

Gabarito da P1 de ME5330 – turma B

1ª Questão:

Dados: vazão desejada de 45 L/s e tubulação após a bomba de aço 40S (K = 0,02 mm) velocidade econômica aproximadamente igual a 2,5 m/s, a partir do mesmo, temos:

$$Q = v \times A \Rightarrow \frac{45}{1000} = 2,5 \times \frac{\pi \times D_{\text{ref}}^2}{4} \therefore D_{\text{ref}} = \left[\sqrt{\frac{45 \times 10^{-3} \times 4}{2,5 \times \pi}} \right] \times 10^3$$

$$D_{\text{ref}} \cong 151,4 \text{ mm} \rightarrow (0,5)$$

Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm) (0,25)	Área da seção livre (cm²) (0,25)	Área da seção de metal (cm²)	Superfície externa (m²/m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm⁴)	Momento resistente (cm³)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
6 depois da bomba	10S	3,40	161,4	204,5	17,6	0,535	13,82	20,45	599,37	71,30	5,83
	Std, 40, 40S	7,11	154,0	186,4	36,0		28,23	18,64	1171,3	139,32	5,70
	XS, 80, 80S	10,97	146,3	168,2	54,2		42,51	16,82	1685,7	200,45	5,58
	120	14,3	139,7	153,4	69,0		54,15	15,34	2064,5	245,52	5,47
	160	18,2	131,8	136,4	86,0		67,41	13,64	2455,8	291,91	5,34
168	XXS	21,9	124,4	121,5	100,9		79,10	12,15	2759,6	328,29	5,23

Dref 151,4

8 antes da bomba	10S	3,76	211,5	351,6	25,4	0,692	19,93	35,16	1473,4	134,56	7,62
	Std, 40, 40S	8,18	202,7	322,6	54,2		42,48	32,26	3017,7	275,52	7,46
	60	10,3	198,4	309,1	67,6		53,03	30,91	3696,1	337,31	7,39
	XS, 80, 80S	12,7	193,7	294,8	82,3		64,56	29,48	4399,5	401,88	7,31
	120	18,2	182,6	261,9	115,1		90,22	26,19	5852,2	534,31	7,13
219	XXS	22,2	174,6	239,4	137,4		107,8	23,94	6742,9	616,26	7,00
	160	23,0	173,1	235,5	141,7		111,1	23,55	6905,3	631,02	6,98

(0,25) (0,25)

Singularidades antes (8" ou 200) e depois da bomba (6" ou 150)

APÊNDICE

C-10 cont.

COMPONENTE	L/D aprox. m/m	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																				
			16	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500		
COTOVELOS	45°		padrão	16	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,6
COTOVELOS	45°		raio longo	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8
COTOVELOS	90°		padrão	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14
COTOVELOS	90°		raio médio	25	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	1,9	2,2	2,5	3,1	3,8	5,0	6,2	7,5	8,8	10	12
COTOVELOS	90°		raio longo	20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6
COTOVELOS	90°		esquadrado	57	0,7	1,4	1,8	2,7	2,2	2,8	3,6	4,3	5,1	5,7	7,1	8,6	11,4	14,2	17,1	20,0	22,8	27
COTOVELOS	180°		padrão	85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,4	6,4	7,6	8,5	10,6	12,8	17,0	21,2	25,5	29,8	34,0	41
COTOVELOS	180°		raio longo	55	0,7	1,0	1,4	1,8	2,1	2,8	3,5	4,1	5,0	5,5	6,9	8,2	11,0	13,8	16,5	19,2	22,0	27
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO	expansão entre o diâmetro D e o final		1,33 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO	expansão entre o diâmetro D e o final		2 D	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO	expansão entre o diâmetro D e o final		4 D	48	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	3,6	4,3	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0	14,4	16,8	19,2	23
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO	contração entre o diâmetro D e o final		0,75 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO	contração entre o diâmetro D e o final		0,50 D	10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	8,1
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO	contração entre o diâmetro D e o final		0,25 D	24	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	11
SAÍDA DE EQUIPA- MENTO	90°		canto vivo	50	0,7	1,0	1,2	1,6	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24
SAÍDA DE EQUIPA- MENTO	90°		reentrante	50	0,7	1,0	1,2	1,6	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24
ENTRADA DE EQUIPA- MENTO	90°		canto vivo	25	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	2,3	2,0	2,3	2,6	3,3	3,9	6,2	6,5	7,8	9,1	10,4	12
ENTRADA DE EQUIPA- MENTO	90°		reentrante	40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19

Comprimentos Equivalentes em Metros de Tubo Reto Classe 40

Apêndice C-10

COMPONENTE			L/D aprox. mm	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																				
				15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600		
VÁLVULAS		ângular (aberta)	90°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	36,2	43,5	50,8	58	69	84	
			45°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	36,2	43,5	50,8	58	69	84	
			60°	175	2,3	3,3	4,4	5,6	6,7	8,8	11,0	13,1	15,8	17,5	21,9	26,2	35,0	43,8	52,5	61,2	70	84	100	
		borboleta (80% de abertura)	40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19	23		
		de pé com crivo	420	5,5	8,0	10,5	13,4	16,0	21,0	26,5	31,5	37,8	42,0	52,5	63,0	84,0	105	126	147	168	201	242		
		diafragma (aberta)	85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,4	6,4	7,6	8,5	10,6	12,8	17,0	21,2	25,5	29,8	34	41	49		
		esfera (aberta)	3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,7		
		gaveta (aberta)	8	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,8	4,6		
		globo (aberta)	350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	70,0	87,5	105	122	140	167	201		
		macho	duas vias (escoamento direto)	44	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	2,2	2,8	3,3	4,0	4,4	5,5	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6	21	25	
			três vias (saída lateral)	140	1,8	2,7	3,5	4,5	5,3	7,0	8,8	10,5	12,6	14,0	21,0	25,2	35,0	42,0	49,0	58,0	67	80		
		retenção	tipo portinhola	135	1,8	2,6	3,4	4,3	5,1	6,8	8,5	10,0	12,2	13,5	16,9	27,0	33,8	40,5	47,3	54,0	64	78		
			de levantamento	350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	70,0	87,5	105	122	140	167	201	
			de estera (horizontal)	150	2,0	2,9	3,8	4,8	5,7	7,5	9,5	11,3	13,5	15,0	18,8	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0	72	86	
	TÉS			escoamento longo	20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6	12
			saída lateral	60	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	3,0	3,8	4,5	5,4	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	29	35	
			entrada lateral	80	1,0	1,5	2,0	2,6	3,0	4,0	5,0	6,0	7,2	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	28,0	32,0	38	46	
luva ou união				1,7	desprezível																			
filtro de linha				320	4,2	6,1	8,0	10,2	12,2	16,0	20,2	24,0	28,8	32,0	40,0	48,0	64,0	80,0	96,0	112	128	153	184	

