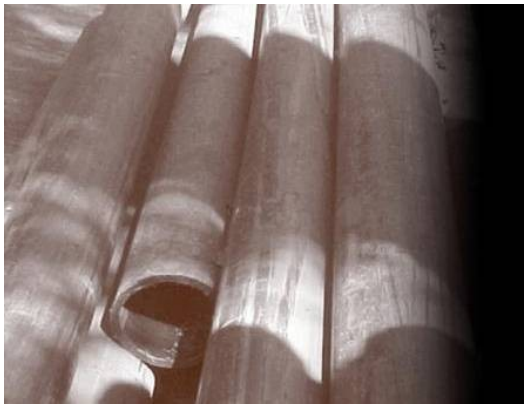


HIDRÁULICA DE CONDUTOS FORÇADOS

Profa. Cali Laguna Achon

email: cali@sc.usp.br

2014

Hidráulica 1 – SHS0409
HIDRÁULICA DOS CONDUTOS FORÇADOS

Sistemas Elevatórios

(Aula 12)

CONTEÚDO AULA 12

19/05/14

Sistemas Elevatórios ou de recalque

Hidráulica dos sistemas de recalque

- Definição (5.1)
- Altura total de elevação e Altura manométrica (5.2)
- Potência do conjunto elevatório (5.3)
- Dimensionamento Econômico da tubulação de recalque (5.4)

Aplicação: Exercício 5.17

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

- Sistemas elevatórios ou de recalque → escoamento por meio de um conjunto motor-bomba → O desnível ΔZ não pode ser vencido por gravidade.

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Sistemas elevatórios ou de recalque

- Componentes do sistema:
  - Tubulação de sucção: tubulação que liga R1 (inferior) à bomba + acessórios: válvula de pé com crivo, registro, curvas, redução excêntrica, etc.
  - Conjunto elevatório: uma bomba ou mais e os motores (elétrico ou combustão)
  - Tubulação de recalque: tubulação que liga a bomba ao R2 (superior) + registros, válvulas de retenção, manômetros, curvas, etc.

SISTEMAS ELEVATÓRIOS: Partes Constituintes

Sistema de recalque é composto de três partes:

a)Tubulação de sucção:
b)Conjunto elevatório:
c)Tubulação de recalque:

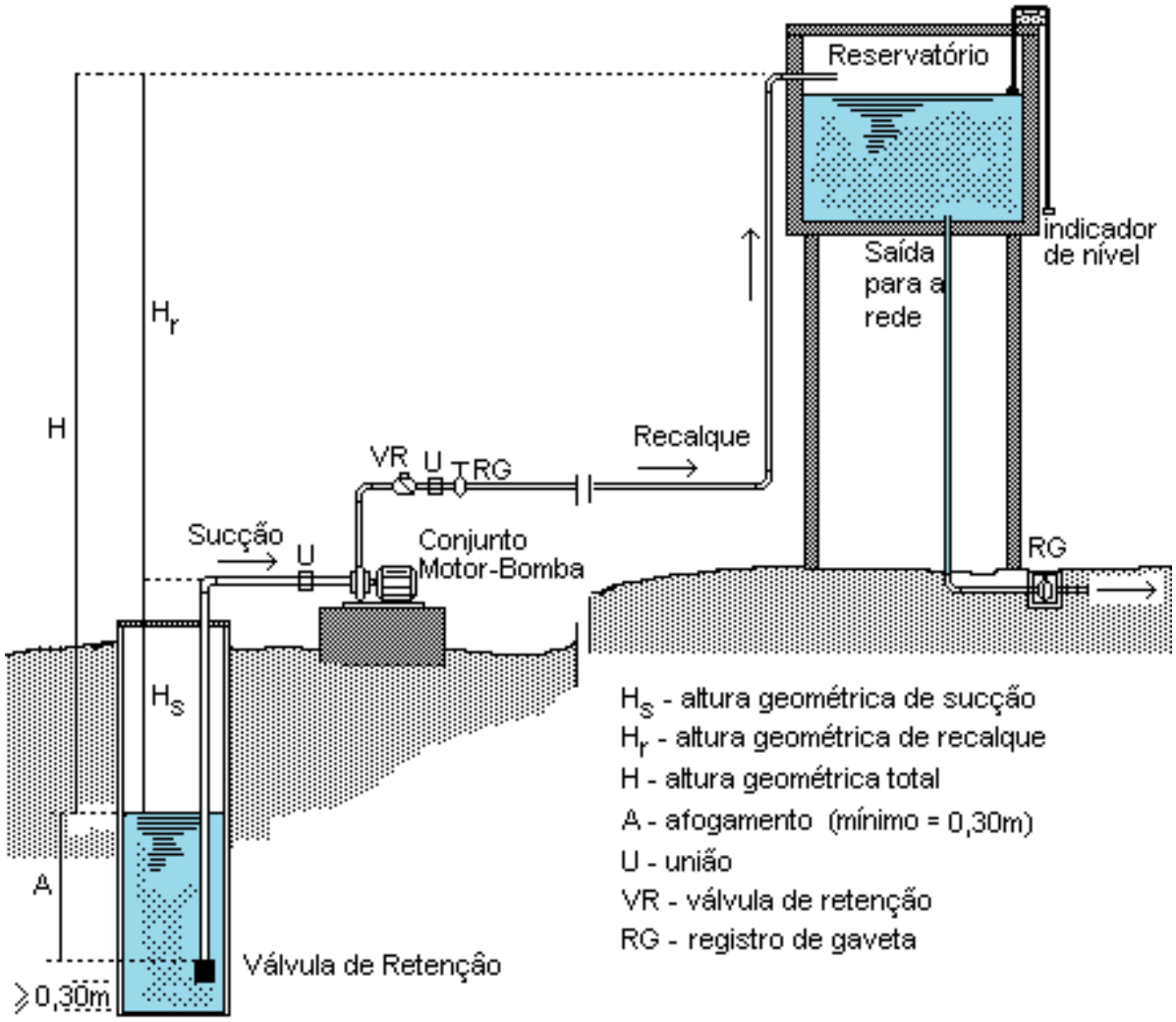
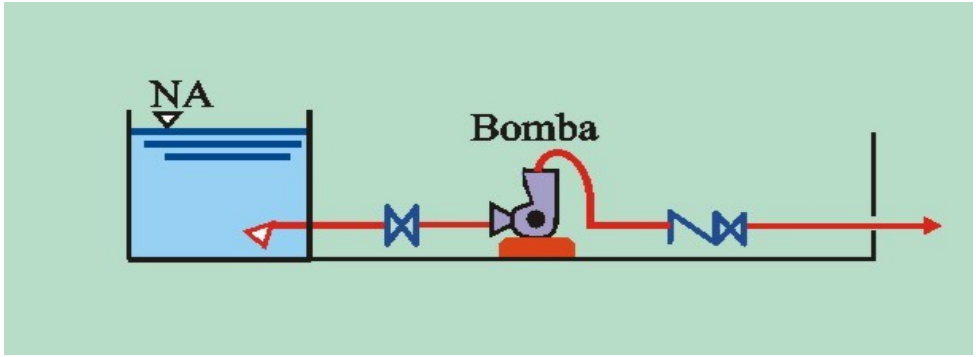


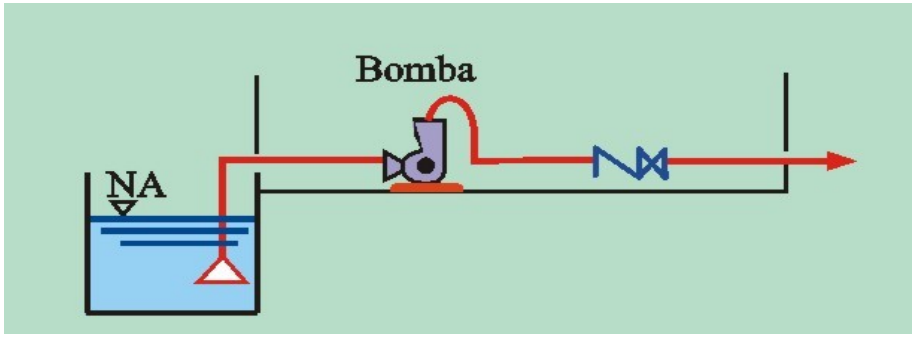
Figura: Esquema de um sistema de recalque

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

- Bomba afogada: quando a cota do eixo da bomba < cota do NA do R1 (inferior)



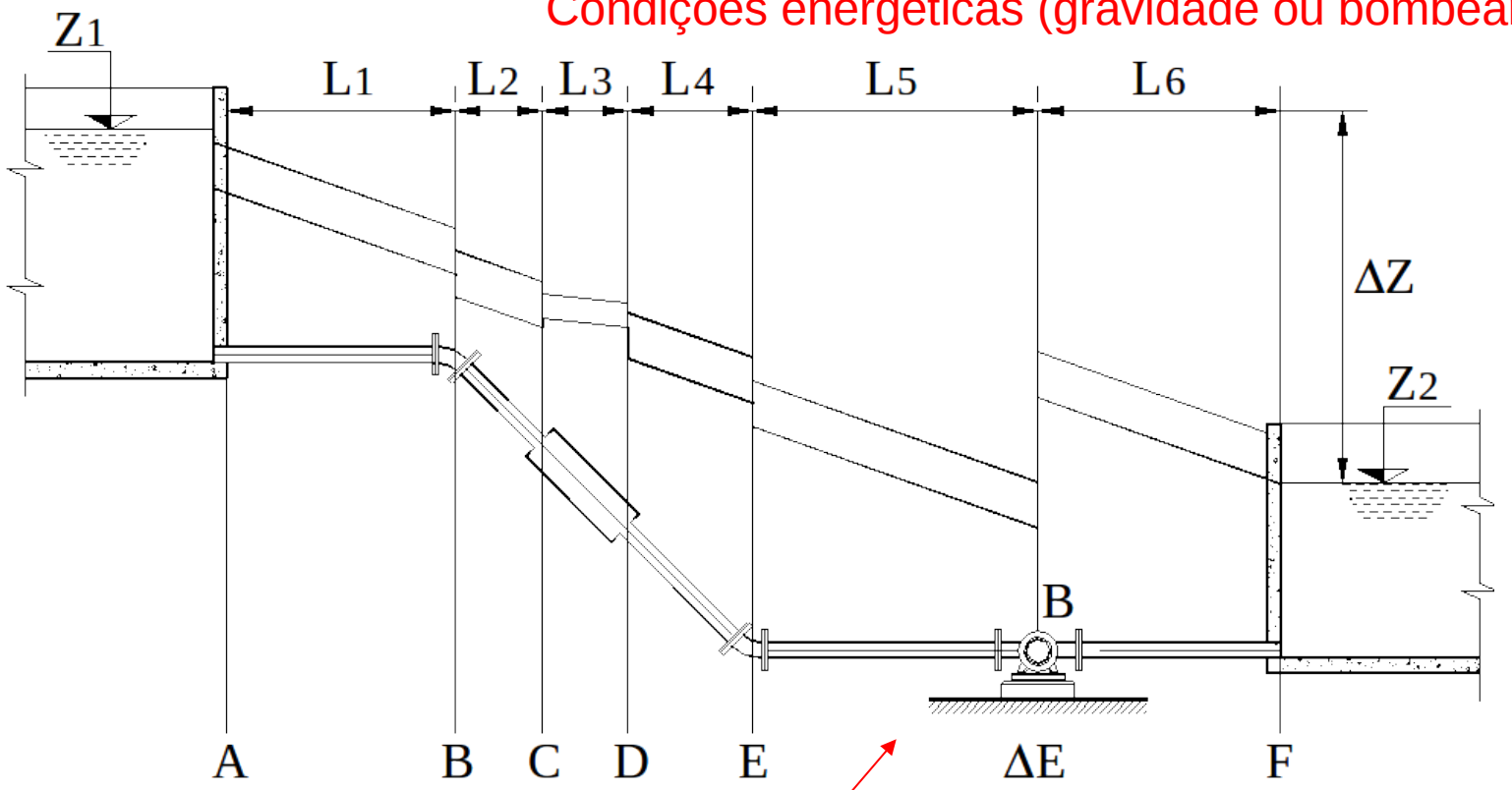
- Bomba não afogada: quando a cota do eixo da bomba > cota do NA R1 (inferior) → aqui cuidado com a cavitação!!!



PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Análise de tubulações sob pressão

Condições energéticas (gravidade ou bombeamento)



Z=energia disponível

bomba (ou turbina)

$$\text{Balanço energético} \rightarrow \Delta Z = \sum_i J_i L_i + \sum_j \Delta h_j \pm \sum_k \Delta E_k$$

turbina

distribuída

localizada

bomba

PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Análise de tubulações sob pressão

- Problema geral:

1. As superfícies dos dois reservatórios são os únicos pontos onde $p = p_{atm}$. $\Delta Z = Z1 - Z2$ → energia disponível por gravidade.
2. Tubulação com vários trechos L_i com diâmetros diferentes (ou não). Os pontos A, B, C, D, E e F são singularidades (curvas, etc.).
3. Cada trecho (i) causa uma perda de carga distribuída ($J_i.L_i$) e cada singularidade (j) causa uma perda localizada ($K.V^2/2g$).
4. No sistema, podem ser inseridos elementos (E_k) que fornecem energia extra (bombas) ou retiram energia (turbinas) do sistema.

$$\text{Balanço energético} \rightarrow \Delta Z = \sum_i J_i L_i + \sum_j \Delta h_j \pm \sum_k \Delta E_k$$

distribuída — localizada — turbina — bomba

PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

- No caso de não haver bomba ou turbina → toda a energia ΔZ é consumida pelas perdas de carga (distribuídas e localizadas):

$$\Delta Z = \sum_i f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum_j K_j \frac{V_j^2}{2g}$$

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

- Altura total de elevação H e altura manométrica H_m:

  - Bernoulli entrada e saída da BOMBA (zs = zr, mesma cota)

Hm: diferencial entre **cargas de pressão** relativas na saída (zr) e na entrada (zs) da bomba

$$H = H_m + \frac{V_r^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$$

H: altura ou carga total de elevação

  - Bernoulli entre os NA dos Reservatórios inferior (R1) e superior (R2) (z1 < z2, mesma cota)

Sendo **Hg** (altura geométrica ou estática total): diferença entre os **níveis dos reservatório**.

$$H = H_g + \Delta H_s + \Delta H_r$$

ΔH: **perdas totais** na sucção e recalque (**distribuídas** mais **localizadas)**

$$\text{Se } D_r = D_s \rightarrow V_r = V_s \therefore H = H_m \rightarrow \text{caso mais comum}$$

$$\therefore H = H_m = H_g + \Delta H_s + \Delta H_r$$

IMPORTANTE!!!!

Neste caso, a altura manométrica serve para dimensionar a bomba.

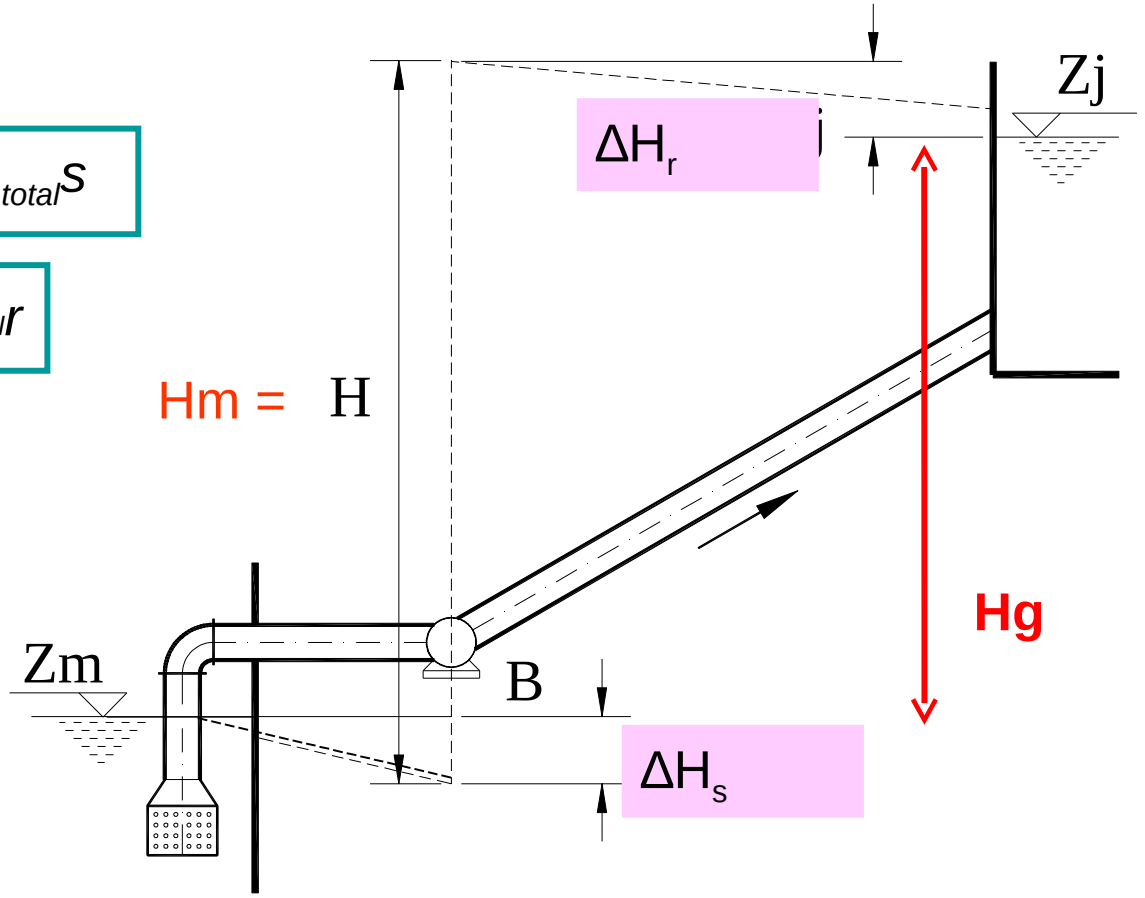
- Altura total de elevação H e altura manométrica H_m:

$$\therefore H = H_m = H_g + \Delta H_s + \Delta H_r$$

$H_g = Zj - Zm$

$\Delta H_s = \Delta Hm = Js \times L_{total}s$

$\Delta H_r = \Delta Hj = Jr \times L_{total}r$



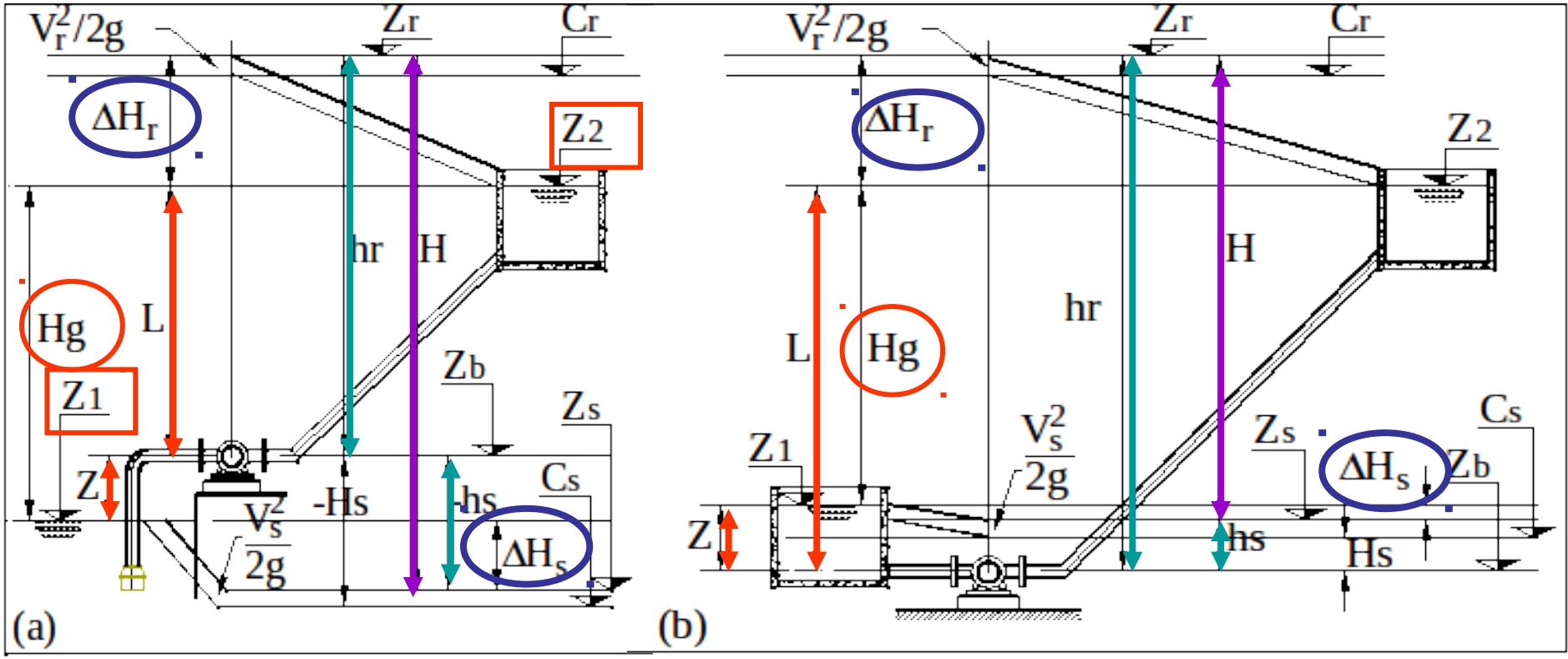
Sendo: **Hg** (altura geométrica ou estática total): diferença entre os **níveis dos reservatório**.

ΔH: **perdas totais** na sucção e recalque (**distribuídas** mais **localizadas)**

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Bomba “não” afogada

Bomba afogada



Hg = L + Z

$$\therefore H = H_m = H_g + \Delta H_s + \Delta H_r$$

Hg = L – Z, onde Z é positivo

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

- Potência do conjunto motor-bomba:

Potência recebida pela bomba:

$$Pot = \frac{9{,}8 \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (em\ kW) \qquad Pot = \frac{10^3 \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad (em\ cv)$$

Onde: η é o coeficiente de rendimento global da bomba; ***Q*** é a vazão de recalque (m^3/s) e ***H*** é a altura total de elevação (m).

Potência elétrica fornecida pelo motor que aciona a bomba:

$$Pot = \frac{9{,}8 \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot \eta_m} \quad (em\ kW) \qquad Pot = \frac{10^3 \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta \cdot \eta_m} \quad (em\ cv)$$

rendimento global do conjunto elevatório

Onde: η_m é o coeficiente de rendimento global do motor; ***Q*** é a vazão de recalque (m^3/s) e ***H*** é a altura total de elevação (m).

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

- Dimensionamento da Tubulação de recalque + sucção

No projeto de um sistema elevatório, há dois aspectos importantes a serem considerados:

1. Diâmetro da tubulação de recalque e, consequentemente o diâmetro da tubulação de sucção;

2. Potência necessária do conjunto motor-bomba.

Equação da resistência ao escoamento: $J=KQ^n/D^m \rightarrow \Delta H = J.L$

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

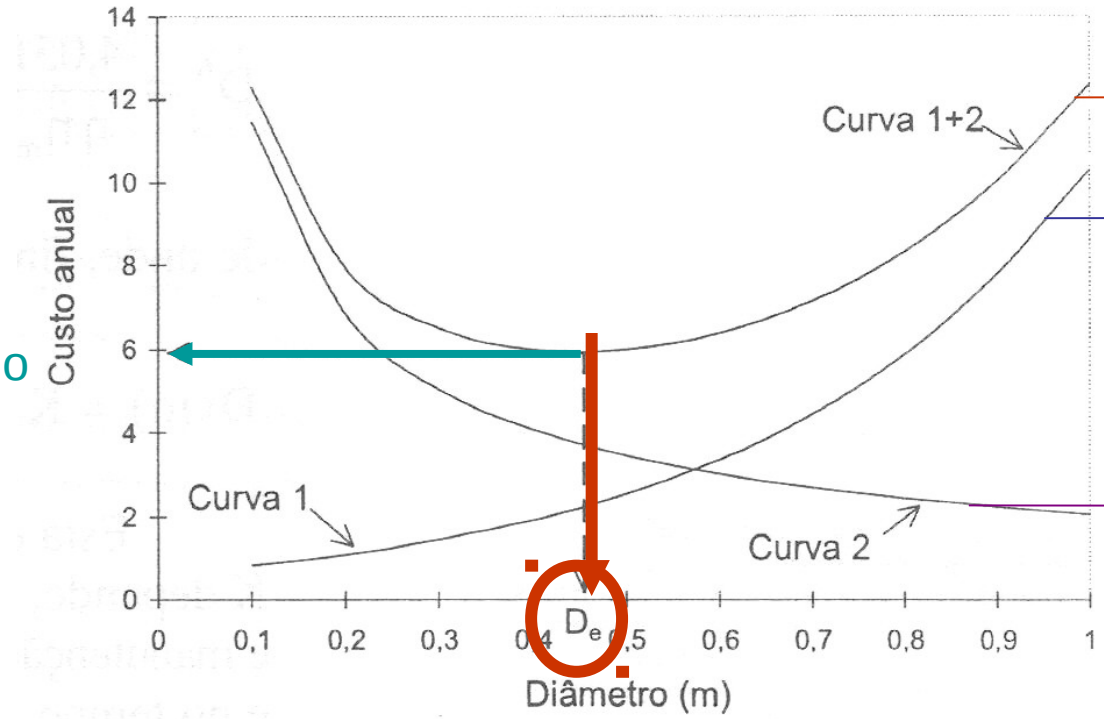
Importante: diâmetros das tubulações X potência do conjunto motor-bomba

- Se D é muito grande → J é pequeno → ΔH é pequeno → $H=H_g+\Delta H$ é pequeno → bomba de menor potência → menor custo da bomba → Porém, maior custo da tubulação, pois D é grande.

- Se D é muito pequeno → J é grande → ΔH é grande → $H=H_g+\Delta H$ é grande → bomba de maior potência → maior custo da bomba → Porém, menor custo da tubulação, pois D é pequeno.

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

- Solução de menor custo: tubulação + bomba



Custo mínimo

Custo total

Tubulação
(aquisição e assentamento)

Bomba
(conjunto elevatório e energia elétrica)

Figura 5.2 Determinação do diâmetro econômico de uma tubulação de recalque.

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

- Fórmula de Bresse (mais prático):
  - **Diâmetro econômico** → $D(m) = K\sqrt{Q(m^3/s)}$

    com K entre 0,7 a 1,3 → manuais de hidráulica.

K é um fator que depende, entre outras coisas, dos custos de material, mão-de-obra, operação e manutenção do sistema, etc.

Observações:

- Fórmula simplificada para fase de anteprojeto
- Aceitável para tubulações de pequeno porte → até 6”
- Para tubulações de grande porte → análise econômica
- Adotar K=cte. equivale adotar uma velocidade média de recalque → V comuns entre 1,5 a 2,0 m/s
- Válida para sistemas com funcionamento 24 horas/dia

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

– **Diâmetro econômico**

Para funcionamento T horas/dia aplicar (NBR-5626):

$$D(m) = 1{,}3.(X)^{0{,}25}\sqrt{Q(m^3/s)} \quad \text{com} \quad X = T/24$$

→ O diâmetro encontrado deve ser aproximado para o diâmetro comercial mais conveniente.

VER EXEMPLO 5.1

Aplicação

Exercício 5.17

Exercício 5.17 - livro

O sistema de bombeamento mostrado na Figura 5.28 tem tubulações de sucção e recalque com diâmetros iguais a 4”, em tubos metálicos (ε = 0,15mm). Ao longo dos 650m da tubulação de recalque, existe uma distribuição de vazão em marcha com uma taxa constante q=0,01 l/(sm). Um manômetro colocado na saída da bomba indica uma pressão de 400KN/m². Desprezando as perdas de carga localizadas na tubulação de recalque, a carga cinética e sabendo que a tubulação de sucção com 3,5m de comprimento possui uma válvula de pé com crivo e um cotovelo de raio curto de 90º, determine:

a) A vazão que chega ao reservatório superior;

b) A carga de pressão disponível na entrada da bomba;

c) A altura manométrica da bomba;

d) A potência necessária à bomba, considerando um rendimento de 65%;

e) A potência necessária ao motor elétrico comercial.(rendimento=85%?)

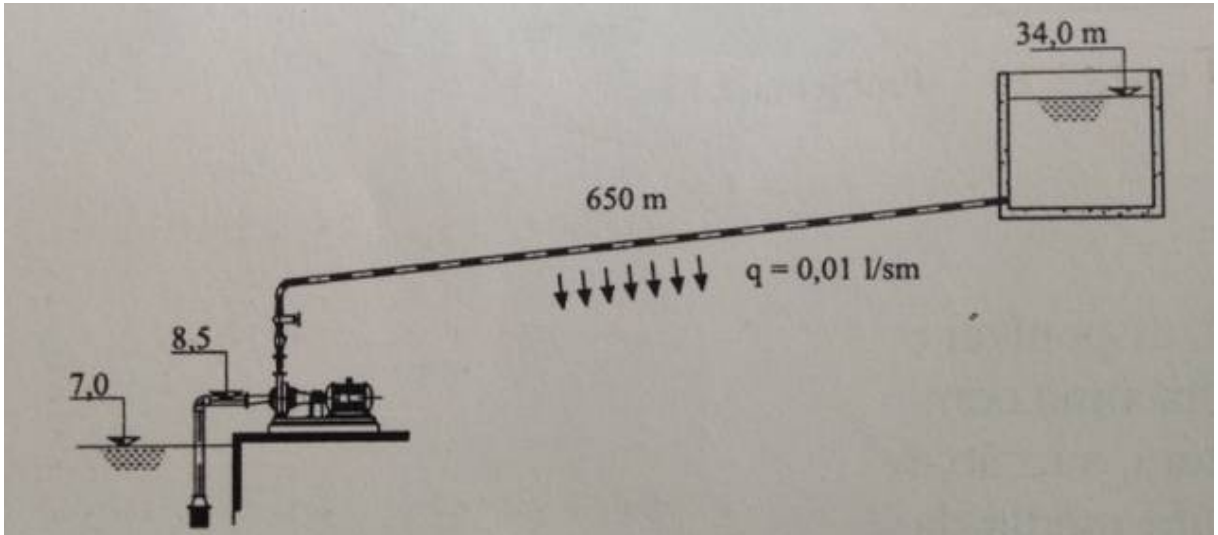


Figura 5.28 Problema 5.17.

Resolução: sem interpolar os valores da Tabela A2
obs: vale a pena interpolar os valores da Tabela A2

$$\frac{P_J}{\gamma} - \frac{P_M}{\gamma} = Hg + \Delta H_2 + \Delta H_1 \quad (1)$$

mas: $\frac{P_J}{\gamma} = \frac{400.000}{998.9,81} = 40,86\ m\ H_2O$ (2)

Bernoulli na succão

$$7 - \Delta H_2 = 8,5 + \frac{P_M}{\gamma} \Rightarrow \frac{P_M}{\gamma} = -1,5 - \Delta H_2 \quad (3)$$

(2) e (3) em (1), resulta:

$$40,86 + 1,5 + \Delta H_2 = Hg + \Delta H_2 + \Delta H_1 = 34 - 7 + \Delta H_1$$

$$40,86 + 1,5 - 34 + 7 = \Delta H_1 = J_1 . 650 \Rightarrow J_1 = \frac{15,36}{650} = 0,0236\ m/m$$

$J_1 = 8,36\ m/100$
$\phi = 0,10\ m$
$\varepsilon = 0,15\ mm$

Tabela A2 $Q_1 \cong 11\ l/s = Q_{fic} = \frac{Q_2 + Q_2 - 6,5}{2}$

$\therefore Q_2 = \frac{2.11 + 0,01.650}{2} = 14,25\ l/s$

a) $Q_{R_2} = 14,25 - 6,5 = 7,75\ l/s$

b) $\frac{P_M}{\gamma} = -1,5 - \Delta H_2 = -1,5 - \frac{3,82}{100}(3,5 + 29,9) = -2,78\ m\ H_2O$

Tabela A2 $J_S \cong 3,82\ m/100\ m \cdot 3,5$

válvula de pé c/ crivo: $L_2 = 265\,D = 265 . 0,1 = 26,5\ m$

cotovelo raio curto 90°: $L_2 = 34\,D = 34 . 0,1 = 3,4\ m$

$29,9\ m$

c) $H_m = Hg + \Delta H_2 + \Delta H_1 = 34 - 7 + 1,28 + 15,36 = 43,64\ m$

d) $Pot_B = \frac{10^3 . 0,01425 . 43,64}{75\ \eta}\ (CV) = 12,75\ CV$

e) $Pot_m = \frac{Pot_B \times 1,15}{\eta_m} = \frac{\quad}{0,85}\ (CV) \times 0,986 = 15\ hp\ (hp)$

tabela (pg. 153)

$\cong 1$

Tabela pg. 153- exemplo 5.5

- Desafio (Aula 12)

Livro Porto (1998)

  - Exercício 5.13 (livro)

- Obrigada!