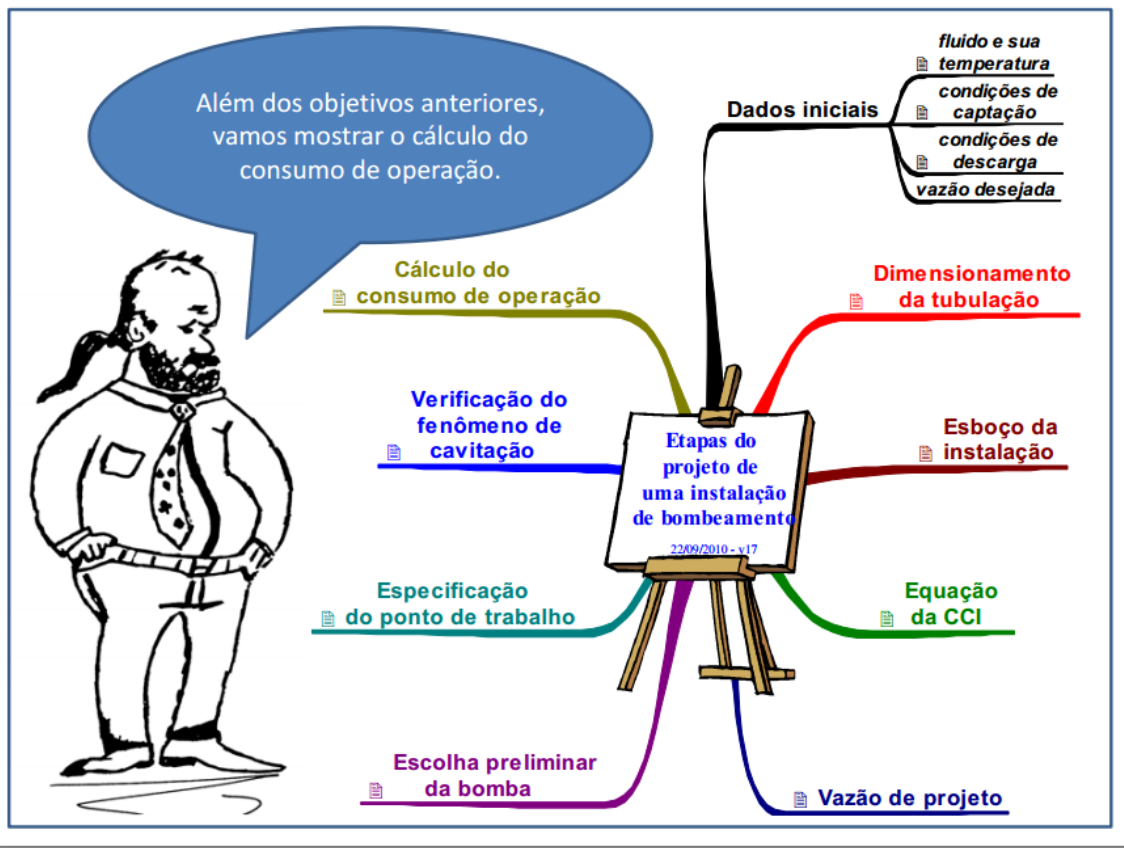
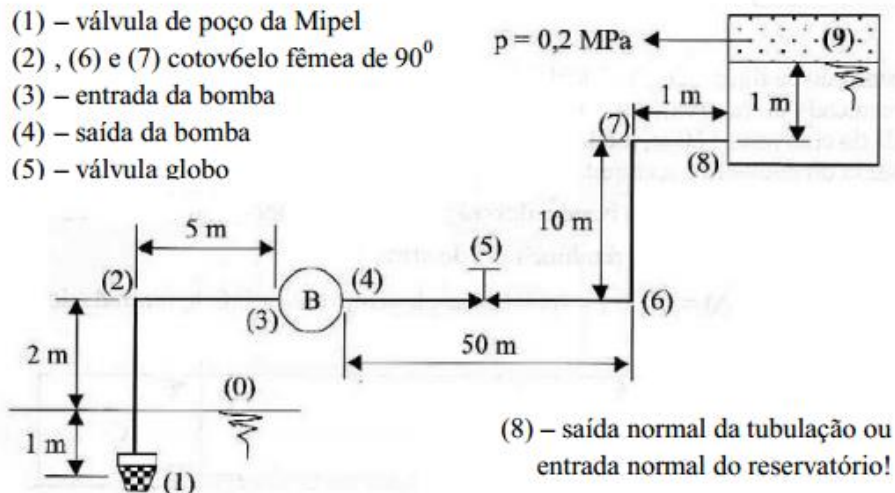


Aula 5 de teoria de ME5330 – segundo semestre de 2014



Antes de apresentar a solução do problema proposto na aula anterior: VERIFICAR A EXISTÊNCIA, OU NÃO, DA CAVITAÇÃO NA ENTRADA DA BOMBA (SUPERCAVITAÇÃO), gostaria de refletir sobre o que observamos na apresentação da primeira solução do problema do desenvolvimento do projeto de uma instalação de bombeamento.

Considerando a instalação de recalque (linha de sucção + linha de recalque) cujo esboço é dado pela figura 1 e que foi projetada para transportar água a 25°C com uma vazão desejada igual a 10L/s, especifique a bomba adequada e o seu ponto de trabalho.



Data: 24 / 08 / 2014.

(1)

Vamos analisar a solução apresentada para o exercício da aula anterior.

1ª SITUAÇÃO → ao errar o valor do peso específico do fluido bombeado, cometemos uma imprecisão no cálculo da carga estática (Hest) ↓

→ VALOR ERRADO → $H_{est} = 33\text{ m}$

→ VALOR CERTO → $H_{est} = 33,5\text{ m}$

Aparentemente um pequeno erro, já que é da ordem de 1,52%, mas vamos analisar um pouco mais esta situação.

Com a carga estática errada ($H_{est} = 33\text{ m}$), obtivemos o seguinte ponto de trabalho: $Q_G = 39,88\text{ m}^3/\text{h}$

$$H_{BG} = 40,45\text{ m}$$

$$\eta_{BG} = 59\%$$

$$NPSH_G = 1,95\text{ m}$$

$$N_{BG} = 74206\text{ W}$$



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

2

Data: 24 / 08 / 2014

Já com a carga estática certa ($H_{est} = 33,5m$), obtivemos o seguinte ponto de trabalho:

$$Q_G = 38,77 m^3/h \rightarrow \text{diferença} \approx 2,9\%$$

$$H_{BG} = 40,56 m \rightarrow \text{diferença} \approx 0,27\%$$

$$\eta_{BG} = 58,6\% \rightarrow \text{diferença} \approx 0,68\%$$

$$NPSH_G = 1,89 m \rightarrow \text{diferença} \approx 3,2\%$$

$$N_{BG} = 7283,1 W \rightarrow \text{diferença} \approx 1,89\%$$

Se pensarmos em média, poderíamos afirmar que a diferença média de um caso para o outro foi de $\approx 1,8\%$ e aí poderíamos concluir:

"COM ESTA DIFERENÇA NAO TEM SENTIDO FALAR QUE A PRIMEIRA SITUAÇÃO ESTÁ ERRADA!"

O que a turma acha?

O que os monitores acham?

SERÁ QUE REALMENTE DEVO CONSIDERAR PRATICAMENTE CERTO?



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

Data: 24, 08, 2014

(3)

Vamos voltar e ver quais eram os valores desejados e de projeto, isto com o fator de segurança mínimo, ou seja mas podemos trabalhar abaixo deles.

$$Q_{desejada} = 104/s$$

Adotando o fator de segurança MÍNIMO, ou seja, 1,1 obtivemos

$$Q_{projeto} = 114/s = 39,6 m^3/h$$

$$H_{B_{projeto}} = ?$$

$$p/ H_{est} = 33 m \rightarrow H_{Bp} = 40,34 m$$

$$p/ H_{est} = 33,5 m \rightarrow H_{Bp} = 40,84 m$$

Portanto com a $H_{est} = 33 m$ concluiríamos que a bomba KSB 50-315 C/ 1750 rpm



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

e $D_{rotor} = 296 mm$
é a apropriada p/ o projeto.

4

Data: 24/08/2014

Já para a $H_{est} = 33,5\text{ m}$
concluiríamos que a
mesma bomba NÃO SERIA
APROPRIADA.

E AGORA?

SERÁ QUE A DIFERENÇA
OBSERVADA INFLUENCIA
NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA?

É por este motivo em
uma disciplina das
CIÊNCIAS EXATAS em muitos
casos não se pode tolerar
erros e não se considera
o que se intitula "ESTÁ
QUASE CERTO!"

Diante da situação e
com a diferença para
alguns ($0,83\text{ m}^3/\text{h} = 830\text{ L/h} = 19920\text{ L/dia}$)
ser muito pequena, devemos
verificar se a mesma
não ocorreu pelo uso da
planilha eletrônica, diante
disto, vamos fazer a
CCI no próprio gráfico
do fabricante.



Antes vamos refazer a leitura dos ponto do $H_B = f(Q)$ do gráfico do fabricante

Data: 01/09/2014

4A

Nova leitura da curva do fabricante para a bomba KSB 50-315 com 1750 rpm e $D_{rota} = 296 \text{ mm}$

Q (m ³ /h)	0	10	20	30	40	50	60
HB (m)	43,5	43	42,5	42	41	39,5	35

Através do EXCEL, obtemos $HB = -0,0028 \times Q^2 + 0,0332 \times Q + 43,5$.

Como $H_s = 0,0043Q^2 + 0,0154Q + 33,5$ e no ponto de trabalho temos $HB = H_s$, resulta:

$$-0,0028Q^2 + 0,0332Q + 43,5 = 0,0043Q^2 + 0,0154Q + 33,5$$
$$7,1 \times 10^{-3}Q^2 - 0,0178Q - 10 = 0$$

$$Q_0 = \frac{0,0178 \pm \sqrt{0,0178^2 + 4 \times 7,1 \times 10^{-3} \times 10}}{2 \times 7,1 \times 10^{-3}}$$

$$Q_0 = 38,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

↳ confirma que é menor que a $Q_{projeto}$ mínima,

portanto TEMOS QUE ALTERAR A ESCOLHA.

Como última tentativa vamos procurar resolver o problema traçando a CCI sobre a curva fornecida pelo fabricante.

Data: 24/08/2014

(5)

Pelo gráfico construído com a linha verde, obtemos:

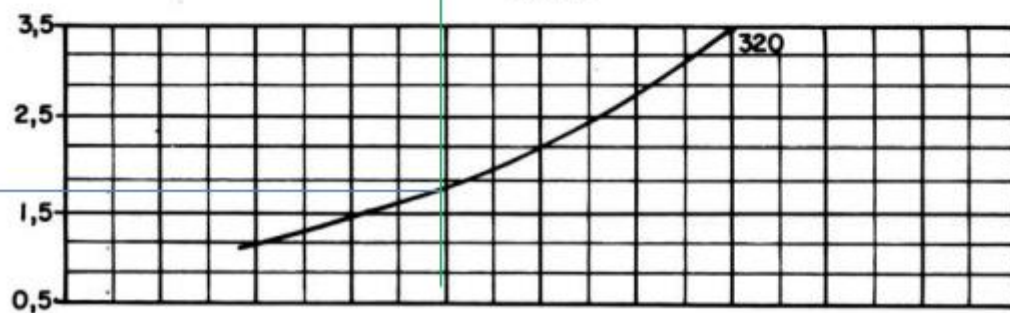
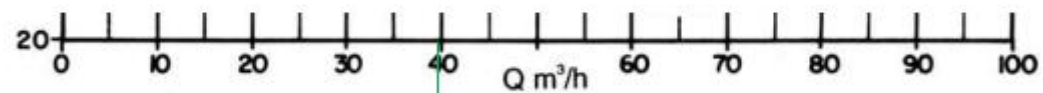
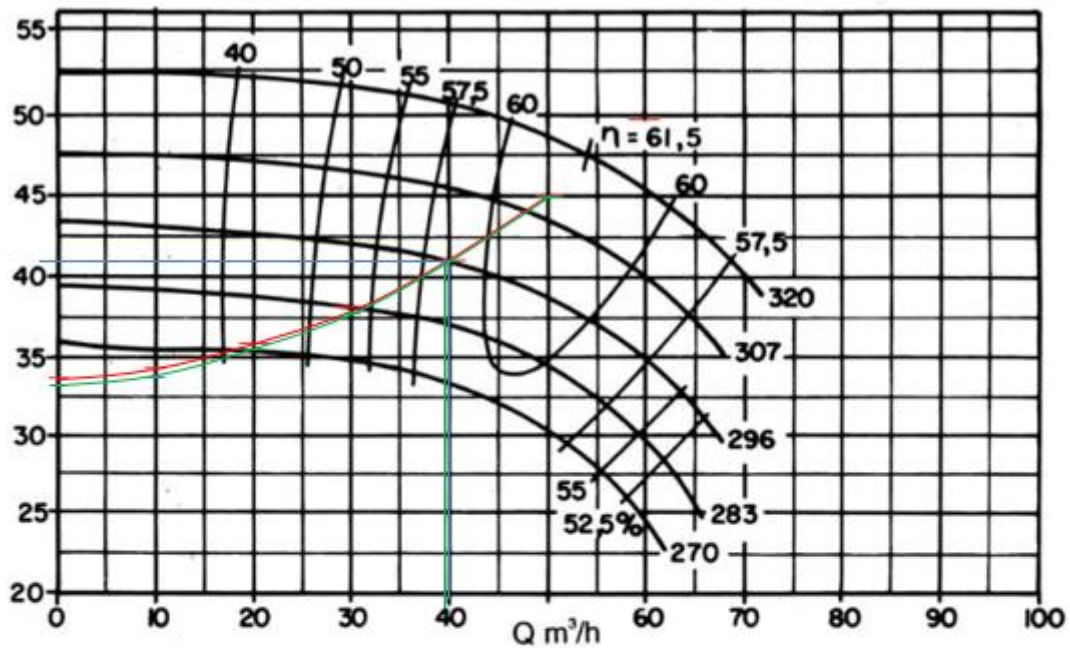
$$Q_G \approx 40 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{BG} = 41 \text{ m}$$

$$\eta_{BG} \approx 58,4\%$$

$$NPSH_G = 1,75 \text{ m}$$

$$N_{BG} = \frac{997 \cdot 9,8 \cdot (40/3600) \cdot 41}{0,584} \approx 7623,7 \text{ W}$$



6

Data: 24 / 08 / 2014

Portanto pelo gráfico do fabricante poderíamos aceitar a bomba KSB 50-315 com 1750 rpm e diâmetro do rotor igual a 296 mm, porém como está muito próximo do fator de segurança mínimo, poderíamos pensar em MODIFICAR ESTA ESCOLHA.

1ª POSSIBILIDADE ⇒ PASSAR PARA O DIÂMETRO DO ROTOR IGUAL A 307 mm.

2ª POSSIBILIDADE → PROCURAR UMA BOMBA DE 3500 rpm.

3ª POSSIBILIDADE → TROCAR DE FABRICANTE DE BOMBAS.

Porém antes de modificar a escolha vamos verificar a existência do fenômeno de cavitação na entrada da bomba, ou seja, a SUPERCAVITAÇÃO.

Para esta verificação, determinamos a pressão na entrada da bomba



Data: 24/08/2014

(7)

para a vazão de ponto de trabalho ($Q_E = 40 \text{ m}^3/\text{h}$)

$$H_{\text{micial}} = H_e + H_{p_{AB}}$$

Mantendo o PHR em (0), temos:

$$0 = 2 + \frac{p_e}{997 \times 9,8} + \frac{\alpha_e \times (40/3600)^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2} +$$

$$\frac{f}{4''} \times 402587,9 \times (40/3600)^2$$

Pelo site www.escoladavida.com para H_2O a 25°C e vazão de $40 \text{ m}^3/\text{h}$, temos por Churchill $f_{4''} = 0,0192$ e $Re = 155212$

$$0 = 2 + \frac{p_e}{97796} + 9093448556 + 9954282429$$

$$p_e = -29778,2 \text{ Pa}$$

Considerando a leitura barométrica de 697 mmHg e o Hg estando a 25°C , temos:

(8)

Data: 24, 08, 2014

$$P_{\text{atm local}} = 0,697 \times 9,8 \times 13534 \approx 92445,3 \text{ Pa.}$$

$$P_{\text{eabs}} = -29778,2 + 92445,3 \approx 62667,1 \text{ Pa}$$

Para 25°C temos $p_{\text{vapor}} = 3169,9 \text{ Pa (abs)}$

e como p_{eabs} é maior que a pressão de vapor, podemos afirmar que nao ocorre o

fenômeno de cavitação na entrada da bomba, ou seja, NÃO OCORRE A SUPERCÁVITACÃO.

Porém a nao existência da supercavitação NÃO GARANTE QUE NÃO OCORRA O FENÔMENO DE CAVITACÃO, isto porque se constatou que esta nao é a região de menor pressão.

A região de menor



Data: 24/08/2014

(9)

pressão é no interior da bomba e

para garantir a sua existência de

mesmo devemos:

1º CONHECER O NPSH requerido que é fornecido pelo fabricante da bomba para a vazão de ponto de trabalho, no caso:

$$Q_B = 40 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \text{NPSH}_{\text{req}} = 1,75 \text{ m} + 0,5 = 2,25 \text{ m}.$$

N → net; P → positive; S → suction;
H → head.

$$\text{NPSH}_{\text{req}} = H_{\text{e abs}} - \frac{p_{\text{vapor}}}{\gamma}$$

2º DEVEMOS CALCULAR O NPSH disponível para a vazão de trabalho.

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = Z_{\text{inicial}} + \frac{p_{\text{abs}} - p_{\text{vapor}}}{\gamma} - H_{\text{p AB}}$$



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

Z_{inicial} → deve ser definido com o PHR no eixo da bomba.

10

Data: 24/08/2014

$$NPSH_{disp} = -2 + \frac{92445,3 - 3169,9}{997 \times 9,8} - 0,96$$

arredondei p/
"mais"

$$NPSH_{disp} = 6,1 \text{ m}$$

arredondei p/
"menos"

30 PARA NÃO TER CAVITAÇÃO
A CONDIÇÃO NECESSÁRIA
E SUFICIENTE É:

$$NPSH_{disp} > NPSH_{req} \text{ (e)}$$

$$NPSH_{disp} - NPSH_{req} = \text{RESERVA
CONTRA
A CAVITAÇÃO}$$

$6,1 - 2,25 = 3,85 \text{ m} \rightarrow$ esta é
a reserva contra a
cavitação, portanto:

NÃO OCORRE O FENÔMENO
DE CAVITAÇÃO.



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

Data: 24/08/2014

(11)

A VERIFICAÇÃO DO FENÔMENO DE CAVITAÇÃO CARACTERIZOU A OITAVA (8) ETAPA DO PROJETO DE CAVITAÇÃO.

Como não ocorreu o fenômeno de cavitação, partimos para a nona etapa do projeto.

9ª ETAPA → cálculo do custo de operação mensal.

$$\begin{array}{l} \text{Custo} \\ \text{de} \\ \text{Operação} \\ \text{mensal} \end{array} = N_m \times a \times b$$

↓ ↓ ↓

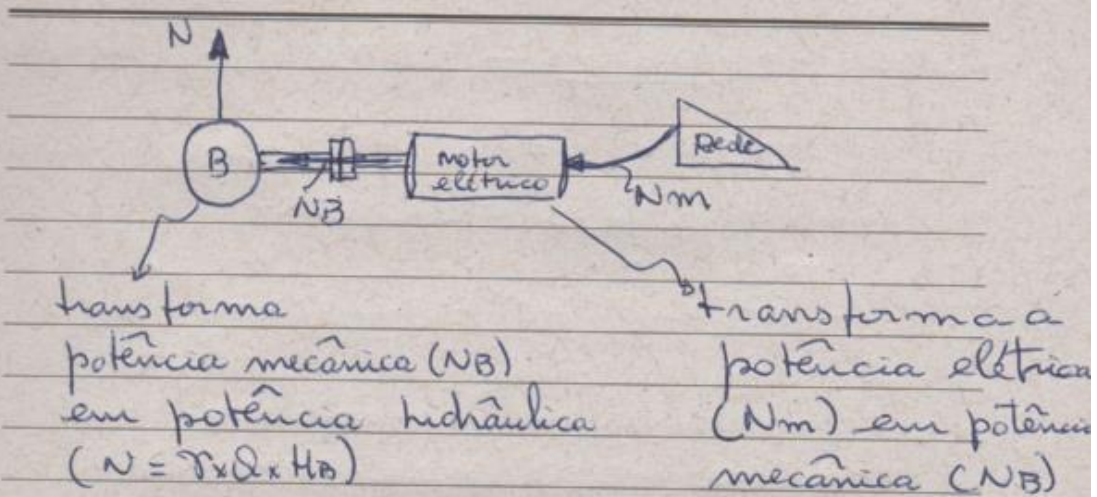
$$k_w \times \frac{h}{\text{dia}} \times \frac{\text{dia}}{\text{mes}}$$

Temos duas possibilidades para a determinação da potência nominal

1ª Possibilidade → adotamos rendimento do motor igual a 90% e calculamos o N_m de referência

12

Data: 24/08/2014



$$\text{rendimento} = \frac{\text{pot. útil}}{\text{pot. posta em jogo}} = \frac{\text{Pot. que sai}}{\text{Pot. que entra}}$$

$$\eta_m = \frac{N_B}{N_m} ; \eta_B = \frac{N}{N_B}$$

rendimento do motor

rendimento da bomba

$$\eta_{\text{global}} = \frac{N}{N_m} = \eta_m \times \eta_B$$

rendimento global.

$$0,9 = \frac{7621,7}{N_{m,ref}} \therefore N_{m,ref} = \frac{7621,7}{0,9} = 8468,6 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} \Rightarrow$$



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

Data: 24/08/2014

(13)

$$1 \text{ CV} = 75 \text{ kg} \times \text{m} = 75 \times 9,8 \text{ N} \times \text{m} = 735 \text{ W}$$

$$\therefore N_{m, \text{real}} = \frac{8468,6}{735} \approx 11,522 \text{ CV}$$

ai devemos escolher o
MOTOR COMERCIAL EM CV.

REDE DE 220V → 1/2; 3/4; 1; 1,5; 2; 3; 5;
7,5; 10; 15; 20; 25; 30;
40; 50; 75; 100; 125;
150 e 200 (CV)

REDE DE 380V → 1/2; 3/4; ... 200; 250;
300; 350; 425; 475;
530; 600; 675; 750;
850; 950; 1000

Para o problema, supondo
a rede de 220V, escolhemos
o motor de 15 CV

$$\eta_{m, \text{real}} = \frac{N_B}{N_m} = \frac{7621,7}{15 \times 735} \approx 0,691$$

$$\eta_{m, \text{real}} = 69,1\%$$



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

2ª Possibilidade → o motor que aciona a bomba deverá trabalhar sempre com uma folga ou margem de segurança a qual evitará que o mesmo venha, por uma razão qualquer, operar com sobrecarga. Portanto, recomenda-se que a potência necessária ao funcionamento da bomba (NB) seja acrescida de uma folga, conforme especificação a seguir (para motores elétricos):

POTÊNCIA EXIGIDA PELA BOMBA (NB)	MARGEM DE SEGURANÇA RECOMENDADA
até 2 CV	→ 50%
de 2 a 5 CV	→ 30%
de 5 a 10 CV	→ 20%
de 10 a 20 CV	→ 15%
acima de 20 CV	→ 10%

Para motores a óleo diesel recomenda-se uma margem de segurança 25% e a gasolina, de 50% independente da potência calculada.

$$NB = \frac{7621,7}{735} \approx 10,4 CV$$



Data: 24/08/2014

(15)

∴ $N_{m_{ref}} = 10,4 \times 1,15 \approx 12 \text{ CV.}$, portanto
o motor elétrico escolhido
seria o de 15 CV.

A partir deste ponto é fundamental
que cada um se dedique e
aplique seus conhecimentos
na solução de problema
e para motivá-los proponho:

1° Refazer o exercício 7.18
que foi desenvolvida na
aula 4, porém instalando
uma válvula de retenção
vertical e a resolvê-lo
para os seguintes casos:

1.1 → BOMBA KSB 50-315 com
1750 rpm e diâmetro
do rotor igual a
307 mm.

1.2 → BOMBA KSB 32-200 com
3500 rpm.

1.3 → BOMBA KSB 40-160
com 3500 rpm.



16

Data: ____ / ____ / ____

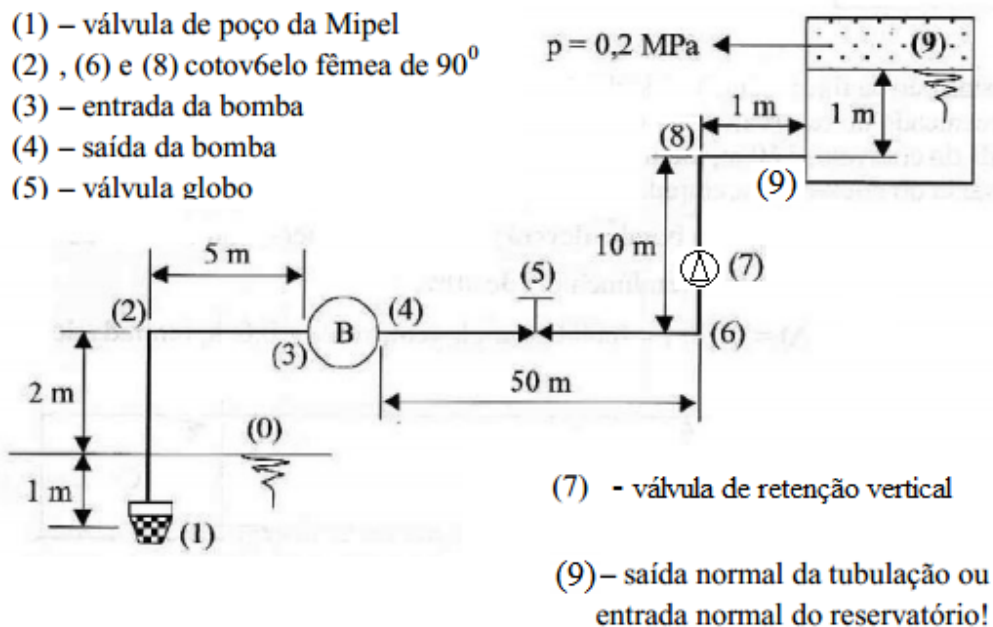
1.4 BOMBA INI DA IMBIL DE
3500 rpm.

1.5 BOMBA INI DA IMBIL DE
1750 rpm.

1.6 BOMBA KSB 50-315 COM 1750 rpm, DIÂMETRO DO ROTOR IGUAL A 296 mm, PORÉM TROCANDO O DIÂMETRO DE RECALQUE PARA 4" E MANTENDO O DE SUCCÃO IGUAL A 4".

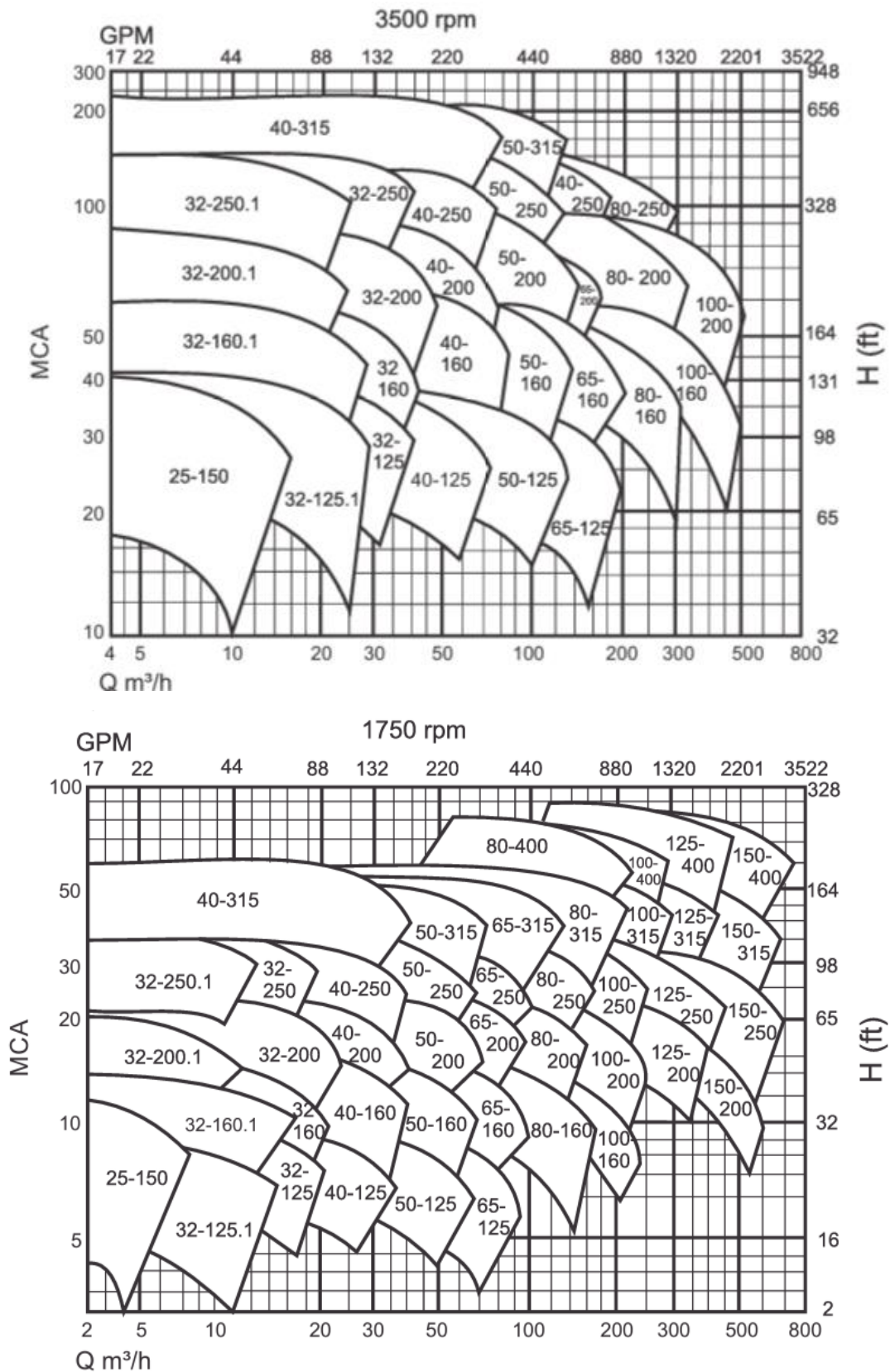
Enunciado para os problema 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 e 1.6

Considerando a instalação de recalque (linha de sucção + linha de recalque) cujo esboço é dado pela figura 1 e que foi projetada para transportar água a 25°C com uma vazão desejada igual a 10L/s, especifique a bomba adequada e o seu ponto de trabalho.



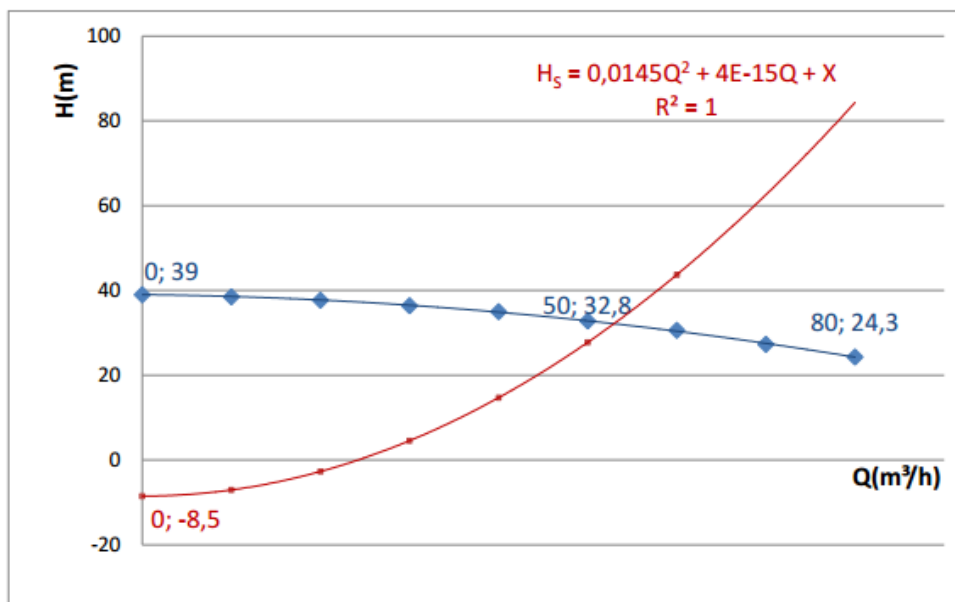
APLICAÇÃO INI

Bombeamento de líquidos em saneamento, irrigação, indústrias químicas e petroquímicas, usinas de açúcar, destilarias, indústrias de papel e celulose, esgotos brutos, caldo com bagacilho, circulação de óleo térmico, condensados, etc.