Trecho de sucção (tubulação antes da bomba):

$$L + \sum Leq = 12 + 10 + 1,6 = 23,6 \text{ m}$$

Trecho de recalque (tubulação depois da bomba):

$$L + \sum Leq = 1100 + 20,2 + 52,5 + 3,9 + 2 \times 3,8 = 1184,2 \text{ m}$$

Com o P.H.R. no eixo da bomba

$$H_{\text{inicial}} + H_B = H_{\text{final}} + H_{pT}$$

$$5 + H_B = 20 + \left(\frac{f_{aB} \times 23,6 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,2027 \times (322,6 \times 10^{-4})^2} \right) + \left(\frac{f_{dB} \times 1184,2 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,154 \times (186,4 \times 10^{-4})^2} \right)$$

Pela planilha do site temos os valores do coeficiente de perda de carga distribuída:

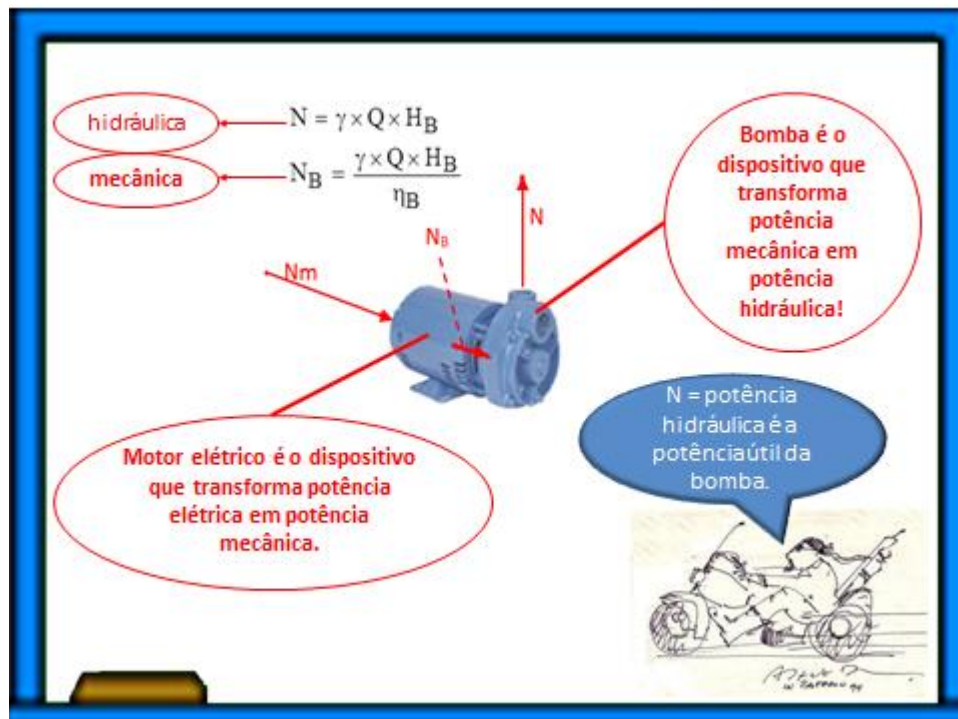
$$f_{aB} = 0,0206 \rightarrow (0,25)$$

$$f_{dB} = 0,0197 \rightarrow (0,25)$$

Retornando na equação da energia:

$$5 + H_B = 20 + \left(\frac{0,0206 \times 23,6 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,2027 \times (322,6 \times 10^{-4})^2} \right) + \left(\frac{0,0197 \times 1184,2 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,154 \times (186,4 \times 10^{-4})^2} \right)$$

$$H_B = 20 - 5 + 0,238... + 45,045... \cong 60,3\text{m} \rightarrow (0,5)$$



Calculando a potência hidráulica:

$$N = \gamma \times Q \times H_B$$

$$N = 879 \times 9,8 \times 4,5 \times 10^{-3} \times 60,3$$

$$N \cong 23374,7\text{W} \rightarrow (0,5)$$

2ª Questão:

a. Qual a vazão de queda livre? Haverá necessidade da bomba?

Para que possamos responder esta pergunta, primeiro temos que conhecer a equação da CCI e nela a carga estática tem que ser negativa.

Para o problema foi afirmado que: “a equação da CCI, que também foi determinada corretamente resultou na tabela a seguir”:

Q(m³/h)	H _s (m)
0	-14,90
290	-1,81
696	41,2

Equação da CCI: $H_S = A \times Q^2 + B \times Q + C$

Resolvendo sem recorrer ao Excel

Primeira condição de contorno: para $Q = 0$ temos que $H_S = -14,9$ m, portanto:

$$-14,9 = a \times 0 + b \times 0 + c \therefore c = -14,9\text{m}$$

Segunda condição de contorno: para $Q = 290\text{m}^3/\text{h}$ temos que $H_S = -1,81$ m, portanto:

$$-1,81 = a \times 290^2 + b \times 290 - 14,9$$

$$a \times 290^2 + b \times 290 = 13,09 \rightarrow (I)$$

Terceira condição de contorno: para $Q = 696\text{m}^3/\text{h}$ temos que $H_S = 41,2$ m, portanto:

$$41,2 = a \times 696^2 + b \times 696 - 14,9$$

$$a \times 696^2 + b \times 696 = 56,1$$

$$b = \frac{56,1}{696} - 696 \times a \rightarrow (II)$$

De (II) em (I), temos:

$$13,09 = a \times 84100 + \left(\frac{56,1}{696} - 696 \times a \right) \times 290$$

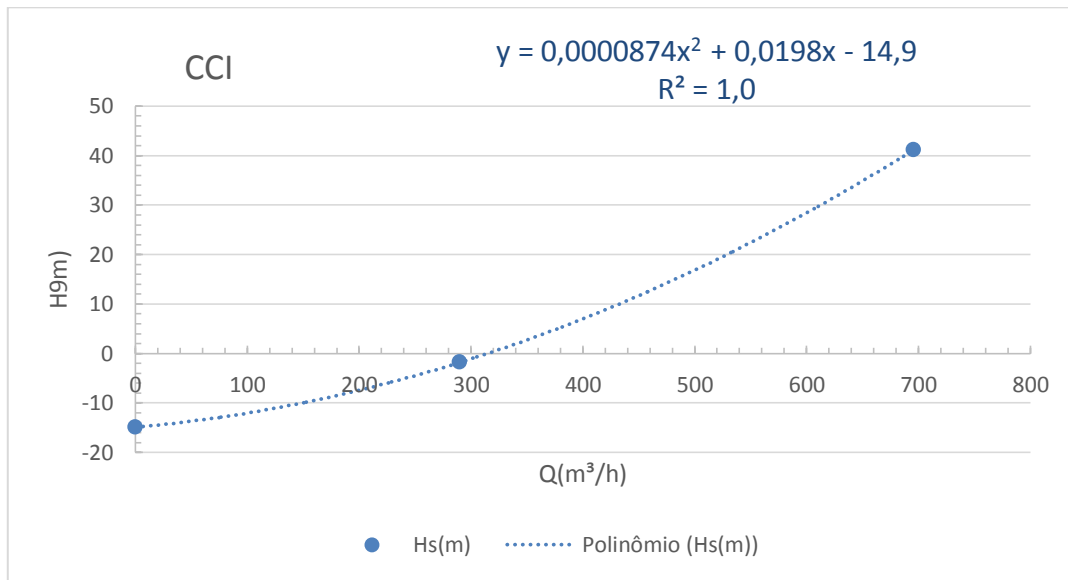
$$84100a - 201840a = -10,285$$

$$a = 0,0000874 \frac{\text{h}^2}{\text{m}^5} \Rightarrow b \cong 0,0198 \frac{\text{h}}{\text{m}^2}$$

$$\text{CCI} \rightarrow H_S = 0,0000874 \times Q^2 + 0,0198 \times Q - 14,9 \rightarrow (0,5)$$

Resolvendo pelo Excel

Q(m³/h)	Hs(m)
0	-14,9
290	-1,81
696	41,2



(0,5)

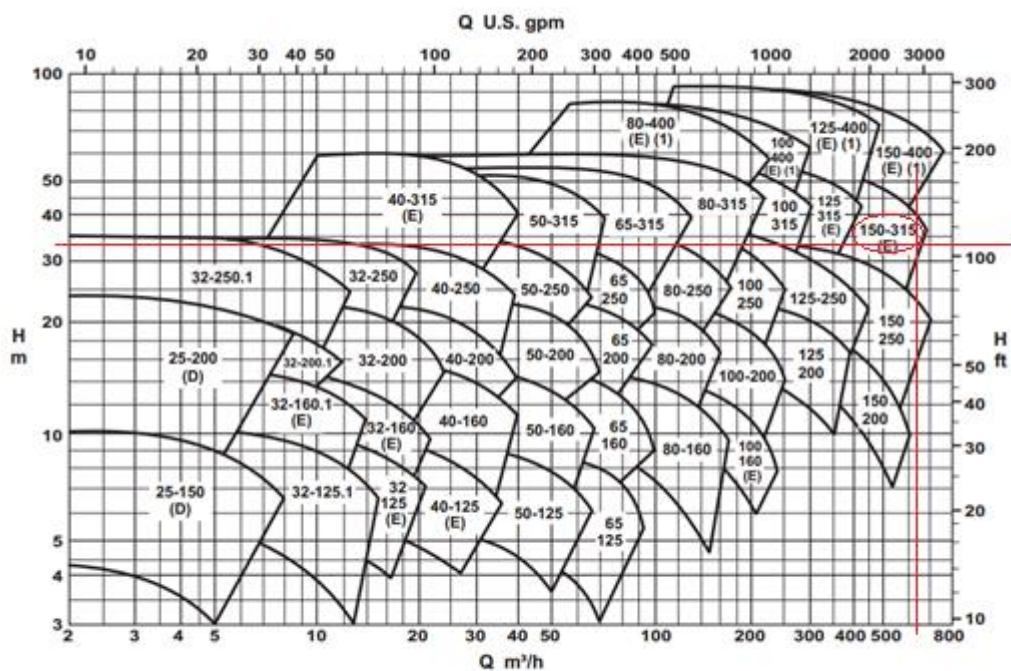
Para ambos os casos a vazão em queda livre é obtida para $H_s = 0$, ou seja, quando a CCI cruza o eixo da vazão, portanto:

$$0 = 0,0000874 \times Q_{qL}^2 + 0,0198 \times Q_{qL} - 14,9$$
$$Q_{qL} = \frac{-0,0198 + \sqrt{0,0198^2 + 4 \times 0,0000874 \times 14,9}}{2 \times 0,0000874} \cong 314,9 \frac{m^3}{h} \Rightarrow (0,25)$$

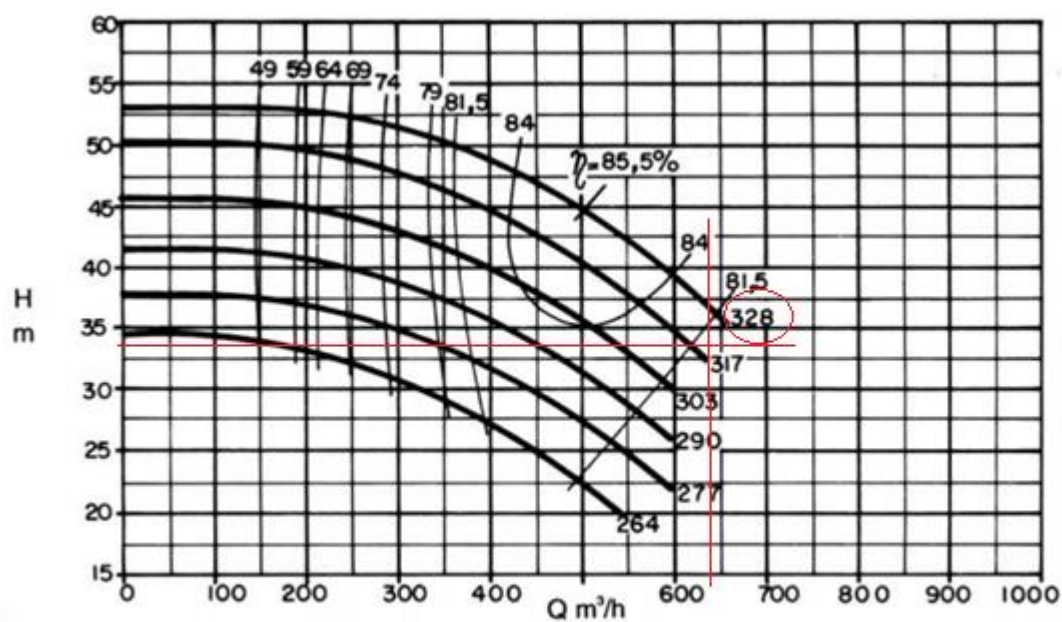
Como a vazão de queda livre é menor que a vazão desejada há a necessidade da bomba
(0,25)

- b. Qual a bomba da KSB, o seu diâmetro do rotor e o seu ponto de trabalho baseado nos diagramas a seguir?

$$Q_{projeto} = 1,1 \times Q_{desejada} = 1,1 \times 580 = 638 \frac{m^3}{h} \Rightarrow (0,25)$$
$$H_{Bprojeto} = H_{Sprojeto} = 0,0000874 \times 638^2 + 0,0198 \times 638 - 14,9$$
$$H_{Bprojeto} = H_{Sprojeto} \cong 33,31m \approx 33,4m \Rightarrow (0,25)$$



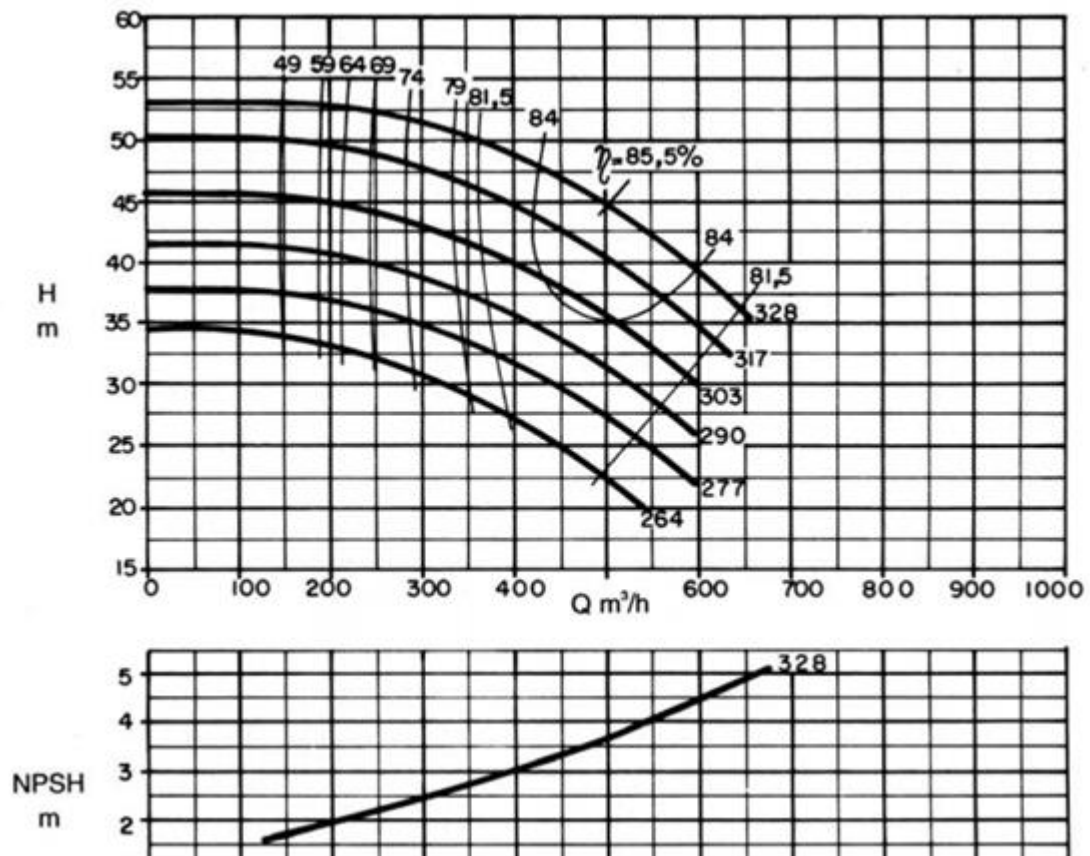
BOMBA 150-315 - (0,25)



Bomba com diâmetro de rotor de 328 mm - (0,25)

Resolvendo pelo Excel

Através das curvas fornecidas pelo fabricante, obtemos as tabelas:

