

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

**AULA 11 – ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS E GOLPE DE ARÍETE**

**ROTEIRO**

Tópicos da aula:

- 1) Bombas – Alteração nas condições de funcionamento
- 2) Ponto de funcionamento – Curva do sistema x curva da bomba
- 3) Associação de bombas em paralelo e em série
- 4) Golpe de aríete
- 5) Exercício para entrega (Provinha Aula 11)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”  
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

**Aula 11 – BOMBAS CENTRÍFUGAS E GOLPE DE ARÍETE**

**1. Alteração nas condições de funcionamento das bombas centrífugas**

- Curvas características das bombas

Motores elétricos – Rotação prefixada (geralmente 1750 ou 3500 RPM)

- Bombas acopladas a motores diesel ou a motores elétricos com inversor de frequência

Rotação variável → Afeta o desempenho das bombas

- Alterações no desempenho:

$$\text{Vazão} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{RPM_1}{RPM_2}$$

$$\text{Pressão} \quad \frac{HMT_1}{HMT_2} = \frac{RPM_1^2}{RPM_2^2}$$

$$\text{Potência} \quad \frac{Pot_{RPM1}}{Pot_{RPM2}} = \frac{RPM_1^3}{RPM_2^3}$$

(GRÁFICO – XEROX – AULA ANTERIOR)

Exemplo: Uma bomba centrífuga está funcionando com as seguintes características:

$$Q_1 = 20 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$HMT_1 = 62 \text{ mca}$$

$$Pot_{abs1} = 7,65 \text{ cv}$$

Motor diesel → 2200 RPM

Calcule os valores de vazão, altura manométrica total e potência absorvida para 1750 RPM.

$$\text{Solução:} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{RPM_1}{RPM_2} \quad \frac{20}{Q_2} = \frac{2200}{1750} \quad Q_2 = 15,91 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{HMT_1}{HMT_2} = \frac{RPM_1^2}{RPM_2^2} \quad \frac{62}{HMT_2} = \frac{2200^2}{1750^2} \quad HMT_2 = 39,2 \text{ mca}$$

$$\frac{Pot_{RPM1}}{Pot_{RPM2}} = \frac{RPM_1^3}{RPM_2^3} \quad \frac{7,65}{Pot_{RPM2}} = \frac{2200^3}{1750^3} \quad Pot_{abs} = 3,85 \text{ cv}$$

## 2. Ponto de funcionamento do sistema de recalque

(GRÁFICO – XEROX – AULA ANTERIOR)

### Exemplo:

Um sistema de recalque tem as seguintes características:

Bomba Thebe RL-16

$\phi_{\text{rotor}} = 159 \text{ mm}$

Rotação: 3500 RPM

$\phi_{\text{recalque}} = 75 \text{ mm}$

$\phi_{\text{sucção}} = 100 \text{ mm}$

$H_{gR} = 27 \text{ m}$

$H_{gS} = 3 \text{ m}$

Comprimento equivalente (tubulação + peças):

Recalque:  $L_{eR} = 200 \text{ m}$

Sucção:  $L_{eS} = 5 \text{ m}$

Pede-se:

- A vazão e a altura manométrica total no ponto de trabalho;
- A potência absorvida pela bomba;
- A potência do motor elétrico a utilizar.

### **Solução:**

- Estipular uma vazão inicial (dentro da capacidade da bomba);
- Calcular a perda de carga do sistema com a vazão estipulada;
- Calcular a altura manométrica total do sistema;
- Marcar o ponto ( $Q \times H_m$ ) na curva da bomba;
- Aumentar a vazão e repetir os passos de *a*, *b*, *c*, *d* até atingir a vazão máxima da bomba;
- Ligar os pontos marcados para formar a curva de carga do sistema;
- Marcar o ponto de trabalho, no qual a curva de carga do sistema e a curva da bomba se encontram.

Obs.: Montar a solução em planilha eletrônica

Neste exemplo, o ponto de trabalho é

$$Q = 32,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_m = 39,9 \text{ mca.}$$

### 3. Associação de bombas

#### 2.1. Bombas em paralelo

(FIGURAS – Aula 11-Bombas paralelo 1 e 2)

- Aumento da vazão à mesma pressão.

$$HM_T = HM_{T1} = HM_{T2}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$Pot_{Par} = Pot_1 + Pot_2$$

$$\eta_{Par} = \frac{1000 \cdot Q_T \cdot HM_T}{75 Pot_{Par}}$$

Exemplo7.9 - Livro GEANINI – Pág. 266-267

Observações:

- Operando sozinha, cada bomba da associação terá vazão superior àquela fornecida na operação em conjunto (menor perda de carga no sistema);
- Ao operar sozinha, cada bomba terá demanda de potência maior que na operação conjunta, devido ao aumento da vazão;
- Para uma operação eficiente devem ser utilizadas bombas que operam na mesma faixa de pressão, de modo que uma não atue contra a outra.

#### 2.2. Bombas em série

(FIGURAS – Aula 11-Bombas série)

- Aumento da altura manométrica à mesma vazão.

$$HM_T = HM_{T1} + HM_{T2}$$

$$Q_T = Q_1 = Q_2$$

$$Pot_{Série} = Pot_1 + Pot_2$$

$$\eta_{Serie} = \frac{1000 \cdot Q_T \cdot HM_T}{75 Pot_{Série}}$$

Exemplo: Livro GEANINI – Pág. 268-269

### Observações:

- a. Casos especiais de bombas associadas em série:
  - Bombas multiestágio (vários rotores);
  - Bombas *booster*, localizadas em um ponto na tubulação, distante da bomba principal;
- b. A associação de bombas em série reduz custos de recalque, devido a:
  - Mudanças na classe de pressão da tubulação;
  - Pressurização extra apenas em pontos mais afastados do sistema (ex.: instalação com vários pivôs centrais e bomba “booster” apenas para os mais distantes).

## 4. Golpe de aríete

### 3.1. Definição

É a elevação de pressão produzida quando o movimento de um líquido é modificado bruscamente.

Exemplos:

- Fechamento rápido de um registro;
- Interrupção de energia em estação de bombeamento;

(FIGURAS E GRÁFICO)

### 3.2. Celeridade

É a velocidade de propagação da onda de choque (sobrepessão).

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

c – celeridade, m/s

D – diâmetro do tubo, m

e – espessura da parede do tubo, m

K – coeficiente que depende do material do tubo.

| Material        | K    |
|-----------------|------|
| Aço             | 0,5  |
| Ferro fundido   | 1,0  |
| Concreto        | 5,0  |
| Cimento amianto | 4,4  |
| PVC             | 18,0 |

Período de duração da onda:

$$T = \frac{2L}{c}$$

T – período de duração, s

L – comprimento da tubulação, m

Classificação de manobras de fechamento:

- a. Manobra lenta:  $t > T$                       t – tempo de fechamento; T – período de duração.
- b. Manobra rápida:  $t \leq T$

### 3.3. Cálculo da sobrepressão ( $h_A$ )

Fórmula de Joukowsky

- a) Manobra lenta:

$$h_A = \frac{cV}{g} \cdot \frac{T}{t}$$

V – velocidade de escoamento, m/s

- b) Manobra rápida:

$$h_A = \frac{cV}{g}$$

- Quanto mais lenta a manobra, menor a sobrepressão.

### 3.4. Dispositivos de segurança para reduzir danos do golpe de aríete

- a) Válvula anti-golpe:

(FIGURAS)

- b) Volantes no conjunto motobomba

(FIGURA – Google Imagens)

- A inércia no movimento do volante tem energia cinética suficiente para o eixo da bomba continuar girando por algum tempo e, com isto, gerar uma manobra lenta.

- c) Chaminé de equilíbrio

(FIGURAS)

- Altura da chaminé > HMT

- d) Fusível: Tubo de PN inferior à da tubulação (estoura antes e reduz a pressão).

Exemplo: Golpe de aríete

Determine o tipo de manobra e a sobrepressão na seguinte situação.

Dados:

Tubo de aço ( $K = 0,5$ )

$L = 500$  m

$D = 800$  mm

$e = 12$  mm

Desnível (pressão estática): 250 m

Tempo de manobra:  $t = 8$  s

Velocidade de escoamento:  $V = 3$  m/s

Solução:

a) Tipo de manobra:

Celeridade da onda de choque:

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + 0,5 \times \frac{0,8}{0,012}}} \quad c = 1080 \text{ m/s}$$

Período de duração da onda:

$$T = \frac{2L}{c}$$

$$T = \frac{2 \times 500}{1080} \quad T = 0,93 \text{ s}$$

Classificação da manobra:

$$t = 8 \text{ s} \quad T = 0,93 \text{ s}$$

Manobra lenta ( $t > T$ )

b) Sobrepressão:

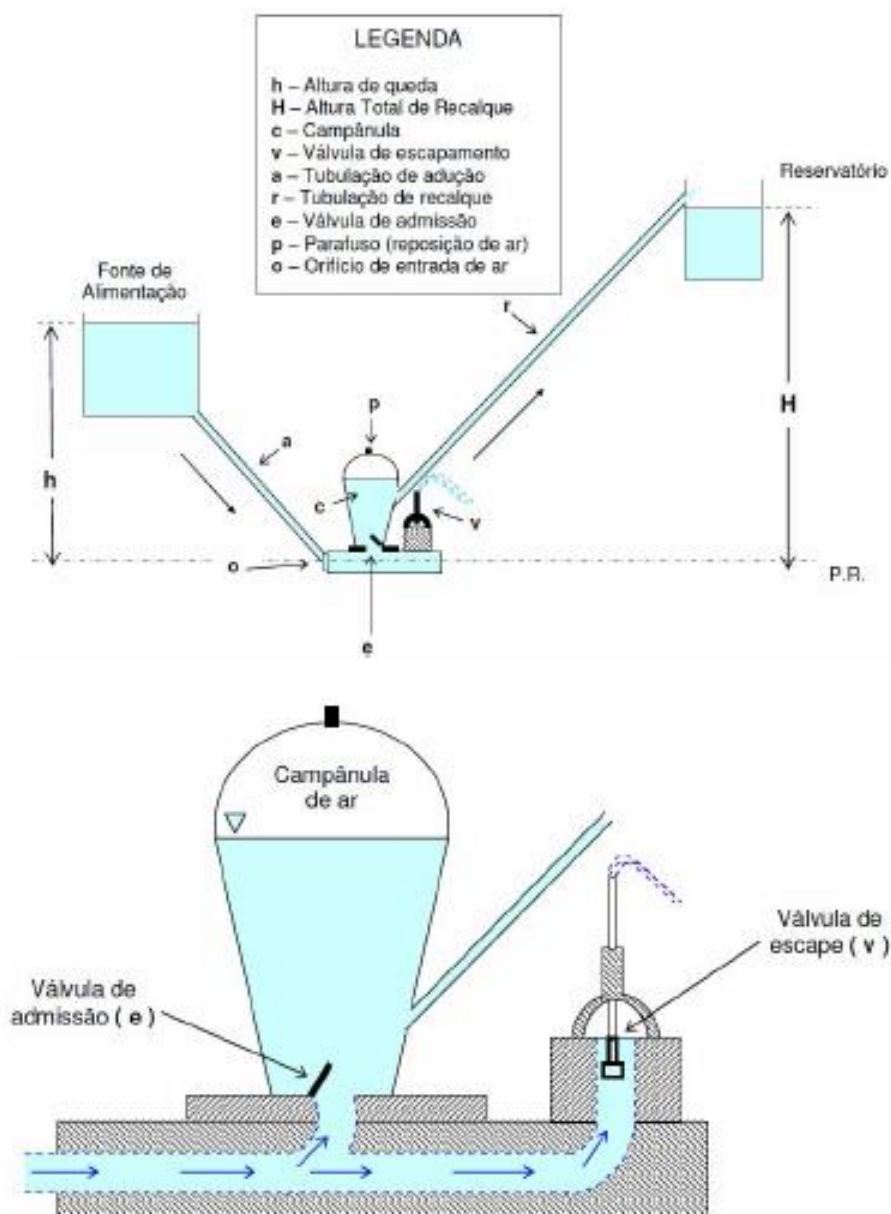
$$\text{Manobra lenta: } h_A = \frac{cV}{g} \cdot \frac{T}{t}$$

$$h_A = \frac{1080 \times 3}{9,81} \cdot \frac{0,93}{8} = 38,5 \text{ mca}$$

$$\text{Pressão total} = 250 + 38,5 = 288,5 \text{ mca}$$

## 5. Carneiro hidráulico

Aplicação prática do golpe de aríete.



### 5.1. Cuidados na instalação do carneiro hidráulico

Instalar o carneiro em base firme (alvenaria, madeira, metal) e nivelada

Carga hidráulica ( $h$ ):

$$1,5 \text{ m} < h < 9,0 \text{ m}$$

$$\text{Condições ótimas: } 2,0 \text{ m} < h < 5,0 \text{ m}$$

Comprimento do tubo de alimentação ( $La$ ):

$$5 h < La < 10 h$$

Caso  $La > 10 h$ , utilizar um diâmetro superior ao recomendado pelo fabricante.

Tubo de alimentação:

O mais reto possível

Sempre abaixo da linha piezométrica

Possuir proteção contra entupimento na entrada (sombrite, ralo etc.)

Registro de gaveta próximo ao carneiro hidráulico

Preferencialmente tubos metálicos (aumenta o golpe de aríete).

Tubo de recalque

O mais curto possível

Instalar em posição ascendente até o reservatório

Campânula

Permitir, periodicamente, a entrada de ar (aumenta a capacidade de bombeamento)

## 5.2. Escolha do carneiro hidráulico

Vazão de descarga ( $q$ ) depende da vazão de acionamento ( $Q$ ) e da altura de queda ( $h$ )

A altura de elevação ( $H$ ) influi diretamente no rendimento ( $\eta$ ) do carneiro

Cálculo da capacidade do carneiro:

$$Q \cdot h \cdot \eta = q \cdot H$$

$$q = \frac{Q \cdot h \cdot \eta}{H}$$

$q$  – vazão de recalque, L/h;

$Q$  – vazão de alimentação, L/h;

$h$  – altura de queda, m;

$H$  – altura de elevação, m;

$\eta$  – rendimento hidráulico do carneiro (Ver Tabela 1)

Determinação de  $H$ :  $H = \Delta h + h_f$

$h_f$  – cálculo com fórmulas de Flamant ou Universal

TABELA 1: **Rendimento hidráulico** do carneiro em função da relação entre a altura de queda ( **h** ) e a altura total de recalque ( **H** )

| Relação <b>h / H</b> | <b>Rendimento ( % )</b> |
|----------------------|-------------------------|
| 1 : 2                | 80                      |
| 1 : 3                | 75                      |
| 1 : 4                | 70                      |
| 1 : 5                | 65                      |
| 1 : 6                | 60                      |
| 1 : 7                | 55                      |
| 1 : 8                | 50                      |

→ A **escolha** do carneiro (**Tabela 2**) deve ser feita em função da **Vazão de Alimentação** e altura de queda.

| Nº | Vazão de alimentação<br>( litros / minuto) | Tubo de entrada<br>ou alimentação<br>(polegada) | Tubo de saída<br>ou recalque<br>(polegada) | Altura de Queda<br>(metros) |
|----|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|
| 3  | 7 a 15                                     | 1"                                              | 1/2"                                       | 2,5 a 4                     |
| 4  | 11 a 26                                    | 1 1/4"                                          | 1/2"                                       | 3 a 5                       |
| 5  | 22 a 45                                    | 2"                                              | 3/4"                                       | 4 a 6                       |
| 6  | 70 a 120                                   | 3"                                              | 1 1/4"                                     | 5 a 7                       |

## 6. Exercício (Provinha – Aula 11 – Golpe de aríete)

Dados:

Tubo de PVC ( $K = 18,0$ )

Classe de pressão: PN80 (Pressão de operação = 80 mca)

Pressão de ruptura: 420 mca

$L = 600$  m

$D = 300$  mm

$e = 8,5$  mm

Desnível (pressão estática): 50 m

Tempo de manobra:  $t = 2$  s

Velocidade de escoamento:  $V = 2$  m/s

Determine:

- O tipo de manobra (lenta ou rápida);
- A sobrepressão causada pelo golpe de aríete;
- O risco de ruptura instantânea da tubulação;
- Sua recomendação sobre a necessidade de troca da tubulação próximo à bomba.

Solução:

- Identificação do tipo de manobra:

Celeridade da onda de choque:

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + 18,0 \times \frac{0,3}{0,0085}}}$$

Período de duração da onda:

$$T = \frac{2L}{c}$$

Classificação da manobra:

Se  $t < T$  Manobra rápida

Se  $t > T$  Manobra lenta

- Sobrepressão:

$$\text{Manobra rápida: } h_A = \frac{cV}{g}$$

Se houver risco de ruptura instantânea, recomenda-se adotar um ou mais dispositivos de segurança. Se não houver risco de ruptura instantânea, mas a sobrepressão for significativa (>50% da pressão nominal), recomenda-se a troca da tubulação próximo à bomba. Se a sobrepressão for menor que 50% da pressão nominal, estará tudo bem.