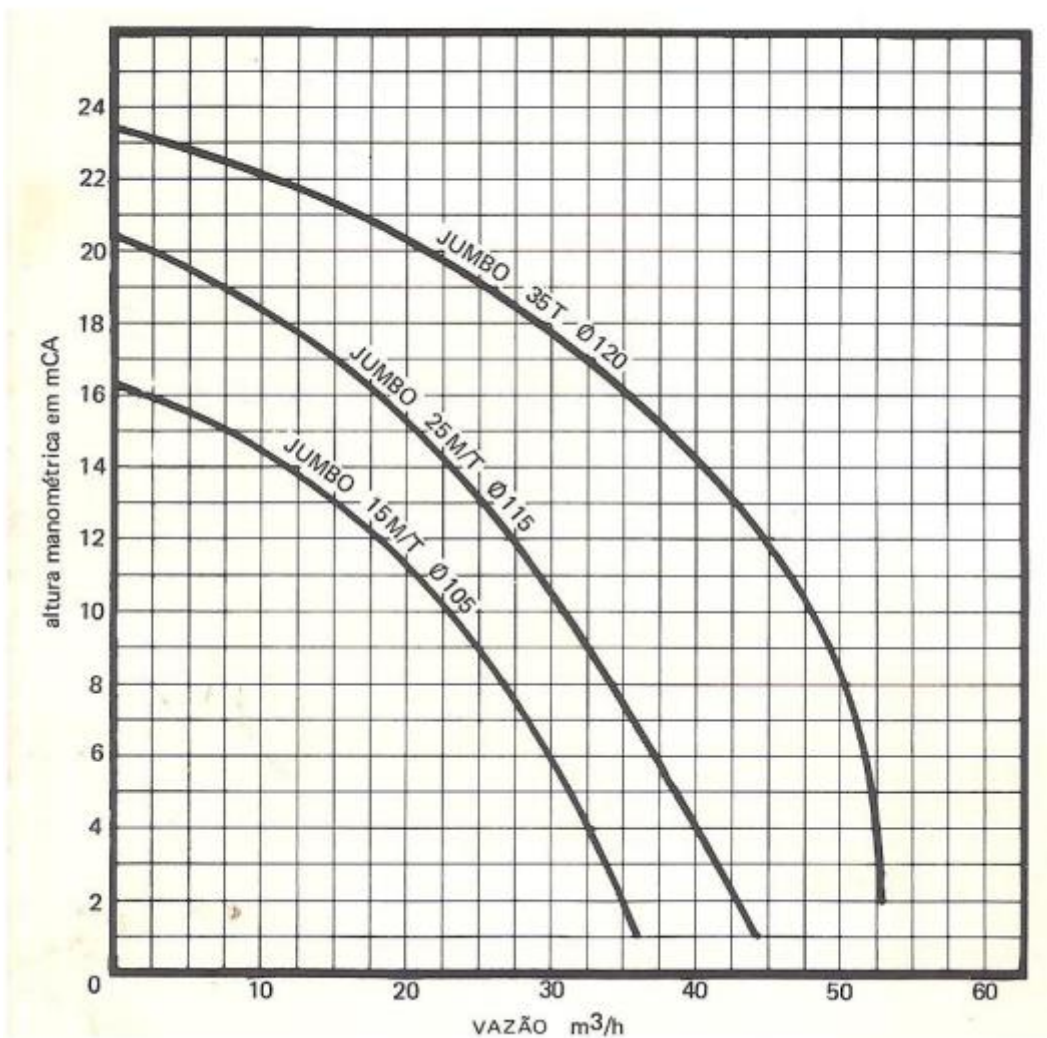
5ª Questão: Uma instalação hidráulica pode operar tanto sem como com bomba. Conhecendo as informações dadas nos gráficos a seguir, pergunta-se:

- qual a vazão em queda livre? (valor – 1,0)
- qual a vazão operando com a bomba em questão? (valor – 1,0)



2ª Questão: Por uma tubulação de aço de diâmetro interno igual a 102,3 mm ($A = 82,1 \text{ cm}^2$) e 250 m de comprimento deseja-se recalcar $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Sabendo que a carga estática é igual a 4 m, que a somatória dos comprimentos equivalentes é igual a 38 m, que a perda de carga para a vazão de projeto com um fator de segurança mínimo em 100 metros de tubo de diâmetro interno igual a 102,3 mm é 1,2 m e que não existe carga cinética na seção inicial e final, pergunta-se:

- qual o coeficiente de perda de carga distribuída neste caso? (valor – 0,5)
- qual a carga manométrica de projeto? (valor – 0,5)
- considerando as curvas a seguir, qual a bomba escolhida e qual, **aproximadamente**, a vazão e a carga manométrica de trabalho? (valor – 1,0)



3ª Questão: Considerando os dados da questão anterior, sabendo que o rendimento da bomba no ponto de trabalho é 60% e sabendo ainda que se deve considerar os seguintes fatores de segurança, a fim de não sobrecarregar o motor, especifique a potência nominal do motor elétrico justificando sua escolha pelo cálculo do seu rendimento real. (valor – 2,0)

Dados: até 7,5 kW + 20%; de 7,5 kW a 40 kW +15% e a partir de 40 kW + 10% (aproximadamente sobre a potência da bomba calculada).

Motores elétricos comerciais para rede de 220 v: 1/2; 3/4; 1; 1,5; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20;25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200.

Fluido bombeado é a água a 20°C, portanto: $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$