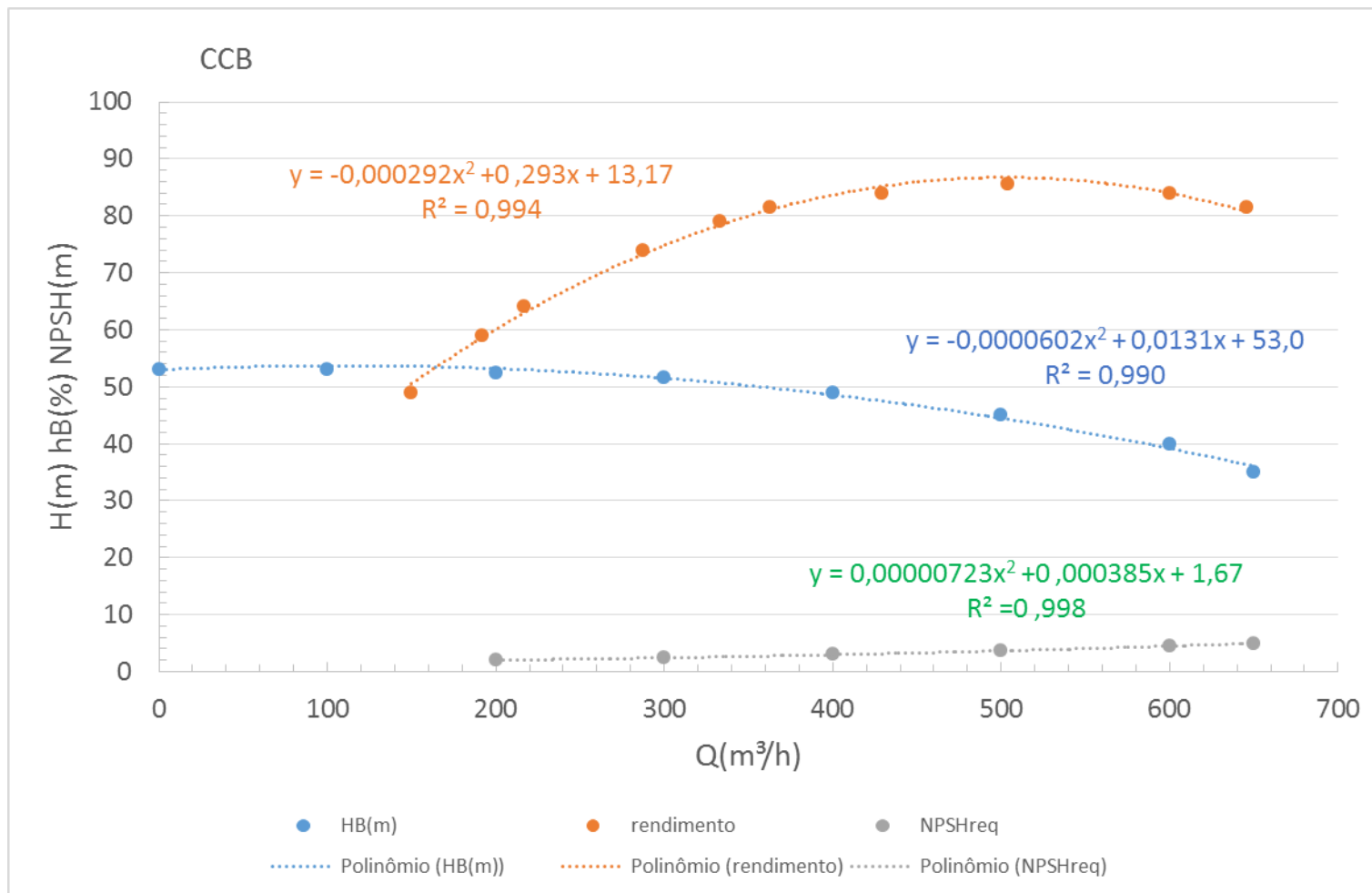


Q(m³/h)	H _B (m)
0	53
100	53
200	52,5
300	51,5
400	49
500	45
600	40
650	35

Q(m³/h)	η _B (m)
150	49
191,66	59
216,68	64
287,49	74
333,32	79
362,51	81,5
429,19	84
504,17	85,5
600	84
645,83	81,5

Q(m³/h)	NPSH(m)
200	2
300	2,5
400	3
500	3,6
600	4,5
650	5

E através delas os gráficos e suas respectivas equações:



No ponto de trabalho, temos:

$$H_B = H_S$$

$$-0,0000602 \times Q^2 + 0,0131 \times Q + 53 = 0,0000874 \times Q^2 + 0,0198 \times Q - 14,9$$

$$1,476 \times 10^{-4} \times Q^2 + 6,7 \times 10^{-3} \times Q - 67,9 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{-6,7 \times 10^{-3} + \sqrt{(6,7 \times 10^{-3})^2 + 4 \times 1,476 \times 10^{-4} \times 67,9}}{2 \times 1,476 \times 10^{-4}} \cong 655,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,25)$$

$$H_{B_\tau} = 0,0000874 \times 655,9^2 + 0,0198 \times 655,9 - 14,9 \cong 35,7\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,000292 \times 655,9^2 + 0,293 \times 655,9 + 13,17 \cong 79,7\% \rightarrow (0,25)$$

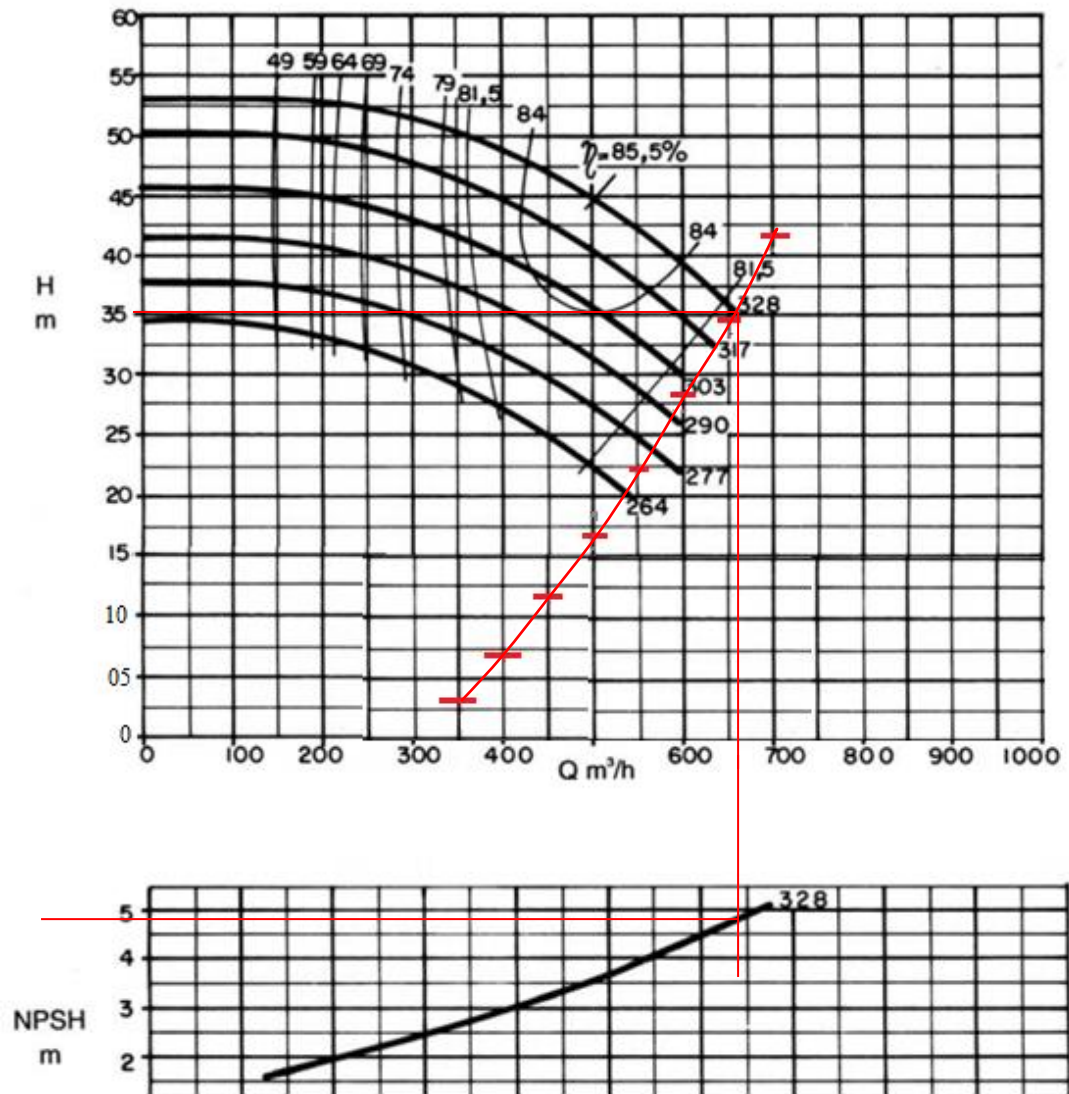
$$\text{NPSH}_{\text{req}} = 0,00000723 \times 655,9^2 + 0,000385 \times 655,9 + 1,67 \cong 5,1\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$N_{B_\tau} = \frac{808,1 \times 9,8 \times \left(\frac{655,9}{3600} \right) \times 35,7}{0,797} \cong 64630,3\text{W} \rightarrow (0,25)$$

Resolvendo sem recorrer ao Excel

$$\text{CCI} \rightarrow H_S = 0,0000874 \times Q^2 + 0,0198 \times Q - 14,9$$

Q(m³/h)	H _B (m)
350	2,7
400	7,0
450	11,7
500	16,9
550	22,4
600	28,4
650	34,9
700	41,8



$$Q_{\tau} \cong 660 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,25)$$

$$H_{B_{\tau}} \cong 35,1\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$\eta_{B_{\tau}} \cong 80\% \rightarrow (0,25)$$

$$\text{NPSH}_{\text{req}} \cong 4,9\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$N_{B_{\tau}} = \frac{808,1 \times 9,8 \times \left(\frac{660}{3600} \right) \times 35,1}{0,80} \cong 63701,5\text{W} \rightarrow (0,25)$$

c. Ocorre o fenômeno de cavitação? Justifique.

Para não existir o fenômeno de cavitação a condição necessária e suficiente é:

$$NPSH_{\text{disponível}} - NPSH_{\text{requerido}} \geq 0$$

$$NPSH_{\text{disponível}} = z_{\text{inicial}} + \frac{P_{\text{inicial abs}} - P_{\text{vapor}}}{\gamma} - H_{\text{paB}}$$

$$z_{\text{inicial}} \Rightarrow \text{com o PHR no eixo da bomba}$$

Dados: pressão atmosférica local igual a 101325 Pa; pressão no nível do fluido na torre de destilação atmosférica igual a 1,8 kgf/cm²; propriedades do fluido: massa específica igual a 808,1 kg/m³; viscosidade igual a 0,00144 Pa*s e pressão de vapor 2,83 kgf/cm² (abs); tubulação antes da bomba constituída de: uma saída de equipamento com canto vivo, duas válvulas gavetas, um filtro de linha, dois cotovelos de 90° de raio longo, um tê de saída de lado, quatro uniões e um comprimento de tubulação igual a 22,1 m; com PHR no eixo da bomba a cota do nível mínimo da torre de destilação atmosférica é igual a 6,6 m.

As tubulações foram bem dimensionadas e optou-se por tubos de aço comercial ($K = 0,000046 \text{ m}$) com espessura 80 e resultaram para a tubulação antes da bomba um diâmetro nominal de 14" (350) e para depois da bomba um diâmetro nominal de 12".

Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm ²)	Área da seção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
16	10	6,35	393,7	1217,5	79,8	1,277	62,57	121,7	15983	786,72	14,15
	Std. 30	9,52	387,3	1178,1	118,8		93,12	117,8	23392	1152,2	14,05
	XS, 40	12,7	381,0	1140,1	157,1		123,2	114,0	30468	1499,7	13,92
	60	16,6	373,1	1093,0	203,9		159,9	109,3	38834	1911,1	13,79
406	80	21,4	363,6	1038,1	258,7		203,0	103,8	48158	2370,0	13,64
	100	26,2	354,0	984,6	312,9		245,3	98,46	56815	2796,1	13,46

$$D_{\text{int}} = 363,6 \text{ mm} \Rightarrow A = 1038,1 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow f_{\text{aB}} = 0,0153 \Rightarrow \text{para as duas vazões, ou seja } 655,9 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ou } 660 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow (0,25)$$

Comprimentos Equivalentes em Metros de Tubo Reto Classe 40

Apêndice C-10

COMPONENTE				L/D aprox. m/m	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																							
					15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600					
VÁLVULAS		angular (aberta)	90°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	36,2	43,5	50,8	58	69	84					
			Y 45°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	36,2	43,5	50,8	58	69	84					
			Y 60°	175	2,3	3,3	4,4	5,6	6,7	8,8	11,0	13,1	15,8	17,5	21,9	26,2	35,0	43,8	52,5	61,2	70	84	100					
		bola	borboleta (80% de abertura)	40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19	23					
			de pé com crivo	420	5,5	8,0	10,5	13,4	16,0	21,0	26,5	31,5	37,8	42,0	52,5	63,0	84,0	105	126	147	168	201	242					
			diafragma (aberta)	85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,4	6,4	7,6	8,5	10,6	12,8	17,0	21,2	25,5	29,8	34	41	49					
			esfera (aberta)	3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,7					
			gaveta (aberta)	8	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,8	4,6					
			globo (aberta)	350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	70,0	87,5	105	122	140	167	201					
		macho	duas vias (escoamento direto)	44	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	2,2	2,8	3,3	4,0	4,4	5,5	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6	21	25					
			três vias (saída lateral)	140	1,8	2,7	3,5	4,5	5,3	7,0	8,8	10,5	12,6	14,0	21,0	25,2	35,0	42,0	49,0	50,8	55,0	67	80					
		retenção	tipo portinhola	135	1,8	2,6	3,4	4,3	5,1	6,8	8,5	10,0	12,2	13,5	16,9	20,2	27,0	33,8	40,5	47,3	54,0	64	78					
			de levantamento	350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	70,0	87,5	105	122	140	167	201					
			de esfera (horizontal)	150	2,0	2,9	3,8	4,8	5,7	7,5	9,5	11,3	13,5	15,0	18,8	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0	72	86					
TES			escoamento longo	20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6	12					
			saída lateral	60	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	3,0	3,8	4,5	5,4	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	29	35					
			entrada lateral	80	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,2	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	28,0	32,0	38	46					
luva ou união				1,7	desprezível			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0					
filtro de linha				320	4,2	6,1	8,0	10,2	12,2	16,0	20,2	24,0	28,8	32,0	40,0	48,0	64,0	80,0	96,0	112	128	153	184					

C-10 cont.

APÊNDICE

COMPONENTE			L/D aprox. m/m	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																							
				15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500						
CORVOIS	45°		padrão	16	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,6					
			raio longo	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8					
	90°		padrão	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14					
			raio médio	25	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	1,9	2,2	2,5	3,1	3,8	5,0	6,2	7,5	8,8	10	12					
			raio longo	20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6					
			esquadro	57	0,7	1,4	1,8	2,7	2,2	2,8	3,6	4,3	5,1	5,7	7,1	8,6	11,4	14,2	17,1	20,0	22,8	27					
	180°		padrão	85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,4	6,4	7,6	8,5	10,6	12,8	17,0	21,2	25,5	29,8	34,0	41					
			raio longo	55	0,7	1,0	1,4	1,8	2,1	2,8	3,5	4,1	5,0	5,5	6,9	8,2	11,0	13,8	16,5	19,2	22,0	27					
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SECÇÃO		expansão entre o diâmetro D e o final	1,33 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8					
			2 D	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14					
			4 D	48	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	3,6	4,3	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0	14,4	16,8	19,2	23					
		contração entre o diâmetro D e o final	0,75 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8					
			0,50 D	10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	8,1					
			0,25 D	24	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	11					
SAÍDA DE EQUIPA- MENTO	a 90°		canto vivo	50	0,7	1,0	1,2	1,5	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24					
			reentrante	50	0,7	1,0	1,2	1,5	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24					
ENTRADA DE EQUIPA- MENTO	a 90°		canto vivo	25	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	2,3	2,0	2,3	2,6	3,3	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	12					
			reentrante	40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19					

$$z_{\text{inicial}} = 6,6\text{m};$$

$$P_{\text{inicial abs}} = 1,8 \times 9,8 \times 10^4 + 101325 = 277725 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{vapor}} = 2,83 \times 9,8 \times 10^4 = 277340 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\gamma = 808,1 \times 9,8 = 7919,38 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

uma saída de equipamento com canto vivo $\rightarrow L_{\text{eq}} = 20\text{m};$

duas válvulas gavetas $\rightarrow L_{\text{eq}} = 2 \times 3,2 = 6,4\text{m};$

um filtro de linha $\rightarrow L_{\text{eq}} = 128\text{m};$

dois cotovelos de 90° de raio longo $\rightarrow L_{\text{eq}} = 2 \times 8 = 16\text{m};$

um tê de saída de lado $\rightarrow L_{\text{eq}} = 24\text{m};$

quatro uniões $\rightarrow L_{\text{eq}} = 4 \times 0,7 = 2,8\text{m};$

comprimento de tubulação igual a 22,1 m.

Resolvendo com os resultados do Excel :

$$NPSH_{\text{disp}} = 6,6 + \frac{277725 - 277340}{7919,38} - 0,0153 \times \frac{(22,1 + 197,2)}{0,3636} \times \frac{\left(\frac{655,9}{3600}\right)^2}{19,6 \times (1038,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$NPSH_{\text{disp}} \cong 5,198... \text{m} \approx 5,1\text{m} \rightarrow (0,5)$$

$$NPSH_{\text{disp}} \cong NPSH_{\text{req}} \Rightarrow \text{não está cavitando} \rightarrow (0,5)$$

Resolvendo sem os resultados do Excel :

$$NPSH_{\text{disp}} = 6,6 + \frac{277725 - 277340}{7919,38} - 0,0153 \times \frac{(22,1 + 197,2)}{0,3636} \times \frac{\left(\frac{660}{3600}\right)^2}{19,6 \times (1038,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$NPSH_{\text{disp}} \cong 5,180... \text{m} \approx 5,1\text{m} \rightarrow (0,5)$$

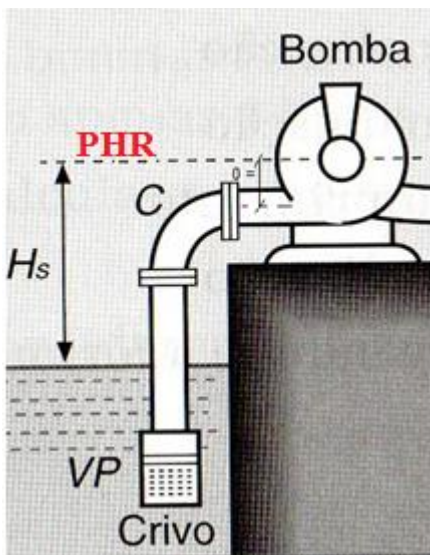
$$NPSH_{\text{disp}} > NPSH_{\text{req}} \Rightarrow \text{não está cavitando} \rightarrow (0,5)$$

3ª Questão:

a. a altura máxima que a bomba pode ser instalada em relação ao nível de captação (H_s) para que não ocorra o fenômeno de cavitação.

- vazão de trabalho de $72 \text{ m}^3/\text{h}$;
- para esta vazão de trabalho o $\text{NPSH}_{\text{requerido}}$ é 4 m
- um único diâmetro de aço XXS ($K = 0,000046\text{m}$) com diâmetro nominal de 6"

Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm^2)	Área da seção de metal (cm^2)	Superfície externa (m^2/m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm^4)	Momento resistente (cm^3)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
6	10S	3,40	161,4	204,5	17,6	0,535	13,82	20,45	599,37	71,30	5,83
	Std, 40, 40S	7,11	154,0	186,4	36,0		28,23	18,64	1171,3	139,32	5,70
	XS, 80, 80S	10,97	146,3	168,2	54,2		42,51	16,82	1685,7	200,45	5,58
	120	14,3	139,7	153,4	69,0		54,15	15,34	2064,5	245,52	5,47
168	160	18,2	131,8	136,4	86,0	0,535	67,41	13,64	2455,8	291,91	5,34
	XXS	21,9	124,4	121,5	100,9		79,10	12,15	2759,6	328,29	5,23



Dados: pressão atmosférica igual a 101234 Pa ;
propriedades do fluido bombeado: massa específica igual a 997 kg/m^3 , viscosidade cinemática igual a $0,892 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ e
pressão de vapor igual a 3166 Pa (abs) ;
comprimento da tubulação antes da bomba 5,4 m que tem as seguintes singularidades: válvula de válvula de pé com crivo da Tupy e cotovelo fêmea de 90° da Tupy.

Equivalência da Perda de Carga das Conexões TUPY BSP em Metros de Tubos de Aço Galvanizados

DIÂMETRO NOMINAL	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
	0,23	0,35	0,47	0,70	0,94	1,17	1,41	1,88	2,35	2,82	3,76	4,70	5,64

Comprimentos Equivalentes em metros para Bocais e Válvulas

Diâmetro Nominal	Saída da Tubulação	Entrada Normal	Entrada de borda	Válvulas de Gaveta	Válvulas de Globo Aberto	Válvulas de Ângulo Aberto	Válvula de Pé e Crivo Aberto	Válvula de Retenção Horizontal	Válvula de Retenção Vertical
									
1/2	0,4	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	3,6	1,1	1,6
3/4	0,5	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	5,6	1,6	2,4
1	0,7	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	7,3	2,1	3,2
1 1/4	0,9	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	10,0	2,7	4,0
1 1/2	1,0	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	11,6	3,2	4,8
2	1,5	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	14,0	4,2	6,4
2 1/2	1,9	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	17,0	5,2	8,1
3	2,2	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	20,0	6,3	9,7
4	3,2	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	23,0	8,4	12,9
5	4,0	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	30,0	10,4	16,1
6	5,0	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	39,0	12,5	19,3

propriedades do fluido transportado

temp (°C)	μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	p_v (Pa)	v (m ² /s)
	8,89E-04	997		8,920E-07

propriedades do local

g = m/s²
 patm = Pa

mat. tubo aço

espessura Dint (mm) A (cm²)
 124,4 121,5

K(m) DH/k
 4,60E-05 2704

Q
 m³/h
 72,0

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee e Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
72,0	1,65	229567	0,0177	0,0180	0,0180 (0,25)	0,0179

$$H_{paB} = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2} = 0,0180 \times \frac{(5,4 + 44,64)}{0,1244} \times \frac{\left(\frac{72}{3600}\right)^2}{19,6 \times (121,5 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{paB} \cong 1,001\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$z_{\max} = H_S \Rightarrow NPSH_{\text{disp}} = NPSH_{\text{req}} \Rightarrow \text{PHR no eixo da bomba}$$

$$-H_S + \frac{(101234 - 3166)}{997 \times 9,8} - 1,001 = 4 \therefore -H_S = -5,03\text{m} \Rightarrow H_S = 5,03\text{m} \Rightarrow (0,5)$$

Para a bomba não cavitir ela deve ser instalada no máximo a 5,03 m acima do nível de captação. **(0,5)**

b. a pressão estática na seção de saída da bomba nas condições estabelecidas no item a.

Dados: comprimento da tubulação depois da bomba 30 m que tem as seguintes singularidades:

válvula de retenção tipo portinhola – Leq = 20,2 m

válvula globo – Leq = 52,5 m

dois cotovelos fêmea de 90° da Tupy - Leq_T = 2 x 5,64 = 11,28 m

entrada de reservatório (equipamento) de canto vivo – Leq = 3,9 m

$$\sum Leq = 87,88\text{m} \rightarrow (0,25)$$

a carga estática da instalação quando a bomba for instalada na altura máxima para não ocorrer a cavitação é 15 m, portanto: $H_r = 15 - 5,03 = 9,97\text{m}$

$$H_S = H_f + H_{pdB} \rightarrow \text{PHR em (s)}$$

$$\frac{p_s}{997 \times 9,8} + \frac{1,65^2}{19,6} = 9,97 + H_{pdB}$$

$$H_{pdB} = 0,0180 \times \frac{(30 + 87,88)}{0,1244} \times \frac{1,65^2}{19,6} \cong 2,37\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$p_s \cong 119212\text{Pa} \rightarrow (0,5)$$