} Q^2 = 42 + 1,2375 \times 10^{-3} Q^2$$

$$120 + 0,0842Q - 0,0008Q^2 = 42 + 1,2375 \times 10^{-3} Q^2$$

$$2,0375 \times 10^{-3} Q^2 - 0,0842Q - 78 = 0$$

$$Q_{\tau as} = \frac{0,0842 + \sqrt{0,0842^2 + 4 \times 78 \times 2,0375 \times 10^{-3}}}{2 \times 2,0375 \times 10^{-3}} \cong 217,4 \frac{m^3}{h} \Rightarrow (0,5)$$

$$H_{B\tau as} = 42 + 1,2375 \times 10^{-3} \times 217,4^2 \cong 100,5m \Rightarrow (0,5)$$

Analisando a vazão e a carga manométrica calculadas para a associação em série, constatamos que a vazão atende tanto a situação (1) como a (2) e a carga manométrica também, porém sendo muito grande para a situação (2). (0,25)

Associação em paralelo

$$H_{Bap} = 60 + 0,0421 \times \frac{Q}{2} - 0,0004 \times \frac{Q^2}{4} = 60 + 0,02105 \times Q - 0,0001 \times Q^2$$

$$H_{Sap} = 14 + 0,91 \times 1,1 \times 10^{-3} \times Q^2 = 14 + 1,001 \times 10^{-3} \times Q^2$$

$$60 + 0,02105 \times Q - 0,0001 \times Q^2 = 14 + 1,001 \times 10^{-3} \times Q^2$$

$$1,101 \times 10^{-3} \times Q^2 - 0,02105 \times Q - 46 = 0$$

$$Q_{\tau ap} = \frac{0,02105 + \sqrt{0,02105^2 + 4 \times 46 \times 1,101 \times 10^{-3}}}{2 \times 1,101 \times 10^{-3}} \cong 214,2 \frac{m^3}{h} \Rightarrow (0,5)$$

Portanto a vazão atende também as duas situações, vamos analisar a carga manométrica:

$$H_{B\tau ap} = 14 + 1,001 \times 10^{-3} \times 214,2^2 \cong 59,9m \Rightarrow (0,5)$$

Recomendação: associação série para a situação (1) e associação em paralelo para a situação (2). (0,25)

O sucesso profissional será conquistado por aqueles que souberam construir uma formação sustentável e alicerçada na excelência.

Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio