11.4. Exercícios

1º - As instalações hidráulicas de bombeamento representadas a seguir (página 309) fazem parte de uma planta química e podem alimentar individualmente, ou simultaneamente os processos P1 ($p_f = p_{eP1} = P1$), P2 ($P_f = p_{eP2} = P2$) e P3 ($P_f = p_{eP3} = P3$). Sabendo-se que o fluido a ser bombeado é a solução diluída de um polieletrólito a uma temperatura de 25ºC ($\rho_{fluido} = 997 \frac{kg}{m^3}$ e $\mu_{fluido} = 0{,}89 \times 10^{-3} Pa \times s$) e desde que a instalação seja viável tecnicamente em relação à faixa da vazão da bomba selecionada, pede-se especificar o seu consumo mensal (mês de 30 dias e operando 16 horas por dia), para as seguintes possibilidades:

1. alimenta só o processo P1 com B1, onde a vazão desejada é 5,6 L/s (valor 1,0);
2. alimenta só o processo P3, onde a vazão desejada é 6,0 L/s (valor 1,0). São dados:

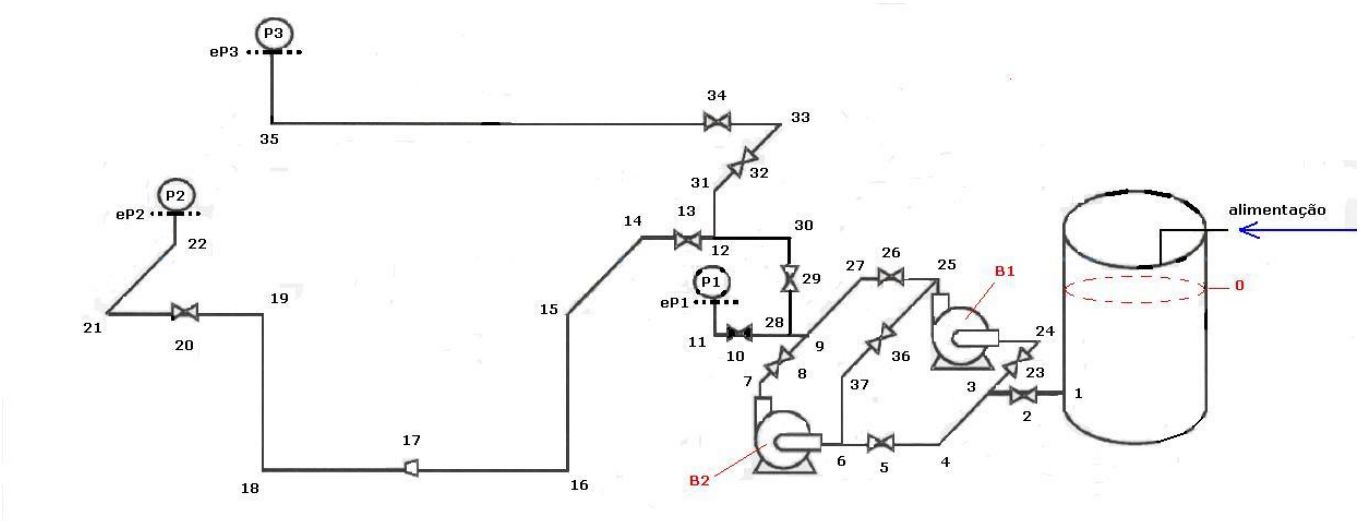
- ✓ o PHR foi adotado no nível do mar e para esta situação se tem: $Z_0 = 708m; Z_{entrada_{B1}} = Z_{entrada_{B2}} = 703m; Z_{eP1} = 722m;$ $Z_{eP2} = 738m; Z_{eP3} = 745m;$
- ✓ comprimentos das tubulações: $L_{1-B1} = 3{,}5m; L_{1-B2} = 7{,}0m;$ $L_{6-B2} = 1{,}5m;$ $L_{B1-9} = 7{,}0m; L_{B2-9} = 3{,}5m;$ $L_{B1-6} = 8{,}0m; L_{9-eP1} = 8{,}0m;$ $L_{9-eP2} = 72m; L_{9-eP3} = 85m;$
- ✓ todas as tubulações são de aço espessura 40 e com rugosidade equivalente igual a $4{,}6 \times 10^{-5} m$;
- ✓ diâmetro nominal da tubulação antes da bomba igual a 3”;
- ✓ diâmetro nominal da tubulação depois da bomba, com exceção do trecho de 17 a P2, igual a 2” ;
- ✓ aceleração da gravidade 9,8 m/s²;
- ✓ tanto as curvas longas como os joelhos de 90º são fêmeas;

- ✓ a cada 6 metros de tubo, deve – se usar uma união, ou um niple e estes não foram representados no desenho e nem na legenda dada;
- ✓ leitura barométrica igual a 0,92 bar;
- ✓ pressão na entrada do processo P1 igual a 70 kPa;
- ✓ pressão na entrada do processo P3 igual a 29311,8 Pa;
- ✓ todas as singularidades devem ter seu comprimento equivalente determinado pela tabela da Tupy;
- ✓ as válvulas devem ter seus comprimentos equivalentes determinados pelas tabelas da MIPEL.

A ética é companheira daqueles que mesmo sem saber se diferenciam dos demais, passando a ter a responsabilidade pela construção de um mundo digno de ser habitado pelas pessoas a quem amam. E através da ética deve-se facilitar a formação de seres humanos melhores, pois só assim se terá a construção de um mundo melhor.

Legenda:

1	saída de reservatório	7	joelho de 90º	13	válvula gaveta
2	válvula gaveta	8	válvula gaveta	14	curva longa de 90º
3	tê saída lateral	9	tê saída lateral	15	joelho de 90º
4	curva longa de 90º	10	válvula globo sem guia	16	joelho de 90º
5	válvula gaveta	11	joelho de 90º	17	luva de redução 2 x 1,5″
6	tê de redução de 3 x 2″	12	tê	18	joelho de 90º



Legenda (cont):

19	joelho de 90º	26	válvula gaveta	33	curva longa de 90º
20	válvula gaveta	27	curva longa de 90º	34	válvula gaveta
21	curva longa de 90º	28	tê	35	joelho de 90º
22	joelho de 90º	29	válvula gaveta	36	válvula gaveta
23	válvula gaveta	30	joelho de 90º	37	joelho de 90º
24	curva longa de 90º	31	joelho de 90º	Pi	Processo i
25	Joelho de saída lateral	32	válvula gaveta	ePi	Entrada do processo i

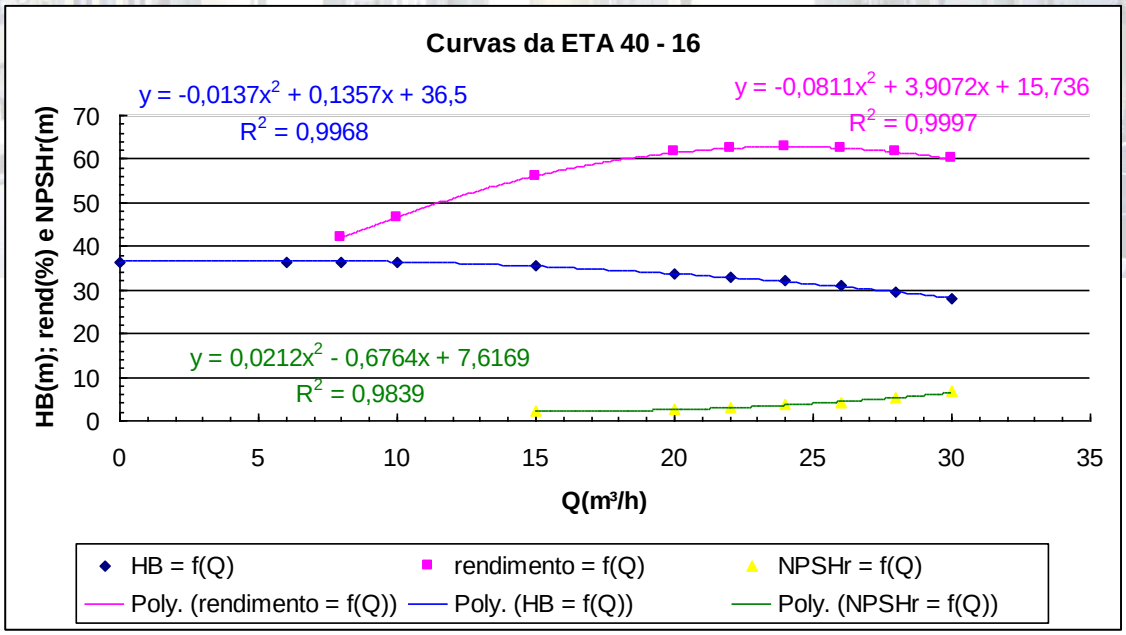
Dados complementares:

- ✓ as bombas B1 e B2 são iguais, têm acoplado um inversor de frequência, operam inicialmente em rede de 220V, com 60Hz e têm as seguintes características:

Bomba ETA 40-16 3420 rpm e diâmetro do rotor igual a 140 mm

Q(m³/h)	HB(m)	ηB(%)	Hs(m)	NPSHr(m)	f 3"	f 2"	f 1,5"
0	36,5						
6	36,5				0,0249	0,0240	0,0239
8	36,5	42			0,0236	0,0231	0,0231
10	36,5	46,5			0,0228	0,0224	0,0226
15	35,5	56	8,4	2,1	0,0214	0,0215	0,0219
20	33,8	61,5	7,75	2,8	0,0206	0,0210	0,0215
22	33	62,5	7,5	3,1	0,0204	0,0208	0,0214
24	32	63	7	3,6	0,0202	0,0207	0,0213
26	31	62,5	6,5	4,1	0,0201	0,0206	0,0213
28	29,5	61,5	5,5	5,1	0,0199	0,0205	0,0212
30	28	60	4	6,7	0,0197	0,0204	0,0211

- ✓ o gráfico abaixo apresenta as curvas características da bomba ETA 40-16 de 3420 rpm e D_{rotor} = 140 mm:



- ✓ rede de 220 V onde tem-se os seguintes motores normalizados:

Motores em CV → $\frac{1}{2}$; $\frac{3}{4}$; 1 ; 1 $\frac{1}{2}$; 2; 3; 5; 7.5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200.

- ✓ Supondo a situação 1, ou seja, a instalação alimentando só o processo P1, e sabendo-se que este processo realmente deve ocorrer com a vazão de 5,6 L/s, especifique a frequência necessária para obter esta vazão e a redução de consumo que se tem operando com o inversor de frequência em relação a situação onde a vazão desejada é obtida com o fechamento parcial da válvula globo 10. Considere que o rendimento do motor operando com o inversor de frequência é o rendimento real do motor elétrico especificado para a situação 1 e no caso do fechamento parcial da válvula considere o rendimento do motor elétrico igual a 90% (valor 1,0).

- ✓ Sabendo-se que para a temperatura do escoamento a pressão de vapor, na escala absoluta, da solução diluída de um polietrólito é 3166,4 Pa, pede-se verificar o fenômeno de cavitação para a 2ª situação, ou seja, a instalação alimentando o processo P3 (valor 1,0).

1ª Parte prática

- ✓ Para uma vazão aproximadamente igual à metade da vazão máxima da associação em paralelo das bombas das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI, especifique a carga manométrica da associação para a rotação de 3500 rpm (Valor 1,0)

2º As instalações hidráulicas de bombeamento representadas a seguir fazem parte de uma planta química e podem alimentar individualmente, ou simultaneamente os processos P1 ($p_f = p_{eP1} =$ P1), P2 ($P_f = p_{eP2} =$P2) e P3 ($P_f = p_{eP3} =$ P3). Sabendo-se que o fluido a ser bombeado é a água desmineralizada a uma temperatura de 40ºC ($\rho_{fluido} = 992{,}16 \frac{kg}{m^3}$ e $\mu_{fluido} = 0{,}651 \times 10^{-3} Pa \times s$) e desde que a instalação seja viável tecnicamente em relação à faixa da vazão da bomba selecionada, pede-se especificar o seu consumo mensal (mês de 30 dias e operando 12 horas por dia), para as seguintes possibilidades:

1. alimenta só o processo P1 com B1, onde a vazão desejada é 5,6 L/s (valor 1,0);
2. alimenta só o processo P2, onde a vazão desejada é 5,0 L/s (valor 1,0).

São dados:

- ✓ o PHR foi adotado no nível do mar e para esta situação se tem:

  $Z_0 = 708m; Z_{entrada_{B1}} = Z_{entrada_{B2}} = 703m; Z_{eP1} = 722m;$
  $Z_{eP2} = 738m; Z_{eP3} = 745m;$

- ✓ comprimentos das tubulações:

  $L_{1-B1} = 3{,}5m; L_{1-B2} = 7{,}0m;$ $L_{B1-9} = 7{,}0m; L_{B2-9} = 3{,}5m;$
  $L_{6-B2} = 1{,}5m; L_{9-17} = 72m;$ $L_{B1-6} = 8{,}0m; L_{9-eP1} = 8{,}0m;$
  $L_{17-eP2} = 28m; L_{9-eP3} = 85m;$

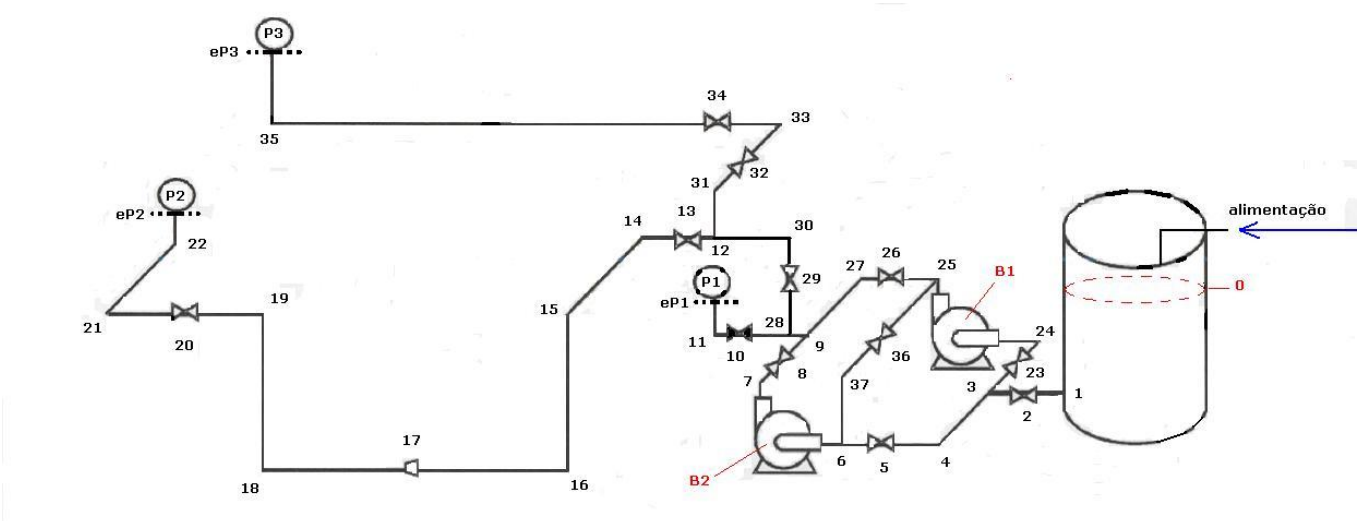
- ✓ todas as tubulações são de aço espessura 40 e com rugosidade equivalente igual a $4{,}6 \times 10^{-5} m$;
- ✓ diâmetro nominal da tubulação antes da bomba igual a 3";
- ✓ diâmetro nominal da tubulação depois da bomba, com exceção do trecho de 17 a e P2, igual a 2";
- ✓ aceleração da gravidade 9,8 m/s²;

- ✓ tanto as curvas longas como os joelhos de 90º são fêmeas;
- ✓ a cada 6 metros de tubo, deve –se usar uma união, ou um niple e estes não foram representados no desenho e nem na legenda dada;
- ✓ leitura barométrica igual a 0,92 bar;
- ✓ pressão na entrada do processo P1 igual a 60 kPa;
- ✓ pressão na entrada do processo P2 igual a 48615,84 Pa;
- ✓ todas as singularidades devem ter seu comprimento equivalente determinado pela tabela da Tupy.

"Estar continuamente se preparando, manter-se atualizado e observar o que há de novo são o preço a pagar pela excelência. Ela se constrói muito a partir do inconformismo, da eterna insatisfação, da seção eterna de achar que o trabalho pode levá-lo mais adiante. Acredito piamente que é preciso criar situações de desconforto para tirar o melhor das pessoas." - página 199 do livro - Bernardinho - Transformando Suor em Ouro - editado pela Sextante - 2006

Legenda:

1	saída de reservatório	7	joelho de 90º	13	válvula gaveta
2	válvula gaveta	8	válvula gaveta	14	curva longa de 90º
3	tê saída lateral	9	tê saída lateral	15	joelho de 90º
4	curva longa de 90º	10	válvula globo	16	joelho de 90º
5	válvula gaveta	11	joelho de 90º	17	luva de redução 2 x 1,5″
6	tê de redução de 3 x 2″	12	tê	18	joelho de 90º



Legenda (cont):

19	joelho de 90º	26	válvula gaveta	33	curva longa de 90º
20	válvula gaveta	27	curva longa de 90º	34	válvula gaveta
21	curva longa de 90º	28	tê	35	joelho de 90º
22	joelho de 90º	29	válvula gaveta	36	válvula gaveta
23	válvula gaveta	30	joelho de 90º	37	joelho de 90º
24	curva longa de 90º	31	joelho de 90º	Pi	Processo i
25	Joelho de saída lateral	32	válvula gaveta	ePi	Entrada do processo i

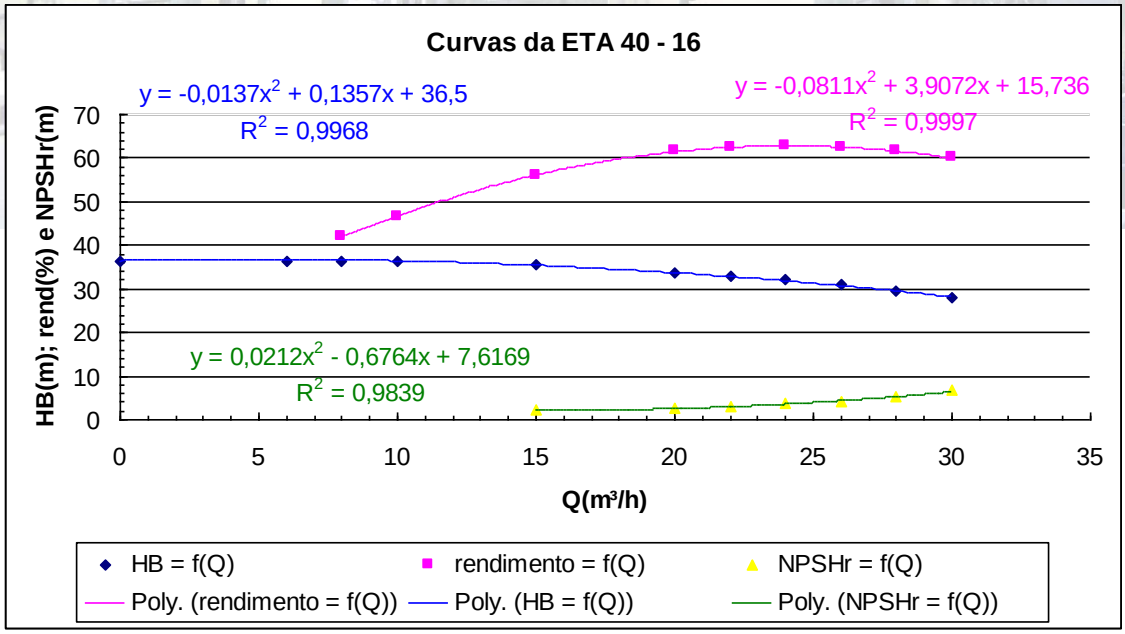
Dados complementares:

- ✓ as bombas B1 e B2 são iguais, têm acoplado um inversor de frequência e operam inicialmente em rede de 220V (2 polos),com 60Hz e tendo as seguintes características:

Bomba ETA 40-16 3420 rpm e diâmetro do rotor igual a 140 mm

Q(m³/h)	HB(m)	ηB(%)	Hs(m)	NPSHr(m)	f 3"	f 2"	f 1,5"
0	36,5						
6	36,5				0,0249	0,0240	0,0239
8	36,5	42			0,0236	0,0231	0,0231
10	36,5	46,5			0,0228	0,0224	0,0226
15	35,5	56	8,4	2,1	0,0214	0,0215	0,0219
20	33,8	61,5	7,75	2,8	0,0206	0,0210	0,0215
22	33	62,5	7,5	3,1	0,0204	0,0208	0,0214
24	32	63	7	3,6	0,0202	0,0207	0,0213
26	31	62,5	6,5	4,1	0,0201	0,0206	0,0213
28	29,5	61,5	5,5	5,1	0,0199	0,0205	0,0212
30	28	60	4	6,7	0,0197	0,0204	0,0211

- ✓ o gráfico abaixo apresenta as curvas características da bomba ETA 40-16 de 3420 rpm e diâmetro de rotor igual a 140 mm:



- rede de 220 V, tem-se os seguintes motores normalizados:

Motores em CV → $\frac{1}{2}$; $\frac{3}{4}$; 1 ; 1 $\frac{1}{2}$; 2; 3; 5; 7.5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200.

- Supondo a situação 1, ou seja, a instalação alimentando só o processo P1, e sabendo-se que este processo realmente deve ocorrer com a vazão de 5,6 l/s, especifique a freqüência necessária para obter esta vazão e a redução de consumo que se tem operando com o inversor de freqüência em relação a situação onde a vazão desejada é obtida com o fechamento parcial da válvula globo 10. Considere que o rendimento do motor operando com o inversor de freqüência é o rendimento real do motor elétrico especificado para a situação 1 e no caso do fechamento parcial da válvula considere o rendimento do motor elétrico igual a 90% (valor 1,0).
- Sabendo-se que para a temperatura do escoamento a pressão de vapor, na escala absoluta, da água desmineralizada é 7373,52 Pa, pede-se verificar o fenômeno de cavitação para a 1ª situação, ou seja, a instalação alimentando o processo P1 (valor 1,0).

Parte prática

- Para uma vazão aproximadamente igual a 70% da vazão máxima da associação em paralelo das bombas das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI, especifique a carga manométrica da associação para a rotação de 3500 rpm (Valor 1,0)

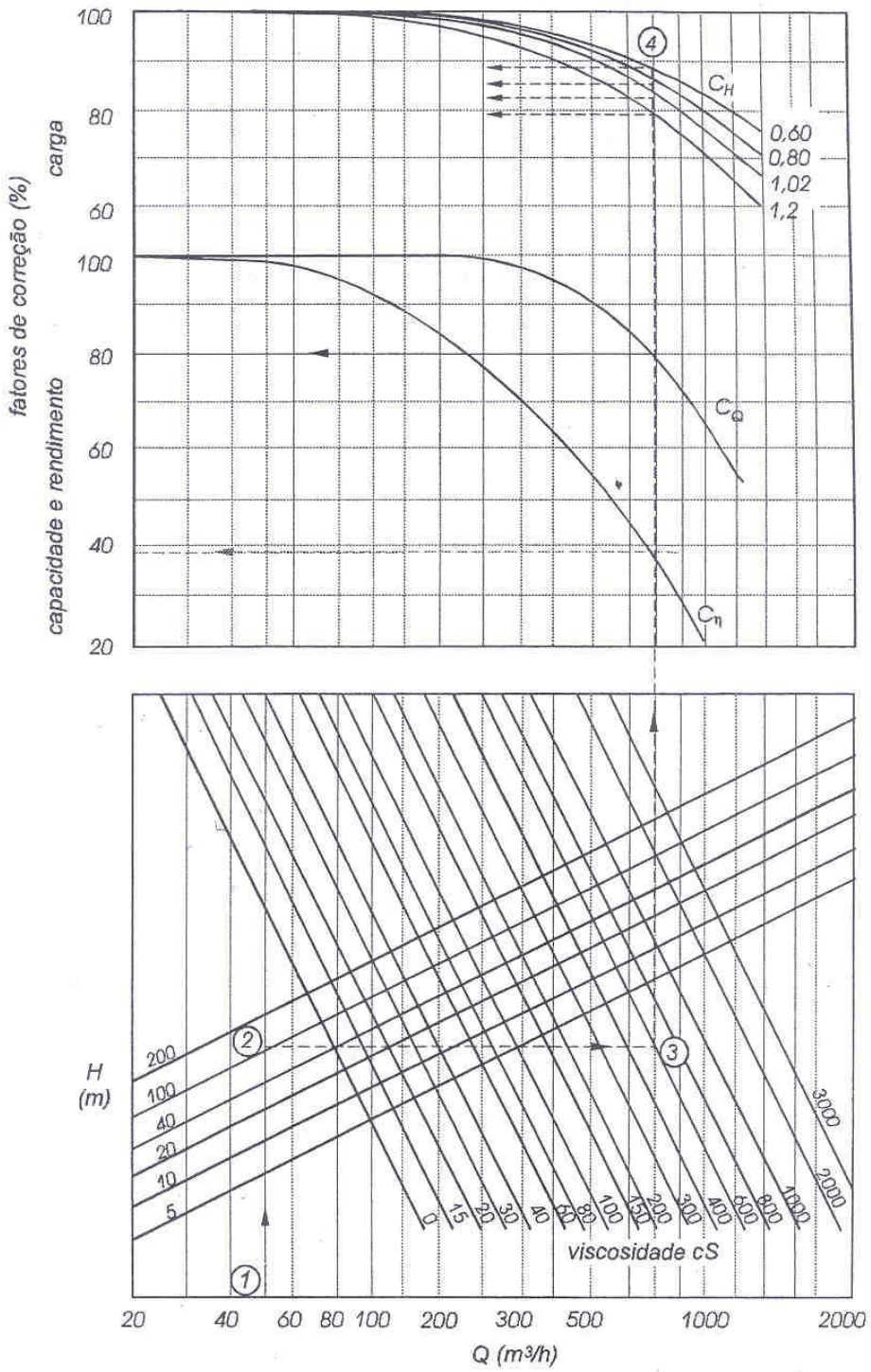


Fig. VIII-19 - Fatores de correção para líquidos muitos viscosos

3º Você resolveu prestar um concurso público no interior do estado de São Paulo e optou por:

SAAE SOROCABA

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SOROCABA

As questões a seguir, no valor de 0,25 cada, só serão consideradas se forem devidamente justificadas, se necessário apresentando a resolução numérica, portanto não basta simplesmente assinalar a alternativa correta:

11. Uma tubulação apresenta área de passagem de líquido de aproximadamente 0,003 m^2 e conduz água a um reservatório de volume igual a 60 m^3. Considerando que o escoamento pelo tubo ocorre à velocidade de 2 m/s, o tempo necessário para o enchimento do reservatório será de aproximadamente

(A) 10 000 minutos.

(B) 166,67 segundos.

(C) 166,67 horas.

(D) 60 000 segundos.

(E) 2,78 horas.

14. Sobre o escoamento de fluido por uma tubulação de diâmetro constante, que opera com bomba centrífuga, é correto afirmar que a perda de carga

(A) provoca aumento da pressão ao longo da tubulação, no sentido do escoamento.

(B) numa válvula faz aumentar a pressão à jusante da mesma.

(C) duplicará se a vazão for duplicada.

(D) cairá pela metade se a vazão for duplicada.

(E) é fortemente afetada pelo diâmetro da tubulação.

15. Considerando 1 kgf = 10 N, pode-se afirmar que uma pressão de 15 kgf/cm² equivale a

(A) 1,5 kgf/mm².

(B) 1,5 kPa.

(C) 1 500 kPa.

(D) 15 MPa.

(E) 1 500 N/cm².

16. Num determinado ponto de uma tubulação de bombeamento de água, a pressão registrada por um manômetro é de 1,4 kgf/cm². Por hipótese, se nesse ponto fosse instalado um tubo de vidro (piezômetro), a coluna de água atingiria uma altura de, aproximadamente,

(A) 0,14 metros.

(B) 1,4 metros.

(C) 14 metros.

(D) 1,4 centímetros.

(E) 140 000 milímetros.

17. O motor de uma bomba centrifuga é controlado por um inversor de freqüência. Considerando que o motor é de 4 pólos, de corrente alternada, com escorregamento desprezível, e que o inversor alimenta o motor com freqüência de 50 Hz, a rotação da bomba, em rpm, será igual a

(A) 980

(B) 1750

(C) 1500

(D) 2205

(E) 2700

26. Duas instalações hidráulicas, A e B, de tubos e componentes idênticos, inclusive mesmo comprimento total, utilizam bombas centrífugas idênticas para transportar água entre dois reservatórios abertos, também idênticos. A diferença entre as instalações A e B é que A transporta o fluido para cima, elevando-o a 20 m de altura e B transporta o fluido para baixo num desnível de 20 m. Sobre as instalações e seu funcionamento, pode-se afirmar que

(A) as perdas de carga em A e B são idênticas.

(B) a perda de carga em B é maior que em A.

(C) a perda de carga em A é maior que em B.

(D) a vazão de A é igual à de B.

(E) na instalação A, a pressão na saída da bomba é menor que em B.

29. Deseja-se projetar uma instalação hidráulica para operar com bomba centrífuga e atender a uma vazão Q. Se no projeto dessa instalação for aplicado um diâmetro de tubos muito menor que o recomendável, ocorrerá

(A) queima do motor elétrico da bomba.

(B) maior investimento inicial de construção para tubos e válvulas.

(C) menor perda de carga total na instalação.

(D) maior custo de operação.

(E) menor custo de operação.

35. Quanto ao fenômeno da *cavitação*, é correto afirmar que

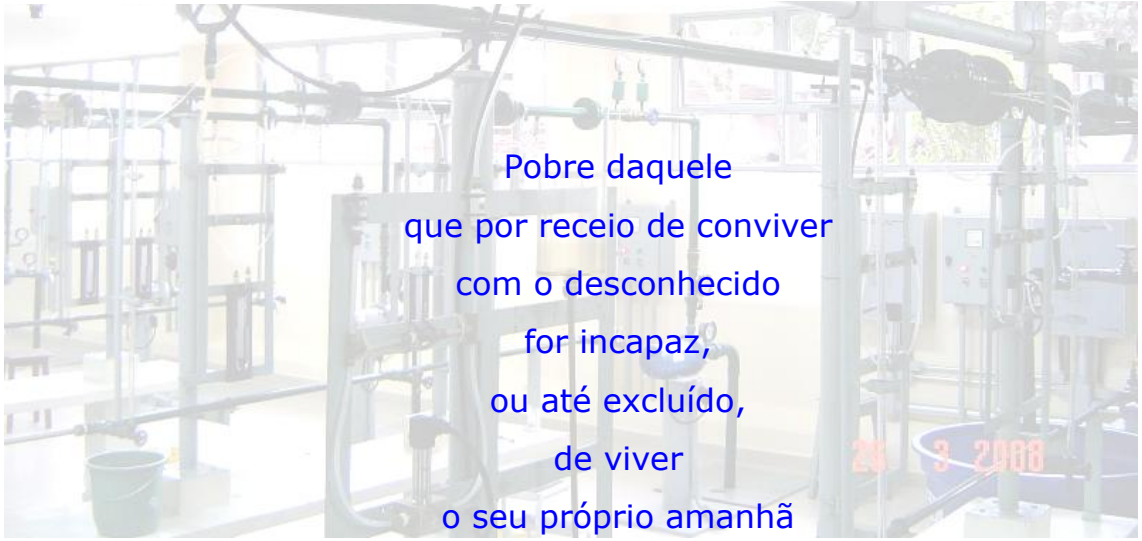
(A) ocorre devido a vedação mal feita na tubulação à montante da bomba.

(B) ocorre devido a vedação mal feita na tubulação à jusante da bomba.

(C) tem maior probabilidade de ocorrência quando a bomba opera abaixo do nível do manancial.

(D) tem maior probabilidade de ocorrência quando a bomba opera acima do nível do manancial.

(E) tem menor probabilidade de ocorrência quando a velocidade na tubulação de sucção é maior.



Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio.

4º Uma dada instalação hidráulica, em função da carga da seção final mudar em relação ao processo que será abastecido, pode operar só com a bomba A, só com a bomba B e com a associação em paralelo da bomba A com a bomba B.

Conhecidas as características das bombas:

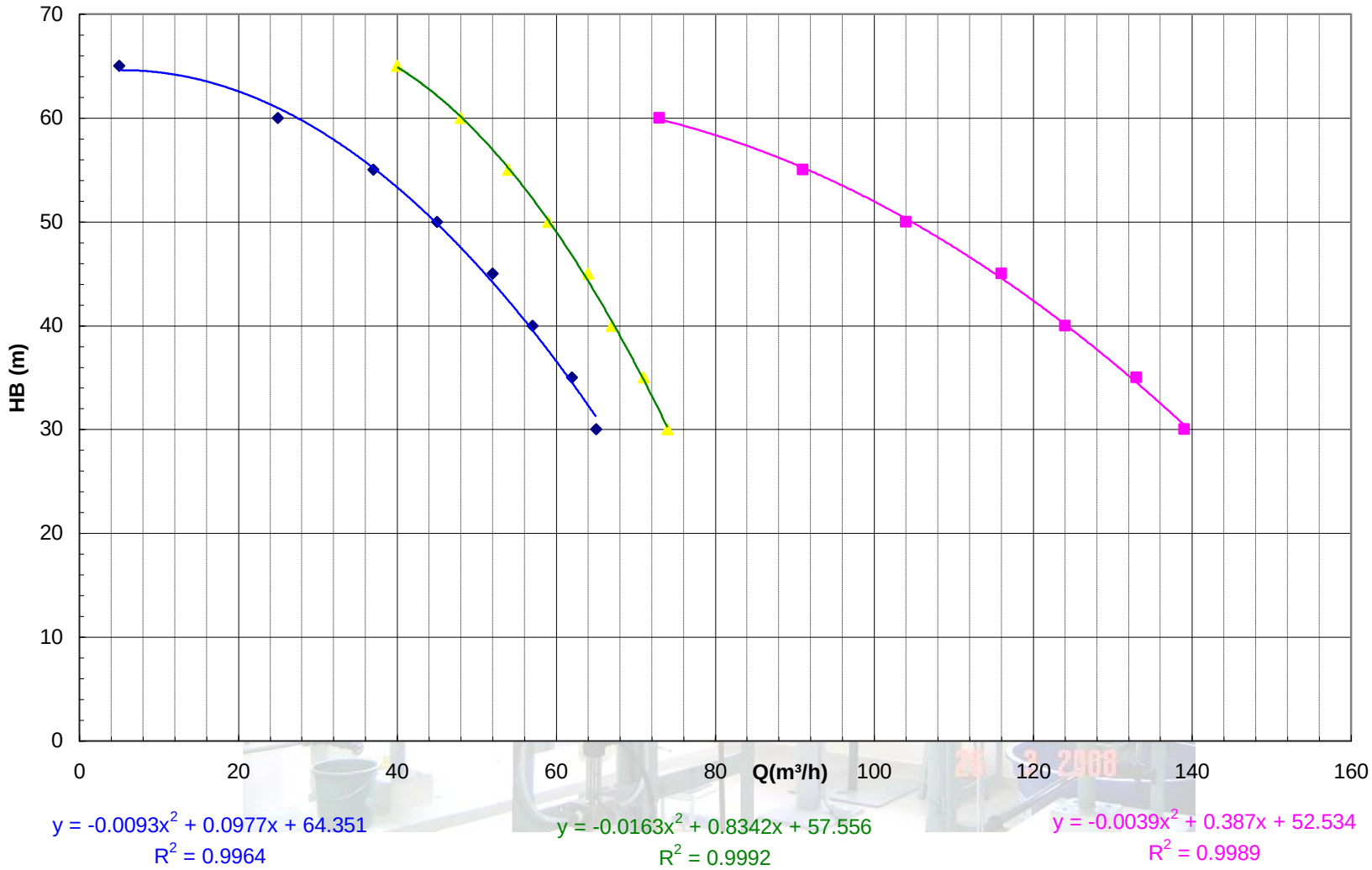
Bomba A			Bomba B		
Q(m³/h)	H_B (m)	η_B (%)	Q(m³/h)	H_B (m)	η_B (%)
65	30	38.0	74	30.0	35.0
62	35	45.0	71	35.0	38.5
57	40	55.0	67	40.0	47.5
52	45	60.0	64	45.0	49.8
45	50	71.5	59	50.0	57.2
37	55	75.0	54	55	59.2
25	60	74.5	48	60	57.2
5	65	60.0	40	65	49.8

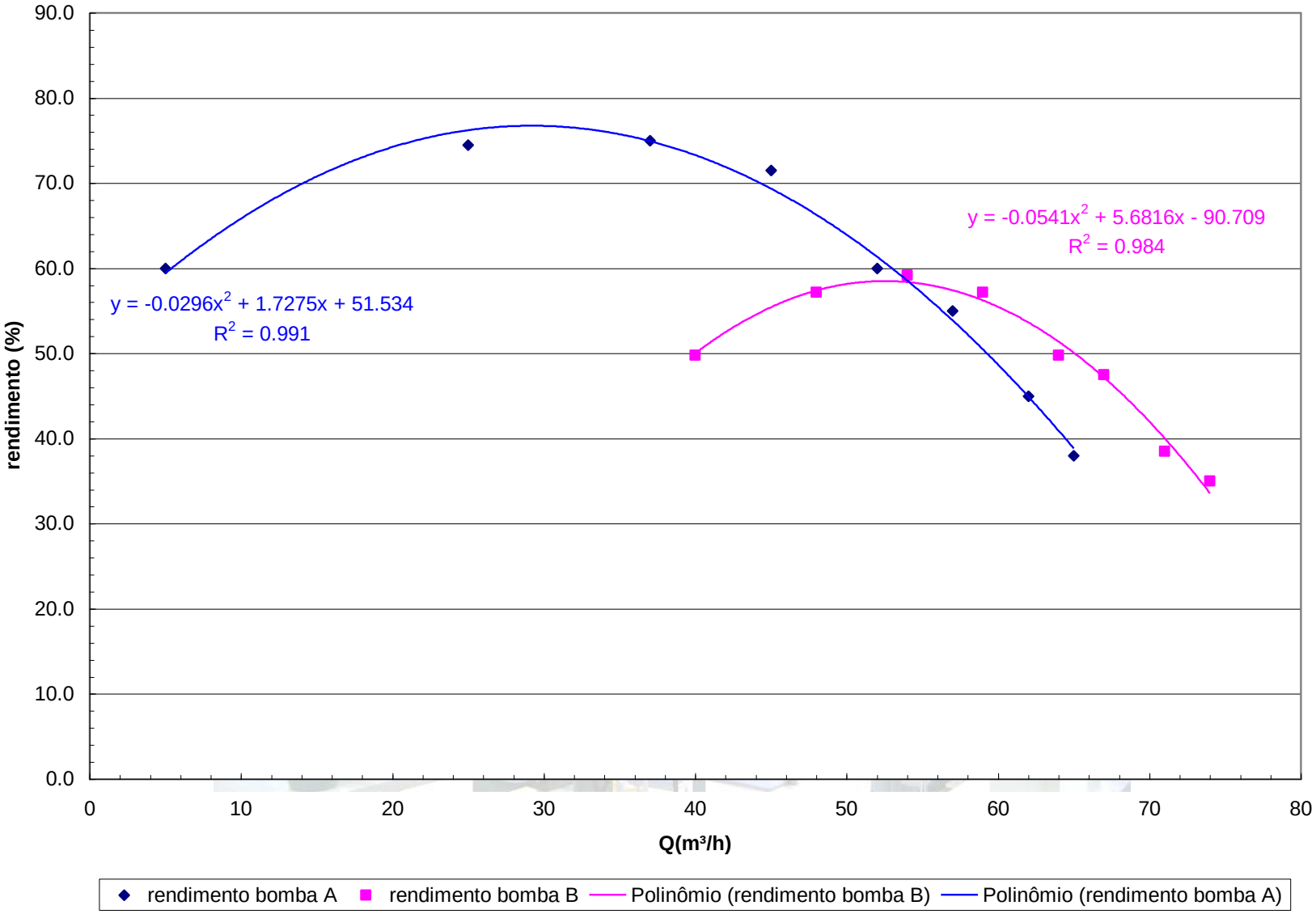
e sabendo-se que a CCI da instalação hidráulica se mantém praticamente inalterada para cada situação possível de operação, onde são dados:

- a carga estática da instalação é 22.8 m
- comprimento total (L + Σleq) é igual a 850 m
- coeficiente de perda de carga distribuída médio é 0.022
- diâmetro interno da instalação é 128.2 mm
- área da seção livre do tubo igual 129.1cm²
- existe a carga cinética na seção final em todas as situações

pede-se:

1. a vazão, a carga manométrica e o rendimento da bomba A e da bomba B operando isoladamente (valor 1,5);
2. a vazão (valor 0,5), a carga manométrica (valor 0,5) e o rendimento da associação paralelo das bomba A e da bomba B (valor 1,0)


70
60
50
40
30
20
10
0
HB (m)
0
20
40
60
80
Q(m³/h)
100
120
140
160
y = -0.0093x2 + 0.0977x + 64.351
R2 = 0.9964
y = -0.0163x2 + 0.8342x + 57.556
R2 = 0.9992
y = -0.0039x2 + 0.387x + 52.534
R2 = 0.9989


90.0
80.0
70.0
60.0
50.0
40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
rendimento (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Q(m³/h)
y = -0.0296x² + 1.7275x + 51.534
R² = 0.991
y = -0.0541x² + 5.6816x - 90.709
R² = 0.984
rendimento bomba A
rendimento bomba B
Polinômio (rendimento bomba B)
Polinômio (rendimento bomba A)

5º A figura 62 representa o esboço parcial da instalação hidráulica operando com a associação em série das bombas B7 (bancada 7) e B8 (bancada 8) que deve alimentar o reservatório 8 (figura 63)

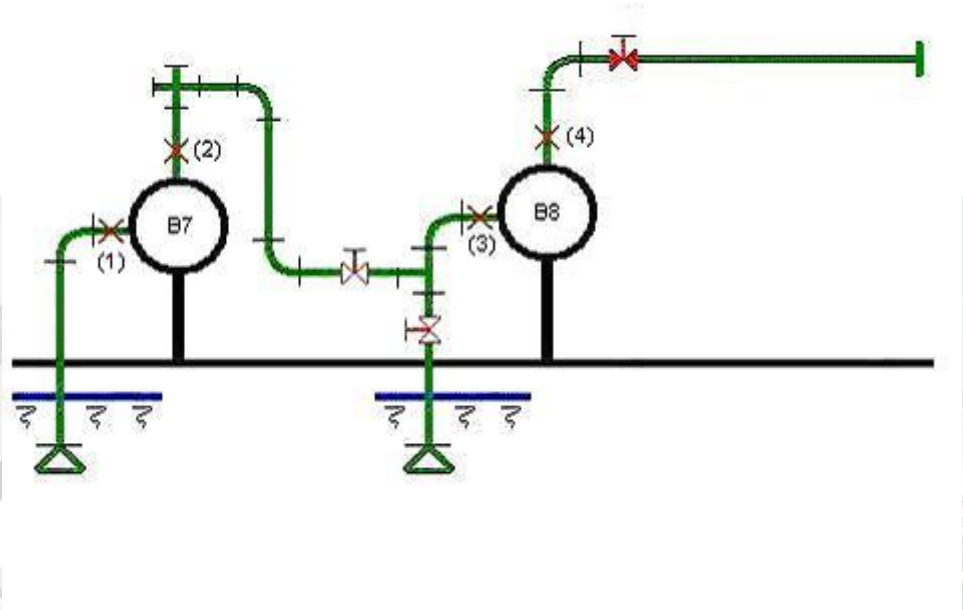


Figura 62

Reservatório 8

Figura 63

Para a vazão máxima, pede-se:

1. a carga manométrica da associação em série para a rotação de 3500 rpm (valor 1,5);
2. a perda de carga entre as seções (1) (entrada da B7) e a (4) (saída da B8) (valor 1,0).

Considere para as resoluções anteriores que:

$$Z_1 = Z_3$$
$$Z_2 = Z_4$$
$$Z_2 - Z_1 = 0{,}29\text{m}$$
$$\rho_{H_2O} = 998\,\frac{kg}{m^3}$$
$$g = 9{,}8\,\frac{m}{s^2}$$

Nós Desejamos...

que a felicidade não dependa do tempo,

nem da paisagem, nem da sorte, nem do dinheiro.

Que ela possa vir com toda a simplicidade,

de dentro para fora, de cada um para todos.

Que as pessoas saibam falar, calar,

e acima de tudo ouvir.

para que tenhamos certeza de que viver vale à pena.

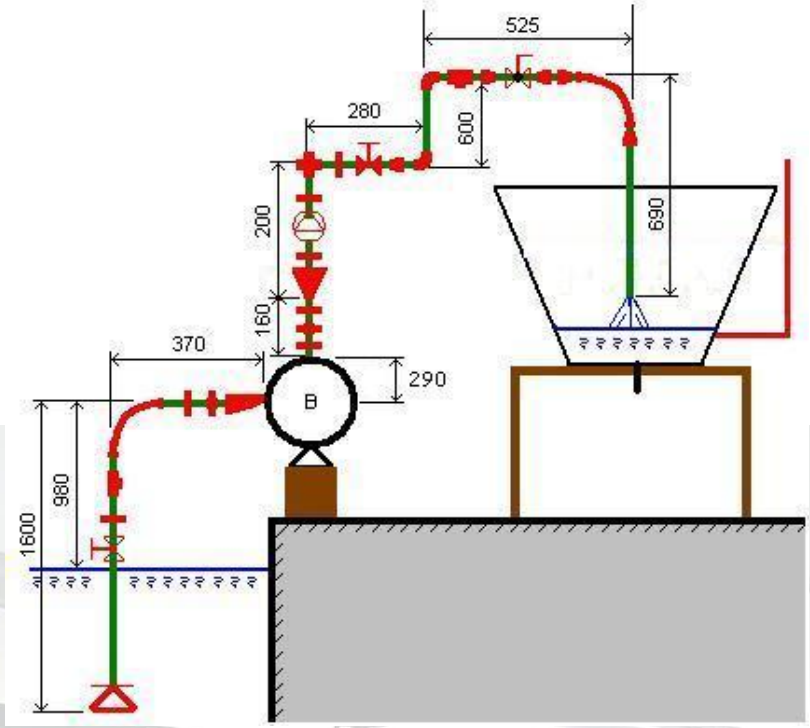
Reitoria PUC - SP

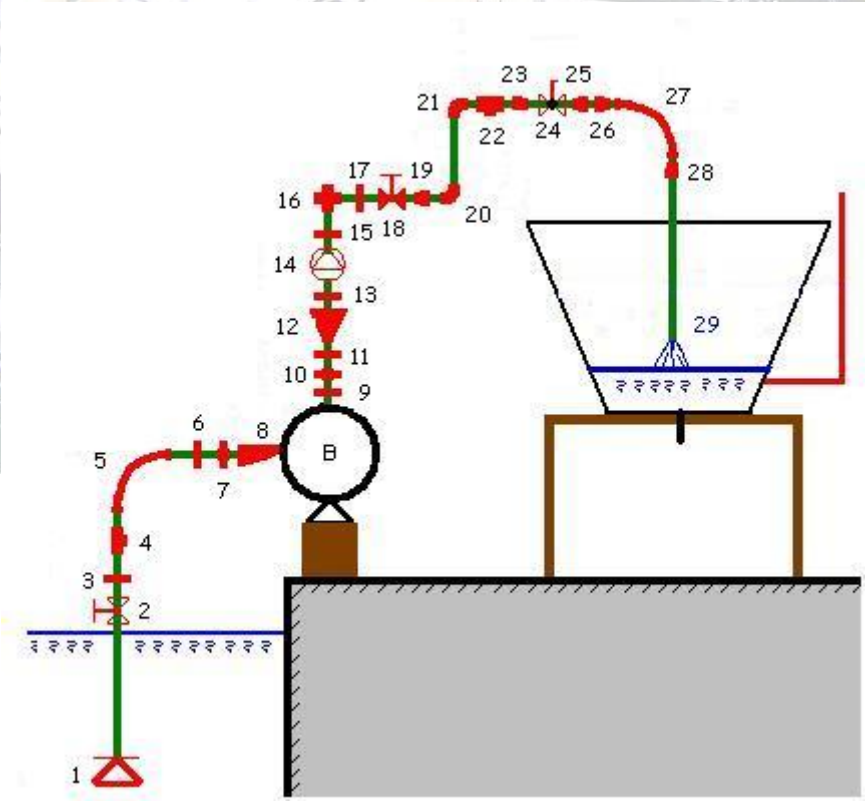
Supondo que a instalação hidráulica, que faz parte da bancada 8 do laboratório de mecânica dos fluidos (sala IS01 – Centro Universitário da FEI) teve toda a sua tubulação de PVC substituída por uma tubulação de aço 40 de diâmetro compatível ao diâmetro de PVC, que se eliminou as singularidades desnecessárias para estas substituições e que se substituiu a válvula esfera (24) por uma válvula gaveta, pede-se:

1. a equação da CCI em função dos coeficientes de perda de carga distribuída "f" e da vazão do escoamento (valor – 1,0);
2. o ponto de trabalho se a bomba original fosse substituída pela bomba cujas curvas encontram-se representadas no gráfico da página 256 (valor – 1,0).

Dados:

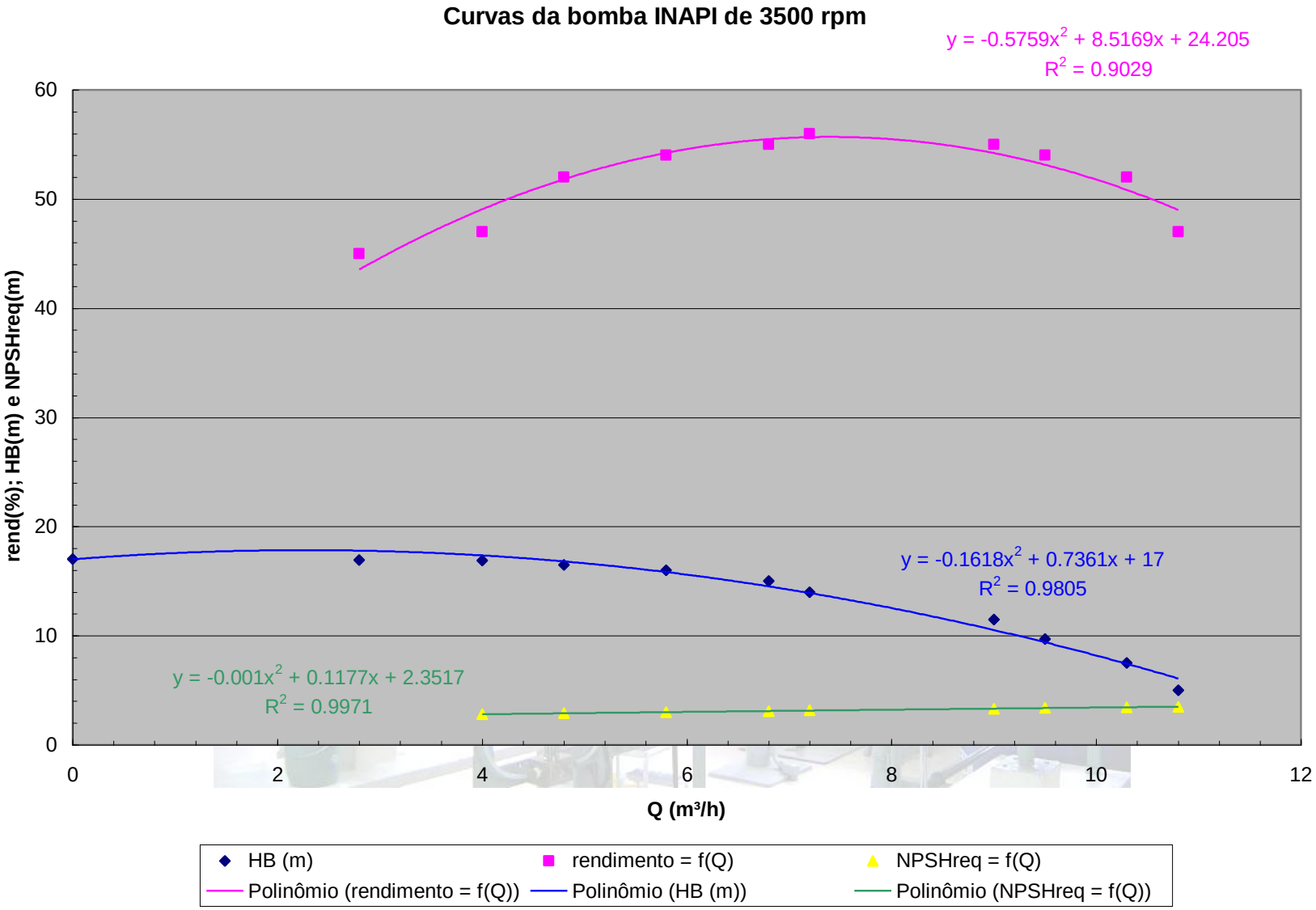
- ✓ os comprimentos das tubulações que foram relacionados no desenho permanecem praticamente os mesmos após as alterações propostas anteriormente;
- ✓ todos os comprimentos equivalentes devem ser obtidos na tabela da Tupy;
- ✓ o fluido a ser transportado será a água com massa específica igual a 998,01 kg/m³, viscosidade igual a 0,001008 Pa*s e pressão de vapor absoluta igual a 2337,2 Pa;
- ✓ aceleração da gravidade 9,8 m/s².
- ✓ para a determinação do novo ponto de trabalho considere $f_{médio} = 0{,}022$


525
280
600
200
690
160
370
290
B
980
1600


23
25
21
27
22
24
26
17
19
28
16
20
15
18
14
13
29
12
11
10
9
6
8
B
5
7
4
3
2
1

Observação: O comprimento equivalente do niple é igual ao comprimento equivalente da união

1. válvula de pé com crivo de 2"
2. válvula gaveta de 2"
3. niple de 2"
4. tê de redução de 2" para 1,5" e de passagem direta
5. curva longa fêmea de 90º e de 2"
6. niple de 2"
7. união de 2”
8. redução de 2” para 1,5”
9. niple de 1”
10. união de 1”
11. niple de 1”
12. ampliação de 1" para 1,5"
13. niple de 1,5"
14. válvula de retenção pesada de 1,5"
15. niple de 1,5"
16. cruzeta de 1,5" e de saída lateral
17. niple de 1,5"
18. válvula globo de 1,5"
19. adaptador de pvc de 1,5"
20. joelho de 90º de 1,5" de pvc
21. joelho de 90º de 1,5" de pvc
22. te de 1,5" de passagem direta de pvc
23. adaptador de pvc de 1,5"
24. válvula gaveta de 1,5"
25. adaptador de pvc de 1,5"
26. adaptador de pvc de 1,5"
27. curva longa fêmea de 90º e de 1,5"
28. adaptador de pvc de 1,5"
29. saída de tubulação

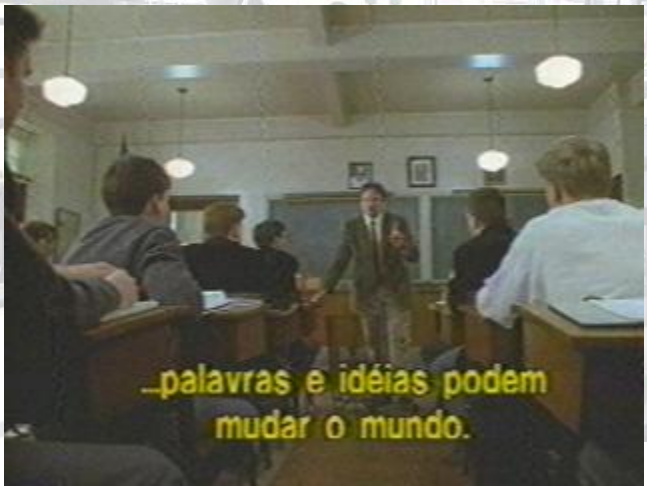

Curvas da bomba INAPI de 3500 rpm
y = -0.5759x2 + 8.5169x + 24.205
R2 = 0.9029
y = -0.1618x2 + 0.7361x + 17
R2 = 0.9805
y = -0.001x2 + 0.1177x + 2.3517
R2 = 0.9971
rend(%); HB(m) e NPSHreq(m)
Q (m³/h)
0
10
20
30
40
50
60
0
2
4
6
8
10
12
HB (m)
rendimento = f(Q)
NPSHreq = f(Q)
Polinômio (rendimento = f(Q))
Polinômio (HB (m))
Polinômio (NPSHreq = f(Q))

11.5. Resolução dos exercícios anteriores

As resoluções dos exercícios anteriores podem ser consultadas no sítio:

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/gabaritos_segunda_avaliacao.htm

"Estar continuamente se preparando, manter-se atualizado e observar o que há de novo são os preços a pagar pela excelência. Ela se constrói muito a partir do inconformismo, da eterna insatisfação, da seção eterna de achar que o trabalho pode levá-lo mais adiante. Acredito piamente que é preciso criar situações de desconforto para tirar o melhor das pessoas." - página 199 do livro - Bernardinho - Transformando Suor em Ouro - editado pela Sextante – 2006



A frase que também motivou o desenvolvimento deste curso no primeiro semestre de 2008.

11.6. Exercícios exemplos de avaliações

I. A instalação representada a seguir deve transportar óleo OC-4 para o processo químico (1) à razão de $Q_1\left(\frac{m^3}{h}\right)$ e para o processo (2) à razão de $Q_2\left(\frac{m^3}{h}\right)$. Sabendo-se que na entrada dos respectivos processos tem-se $p_4 = 1{,}8\,\frac{kgf}{cm^2}$ e $p_3 = 2{,}0\,\frac{kgf}{cm^2}$ e que a tubulação é de aço-carbono sem costura com diâmetro nominal de 2 ½" série 40, pede-se:

1. Explique, em relação às válvulas, o que se deve fazer para se ter a B_1 funcionando em paralelo com B_2.
2. Qual a vazão máxima recalcada na associação em paralelo da bomba B_1 com a bomba B_2 para o processo (1)?
3. Especifique o consumo mensal sabendo que a instalação opera 12 horas/dia e 22 dias/mês e que a rede é de 220V.
4. Verificar o fenômeno de cavitação sabendo que a pressão de vapor do óleo OC-4 para as condições do escoamento é 295,1 Pa(abs).
5. Sabendo-se que a velocidade econômica para o transporte do óleo é 1,8 m/s, qual a sua análise sobre o diâmetro especificado para o funcionamento da instalação considerada?

Dados: densidade do óleo nas condições de escoamento igual a $865\,\frac{kg}{m^3}$;

viscosidade $4{,}3 \times 10^{-3}\ Pa \times s$; $g = 9{,}8\,\frac{m}{s^2}$; $K_{aço} = 0{,}000046\ m$;

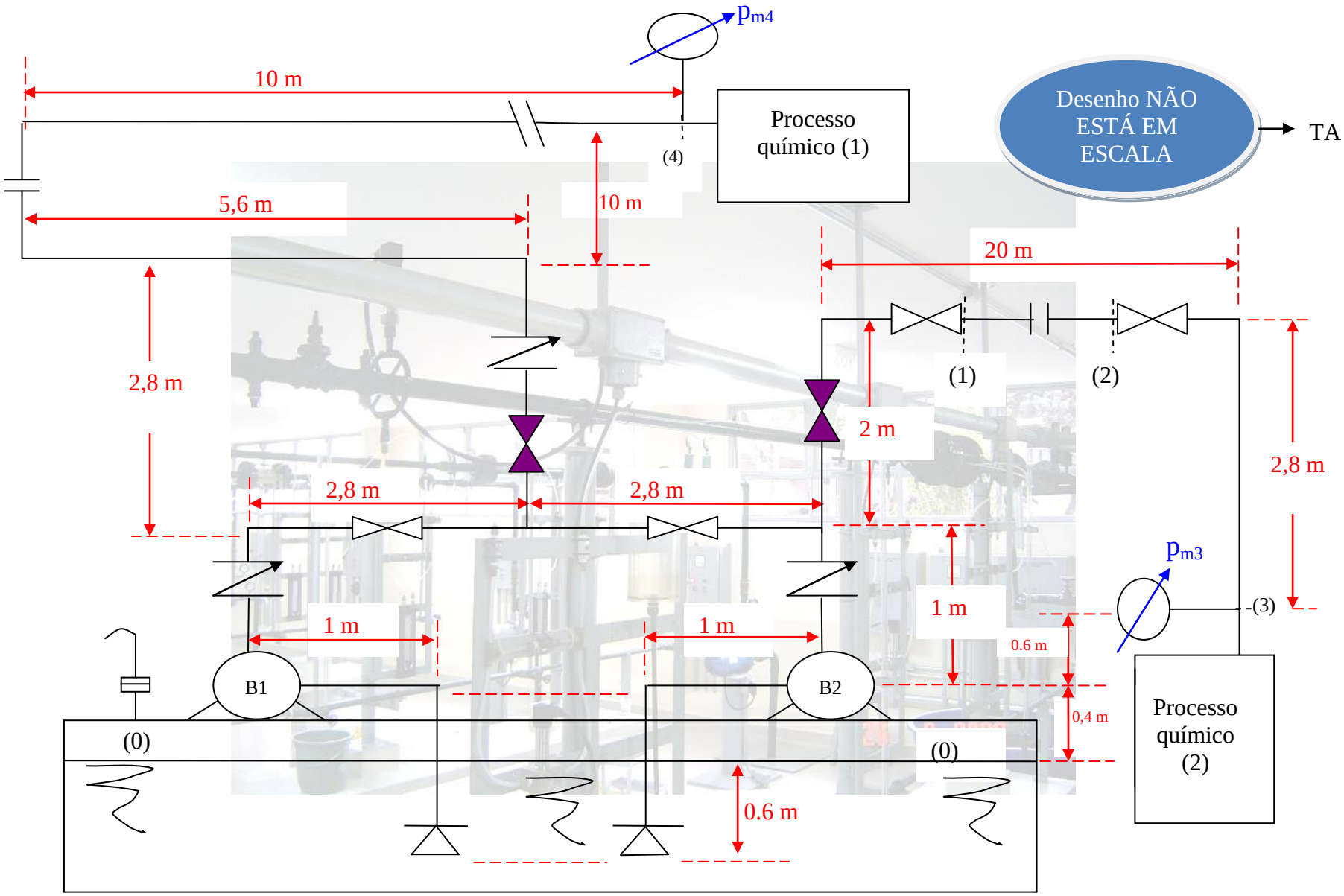
instalação onde o preço da bomba + motor elétrico + consumo de energia é menos significativo do que o preço da tubulação e seus

acessórios e motores elétricos normalizados em CV para a rede de 220 V: ½; ¾; 1; 1½; 2; 3; 5; 7½; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200 CV.

Importante: O coeficiente de perda de carga distribuída deve ser obtido pela fórmula de Swamee e Jain

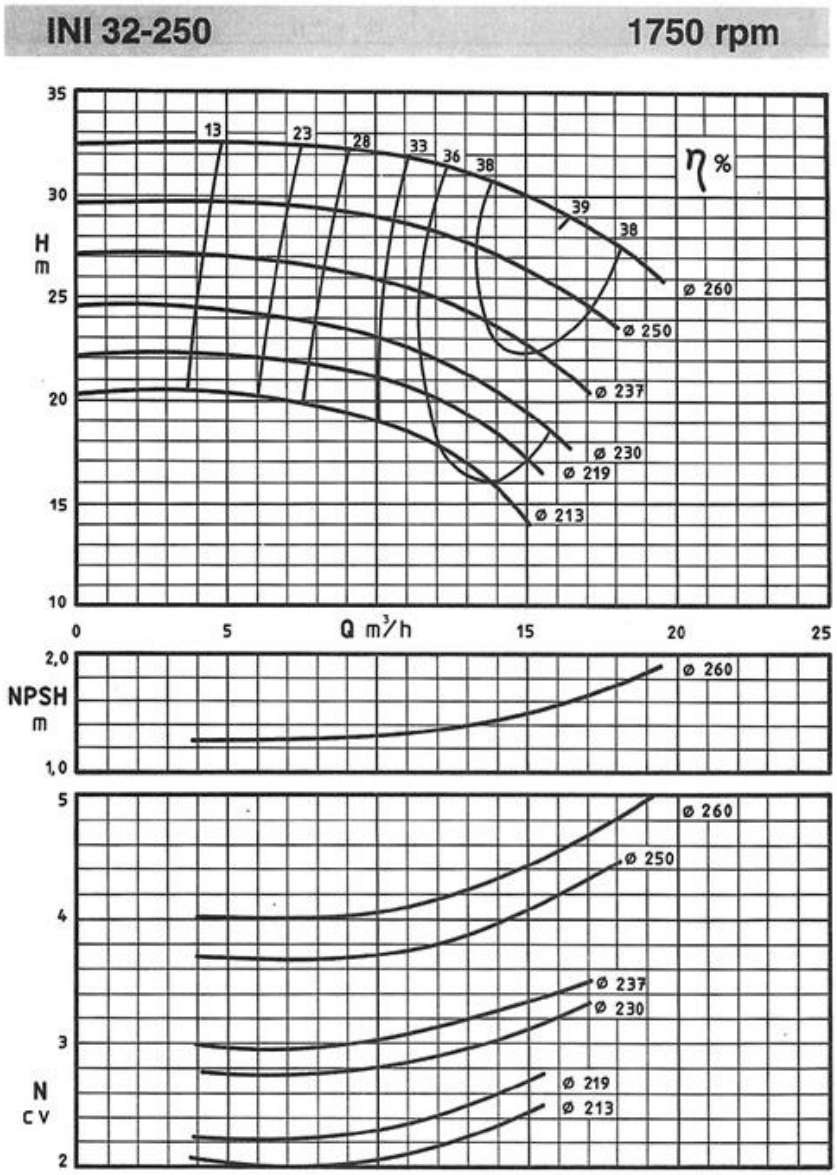
Características da bomba iniciais:

Q (m^3/h)	H_B(m)	NPSH (m)	η_B(%)
0,0	39,0		
5,0	36,0	0,4	45,0
7,5	35,0	1,4	60,0
10,0	32,5	2,4	70,0
12,5	29,5	3,1	77,5
15,0	26,0	3,7	79,0
17,5	21,0	4,0	71,0
20,0	15,5	4,7	56,0
22,5	9,0	5,4	44,5
25,0	2,0	5,9	37,0


pm4
10 m
Processo químico (1)
Desenho NÃO ESTÁ EM ESCALA
TA
(4)
5,6 m
10 m
20 m
2,8 m
(1)
(2)
2 m
2,8 m
2,8 m
2,8 m
pm3
1 m
1 m
1 m
-(3)
0.6 m
B1
B2
0,4 m
Processo químico (2)
(0)
(0)
0.6 m

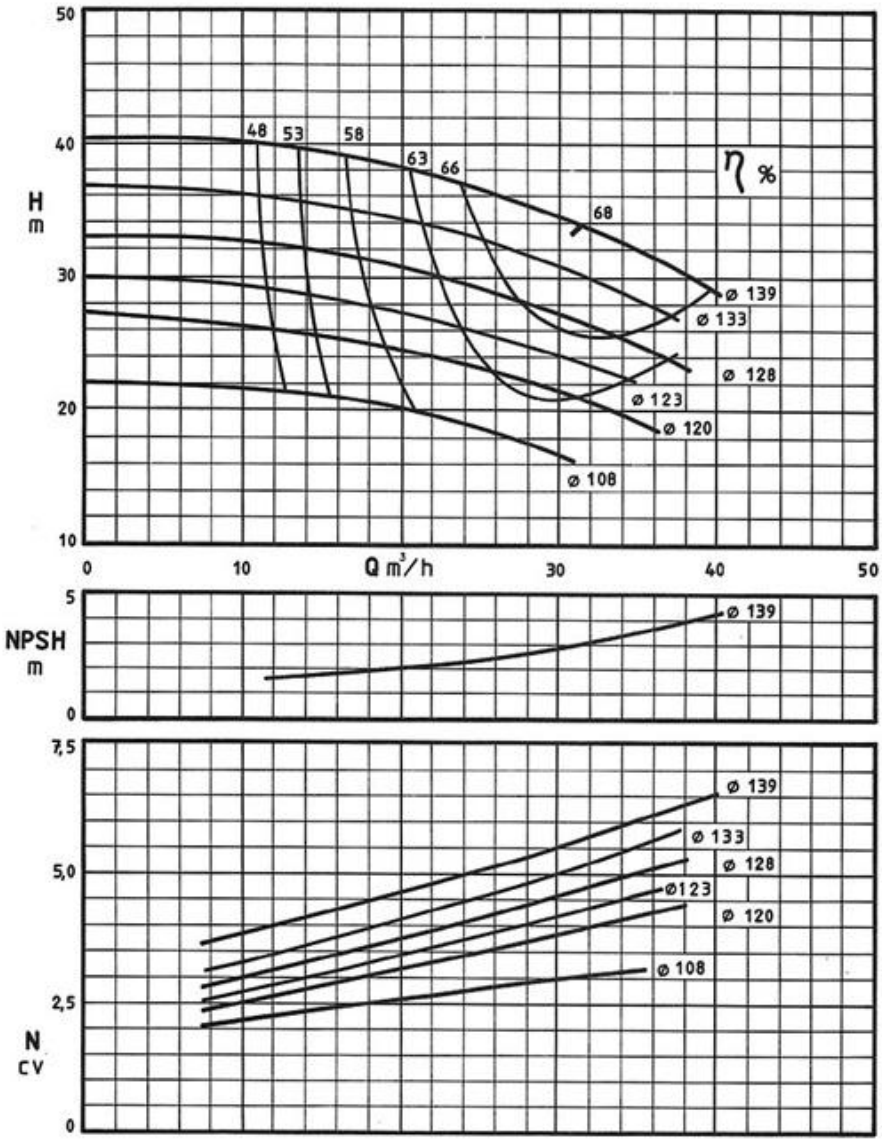
Representação das singularidades, corte de tubulação, manômetro e bomba da instalação anterior	
	Válvula de pé e crivo – L_{eq} = 17 m
	Cotovelo de 90^0 de raio curto– L_{eq} = 1,7 m
	Válvula de retenção tipo pesada – L_{eq} = 8,1 m
	Tê de passagem direta – L_{eq} = 1,3 m
	Tê de saída de lado– L_{eq} = 4,3 m
	Válvula gaveta– L_{eq} = 0,4 m
	Indica que o esquema representa parte da tubulação, ou seja, a representação do tubo foi cortada
	Manômetro metálico tipo Bourdon (pressão manométrica)
B	Bomba hidráulica
	Válvula globo– L_{eq} = 21 m

Se a bomba inicial não servir, pergunta-se se a INI 32-250 com 1750 rpm ou 3500 rpm, podem solucionar o problema.



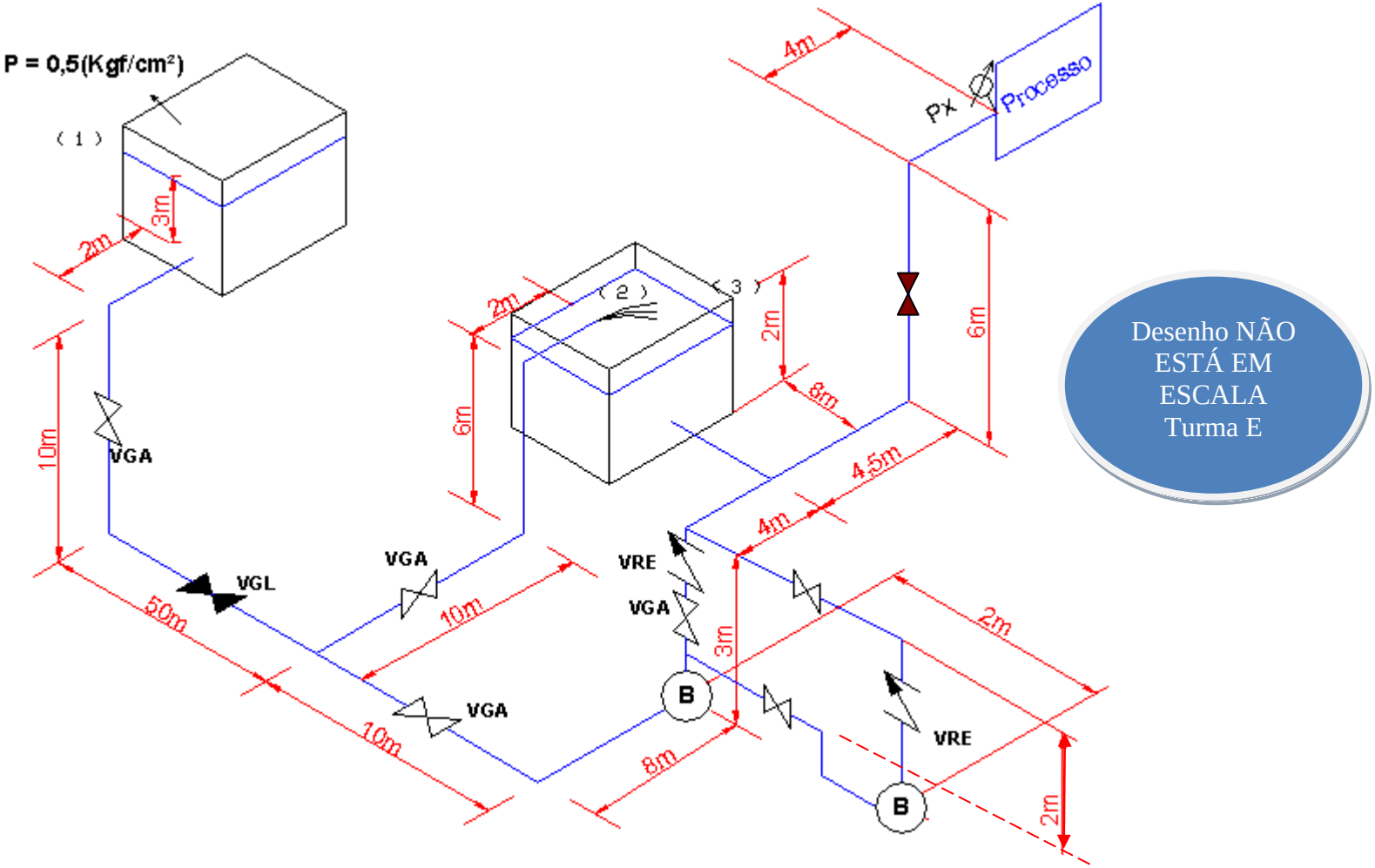
Rotor Ø Máximo	260 mm	Flange sucção	50 mm
Rotor Ø Mínimo	213 mm	Flange pressão	32 mm
Largura do Rotor	8 mm	Peso específico	$\gamma = 1$ kgf/dm³
Viscosidade	$\mu = 1$ cP		

INI 32-125 3500 rpm

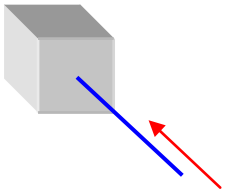
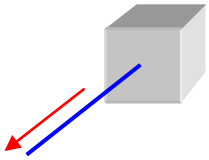


Rotor Ø Máximo	139 mm	Flange sucção	50 mm
Rotor Ø Mínimo	108 mm	Flange pressão	32 mm
Largura do Rotor	9 mm	Peso específico	$\gamma = 1$ kgf/dm³
Viscosidade	$\mu = 1$ cP		

II.



Desenho NÃO ESTÁ EM ESCALA
Turma E

Representação das singularidades, corte de tubulação, manômetro e bomba da instalação anterior	
	Válvula de poço – L_{eq} = 21 m
	Cotovelo de 90^0 de raio curto L_{eq} = 1,5 m
	Válvula de retenção com portinhola L_{eq} = 6,8 m
	Tê de passagem direta – L_{eq} = 1 m
	Tê de saída de lado– L_{eq} = 3 m
	Válvula gaveta– L_{eq} = 0,4 m
	Indica que o esquema representa parte da tubulação, ou seja, a representação do tubo foi cortada
	Manômetro metálico tipo Bourdon (pressão manométrica)
	Entrada de reservatório – L_{eq} = 1,3 m
	Saída de reservatório– L_{eq} = 2,5 m

B	Bomba
	Válvula GLOBO– L_{eq} = 17,5 m

A instalação hidráulica anterior pode operar por gravidade, quando o tanque superior está pressurizado, ou com auxílio de uma **bomba 1**, quando o tanque superior estiver sujeito à pressão atmosférica **e neste caso** alimenta o reservatório II. Para alimentar o processo que apresenta uma pressão manométrica em sua entrada igual a $p_X = 7{,}2\,\frac{kgf}{cm^2}$, deve-se ter a associação em série das bombas, que são consideradas iguais. Sabendo-se que o diâmetro da tubulação de recalque é de 2" , pergunta-se:

1. qual a máxima vazão que alimentará o processo (a associação em série das bombas)?
2. qual a potência mensal consumida, sabendo-se que a instalação opera 12 horas/dia por gravidade e 12 horas/dia com a bomba? Supor mês de 22 dias e que a rede é 220V?
3. ocorre o fenômeno de cavitação?
4. o diâmetro utilizado na instalação é adequado?

Dados: tubulações de aço com diâmetro nominal de 2" (obter as características da tubulação na tabela normalizada para tubos de aço ANSI B.36.10 e B.36.19) com a designação da espessura 160; água a 22ºC - $g = 9{,}8\,\frac{m}{s^2}$; instalação onde o preço da bomba + motor elétrico + consumo de energia elétrica é mais significativo do que o preço da tubulação e

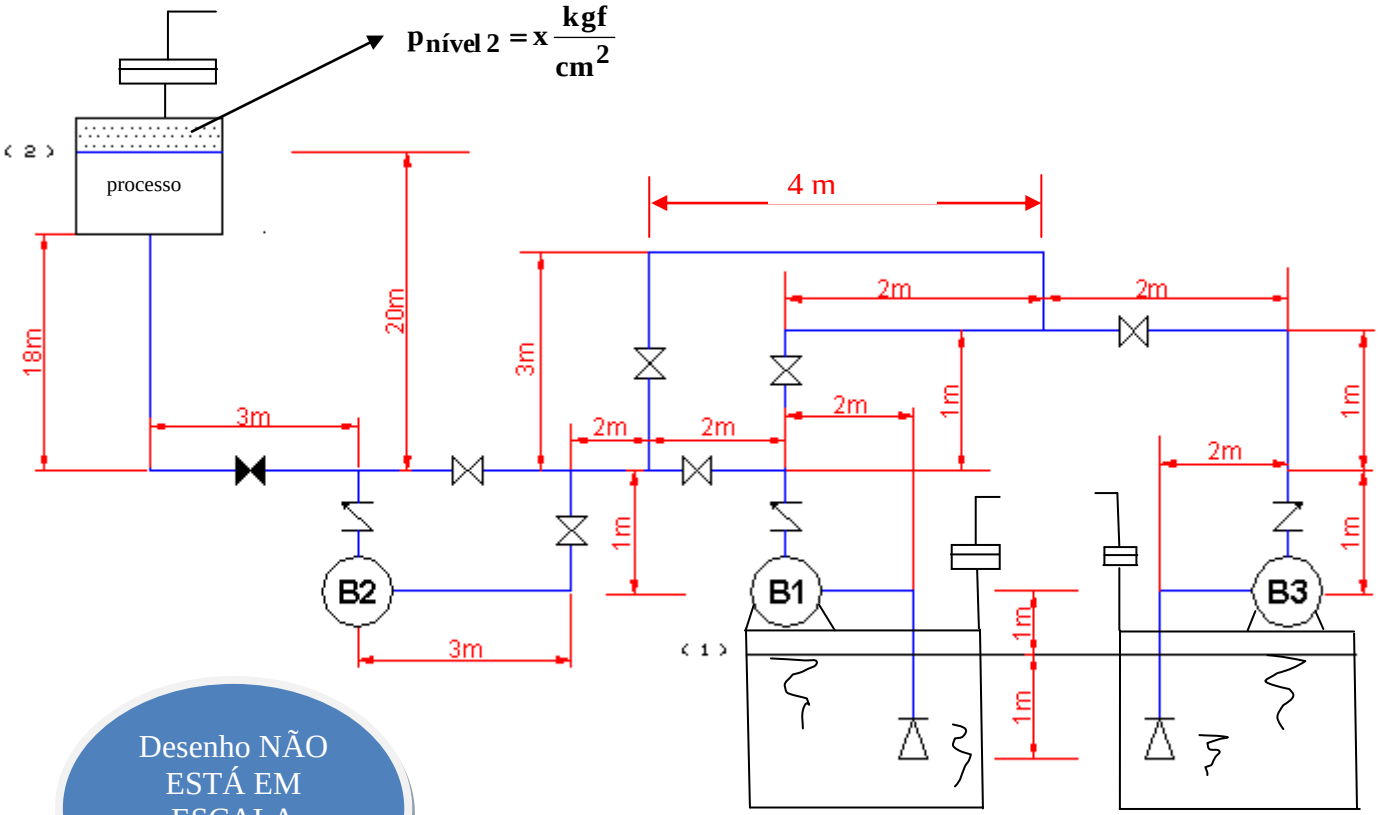
seus acessórios e motores elétricos normalizados em CV para rede de 220V: ½; ¾; 1; 1½; 2; 3; 5; 7½; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200 CV

Importante: O coeficiente de perda de carga distribuída deve ser obtido pela fórmula de Swamee e Jain

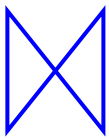
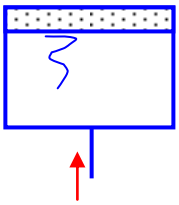
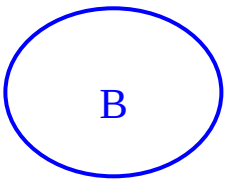
Características da bomba

Q (m^3/h)	H_B(m)	NPSH (m)	η_B(%)
0	80,0		
10	79,0	0,4	52,5
20	78,0	1,4	59,0
25	75,0	2,4	64,5
30	71,5	3,1	72,5
35	66,0	3,7	64,5
40	57,5	4	59,0
45	45,0	4,7	52,5
50	30,0	5,4	40,0

III.



Desenho NÃO ESTÁ EM ESCALA
Turma H

Representação das singularidades, corte de tubulação, manômetro e bomba da instalação anterior	
	Válvula de pé e crivo – L_{eq} = 39 m
	Cotovelo de 90^0 de raio curto L_{eq} =5,64 m
	Válvula de retenção tipo leve L_{eq} = 12,5 m
	Tê de passagem direta – L_{eq} = 0,99 m
	Tê de saída de lado– L_{eq} = 8,23 m
	Válvula gaveta – L_{eq} = 1,1 m
	Entrada de reservatório L_{eq} = 2,5 m
	Bomba hidráulica

	Válvula globo– L_{eq} = 51 m

A planta anterior entre as muitas possibilidades de funcionamento tem-se:

1. (óleo combustível com baixo teor de enxofre) a 25 ^{0}C, o que equivale dizer que sua densidade é igual a $940\,\frac{kg}{m^3}$ e sua viscosidade cinemática igual a 1000 cS (centiStokes) e nesta situação o tanque do processo encontra-se pressurizado com uma pressão igual a $1{,}3\,\frac{kgf}{cm^2}$;

2. só a bomba B3 funcionando recalcando uma vazão Q_1 de óleo BTE (óleo combustível com baixo teor de enxofre) a 50 ^{0}C, o que equivale dizer que sua densidade é igual a $920\,\frac{kg}{m^3}$ e sua viscosidade cinemática igual a 600 cS (centiStokes) e nesta situação o tanque do processo encontra-se pressurizado com uma pressão igual a $0{,}75\,\frac{kgf}{cm^2}$

3. associação em série das bombas B1 e B2 quando o tanque do processo encontra-se pressurizado com uma pressão igual a $1{,}62\,\frac{kgf}{cm^2}$, neste caso tem-se uma vazão Q_1 de óleo BTE (óleo combustível com baixo teor de enxofre) a 60 ^{0}C, o que equivale dizer que sua densidade é igual a $900\,\frac{kg}{m^3}$ e sua viscosidade cinemática igual a 400 cS (centiStokes)

Q (litro/s)	HB(m)	η(%)
0,0	54,0	-
9,0	53,0	39,5
18,0	51,0	44,0
27,0	49,0	49,5
36,0	46,0	60,0
45,0	40,5	71,5
54,0	36,0	60,0
63,0	25,5	49,5
70,0	17,0	44,0

Dados: tubulações de aço com diâmetro nominal de 6" com a designação da espessura 40 (obter as características da tubulação na tabela normalizada para tubos de aço ANSI B.36.10 e B.36.19); instalação onde o preço da bomba + motor elétrico + consumo de energia elétrica é mais significativo do que o preço da tubulação e seus acessórios e motores elétricos normalizados em CV para rede de 220V: ½; ¾; 1; 1½; 2; 3; 5; 7½; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200 CV.

Importante: O coeficiente de perda de carga distribuída deve ser determinado pelos conceitos apresentados no curso básico de mecânica dos fluidos.

Para a associação em série das bombas B1 e B2 (situação 3), pede-se:

1. Existe a necessidade de corrigir os dados do fabricante para as bombas devido à viscosidade do óleo BTE? Explique detalhadamente.
2. Explique, em relação às válvulas, o que se deve fazer para se ter as bombas B1 e B2 operando em série.
3. Qual o ponto de trabalho obtido nesta situação?
4. Especifique o consumo mensal, sabendo que instalação irá operar 12 horas por dia em mês de 22 dias.
5. Analise o diâmetro da instalação e se necessário proponha as alterações necessárias.

IV. Projetou-se a bancada a seguir (página 346) para obtenção da queda de pressão propiciada pela passagem da água a 25 ^{0}C por certo trocador de calor. A bomba centrifuga selecionada para a bancada foi à bomba ALE – 56 de características conhecidas e com diâmetro do rotor igual a 208 mm. Determinar:

a. a máxima potência da bomba, sem o trocador de calor;
b. a potência consumida mensalmente, sabendo que a instalação opera 4 horas por dia e 20 dias no mês;
c. instalado o trocador de calor na instalação (trecho de 2m entre flanges), a vazão diminui 30% em relação à vazão máxima (sem trocador), nesta situação determine a queda de pressão causada pelo trocador de calor.

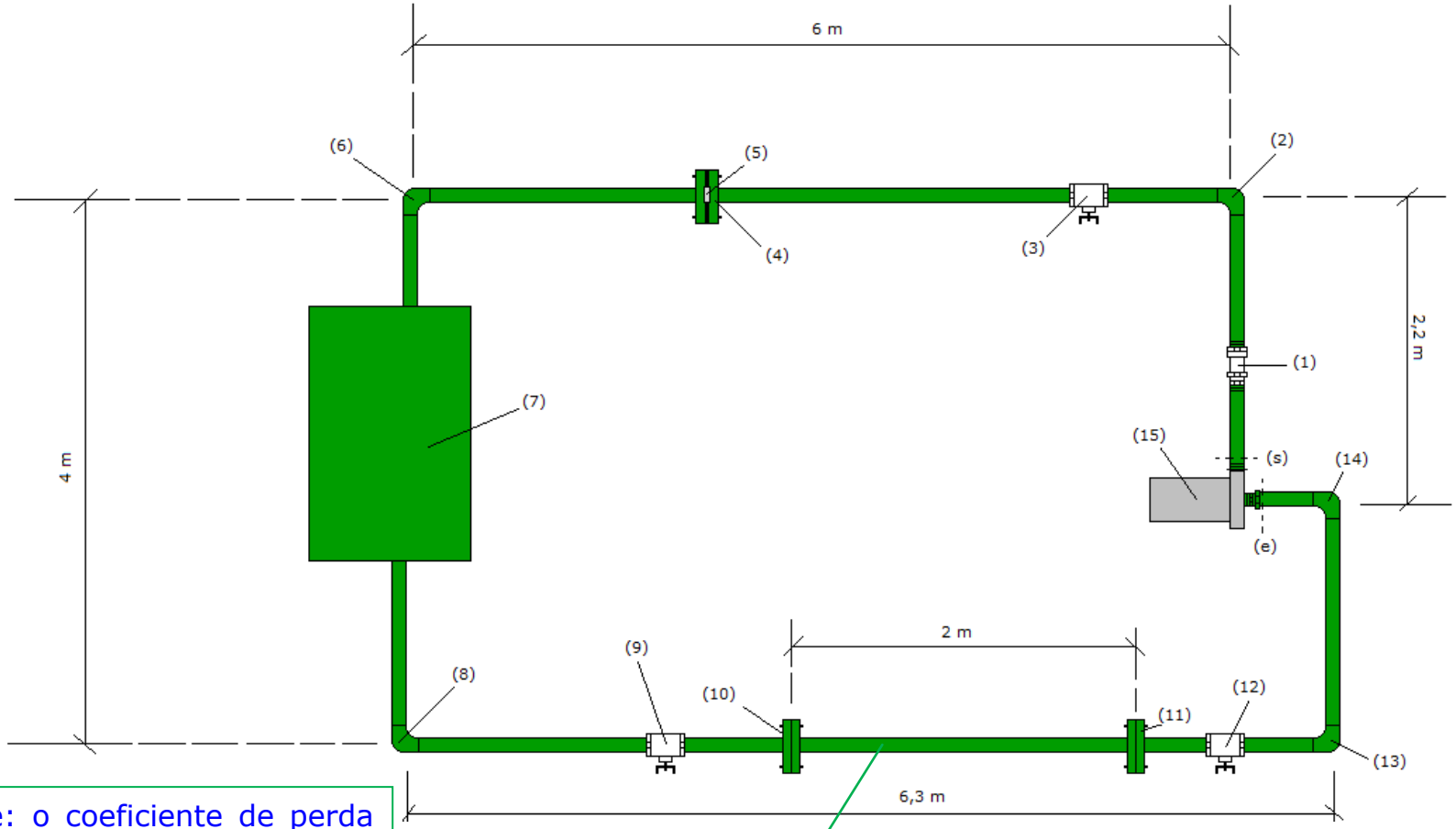
Dados: tubulação de aço com diâmetro nominal de 1,5”(obter as características da tubulação na tabela normalizada para tubos de aço ANSI B.36.10 e B.36.19) com a designação de espessura 40; motores elétricos normalizados em CV para rede de 220V: ½; ¾; 1; 1,5; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200 CV.

Legenda	Acessório hidráulico	Comprimento equivalente (m)
(1)	Válvula de retenção vertical da Mipel	17,07
(2)	Cotovelo de 90^0 da Tupy	1,41
(3)	Válvula globo reta sem guia da Mipel	13,72
(4)	Flange	Desprezível
(5)	Placa de orifício	2,0
(6)	Cotovelo de 90^0 da Tupy	1,41
(7)	Reservatório	Desprezível
(8)	Cotovelo de 90^0 da Tupy	1,41
(9)	Válvula gaveta da Mipel	0,55
(10)	Flange	Desprezível
(11)	Flange	Desprezível
(12)	Válvula gaveta da Mipel	0,55
(13)	Cotovelo de 90^0 da Tupy	1,41

Legenda	Acessório hidráulico	Comprimento equivalente (m)
(14)	Cotovelo de 90^0 da Tupy	1,41
(15)	Conjunto motobomba	Desprezível

Dados parciais da bomba ALE – 56

Q (m^3/h)	H_B (m)	η_B (%)
0	24,0	
8	22,8	
12	22,0	50,5
14	21,5	55,5
16	21,0	59,0
18	20,7	62,0
20	20,2	65,0
22	19,8	65,8
24	19,2	66,4
26	18,5	66,2
28	17,8	65,8



Importante: o coeficiente de perda de carga distribuída deve ser determinado pela fórmula de Churchill.

Trecho onde é instalado o trocador de calor

V. Uma instalação com apenas um diâmetro, que no caso é de aço 40 com diâmetro nominal de 2" foi projetada para transportar um fluido viscoso que na temperatura de escoamento apresenta massa específica igual a 800 kg/m³ e viscosidade dinâmica igual a 0,04 Pa*s. Nas condições anteriores o escoamento do fluido viscoso pela instalação originou uma CCI representada pela equação: $H_s = 14 + 1943484{,}95 \times f \times Q^2$ com H_s em "m" e Q em "m³/s". A bomba escolhida de 3500 rpm e que encontra-se acoplada a um motor de 2 pólos apresenta no catálogo do fabricante as seguintes características:

Q (L/s)	H_B (m)	η_B (%)
0	30,0	
1,2	29,5	30,0
2,2	28,5	50,0
3,2	27,2	64,8
4,4	25,0	74,0
5,0	23,7	74,6
6,0	21,2	70,0
6,8	18,9	62,0
7,6	16,4	49,0
8,4	13,8	30,0

Para a condição de máximo rendimento (ponto de projeto do fabricante), através do gráfico de correção do Hydraulic Institute têm-se os coeficientes:

$K_\eta = 0{,}78; K_Q = 0{,}85; K_{H_{1,2Q}} = 0{,}89; K_{H_{1,0Q}} = 0{,}91; K_{H_{0,8Q}} = 0{,}93$ e $K_{H_{0,6Q}} = 0{,}95$

No intuito de se propiciar uma redução no consumo de energia e em consequência uma diminuição de emissão de CO_2, foi instalado um inversor de frequência, o qual permite o controle da vazão sem

recorrer ao fechamento, ainda que parcial, da válvula de controle da vazão.

No caso de se desejar uma redução de 30% da vazão máxima, qual deveria ser a frequência imposta ao inversor de frequência?

Importante: se houver necessidade, o coeficiente de perda de carga deve ser determinado pela fórmula de Churchill.

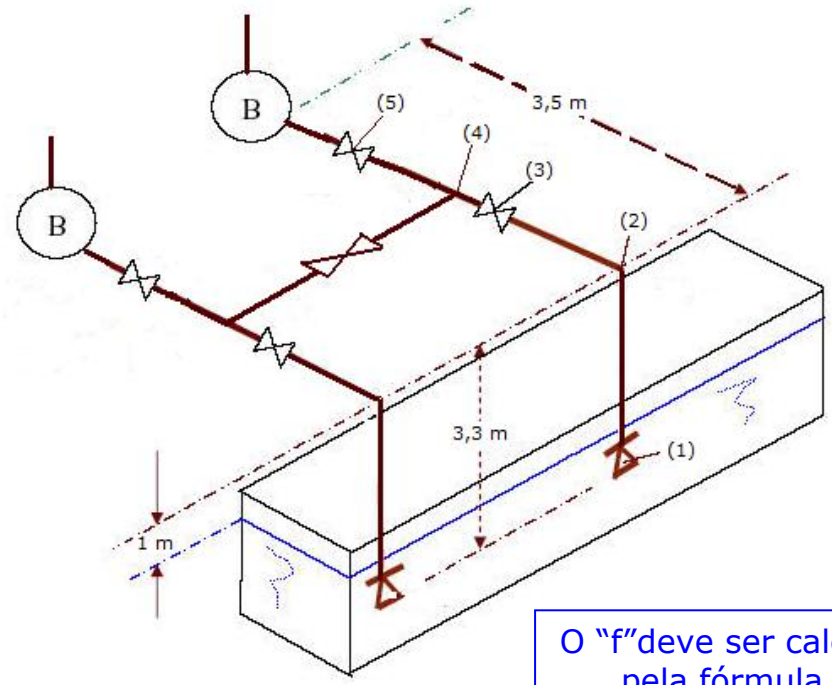
VI. O esboço a seguir representa um trecho de uma instalação hidráulica que tem um único diâmetro de tubulação de aço 40 ($D_{nominal}$ = 3”) que opera com a associação em paralelo de duas bombas iguais e que apresentam as seguintes características extraídas do catálogo do fabricante:

Q (L/s)	H_B (m)	NPSH (m)
0,0	28,1	
4,2	27,1	3,0
6,0	26,1	3,4
6,9	24,9	4,0
8,0	23,8	4,5
8,7	22,4	5,0
9,7	21,2	5,6
10,1	20,5	6,0

A CCI da instalação operando com as bombas associadas em paralelo para o bombeamento da água a 30^0C é representada pela equação a seguir onde o H_s está em “m” e a Q está em “m³/s”:

$$H_s = 3{,}8 + 10834{,}9 \times Q_a^2 + f_{Q_a/2} \times 911375{,}5 \times Q_a^2 + f_{Q_a} \times 900977{,}7 \times Q_a^2 + \left(\sum Ndis_{antes\ das\ bombas} / \gamma \times Q_a \right)$$

Sabendo que a pressão barométrica é igual a 0,98 bar e que a pressão absoluta de vapor da água nas condições de escoamento é 4241,5 Pa, pede-se verificar a existência, ou não, do fenômeno de cavitação.



O "f"deve ser calculado pela fórmula de Churchill.

Legenda	Singularidade	Leq (m)
1	Válvula de poço da Mipel	32,00
2	Cotovelo de 90^0 da Tupy	2,82
3	Válvula gaveta da Mipel	1,03
4	Tê de passagem direta da Tupy	0,50
5	Válvula gaveta da Mipel	1,03