

Aula 8 – Bombas hidráulicas

Bombas hidráulicas

Conceito: São máquinas que comunicam ao líquido um acréscimo de energia

Classificação das bombas

Bombas volumétricas ou estáticas

- pistão
- diafragma
- engrenagem

Escoamento ou dinâmicas

- centrífuga
- axiais
- mistas

Elevação ou transporte

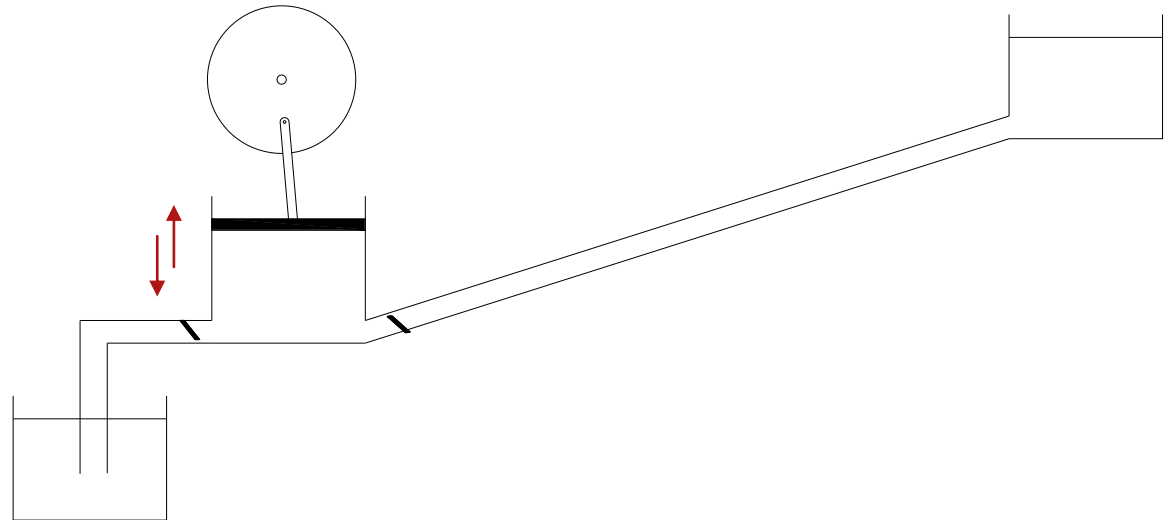
Bombas volumétricas

O volume de líquido em cada movimento é fixado pelas dimensões geométricas da bomba.

• Bomba de pistão

Líquidos limpos, sem sólidos em suspensão

- Encanamentos sem registros
- Aplicações: pulverização, injeção de fertilizantes, lavagem de carros



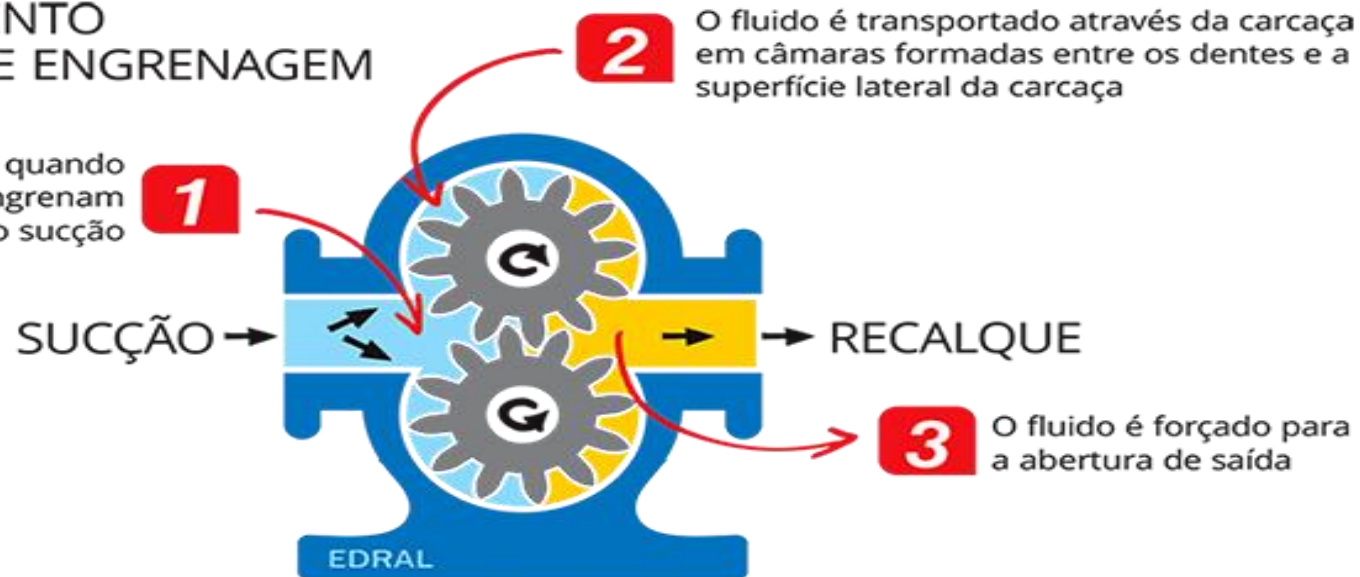
Bombas volumétricas

Bomba de engrenagens

Aplicações: lubrificação em veículos, líquidos viscosos

FUNCIONAMENTO DA BOMBA DE ENGRENAGEM

O vácuo é criado quando os dentes se desengrenam gerando sucção

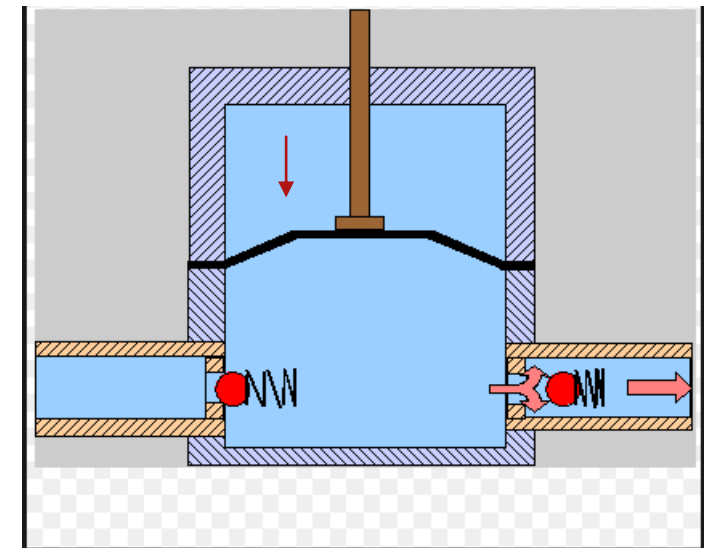
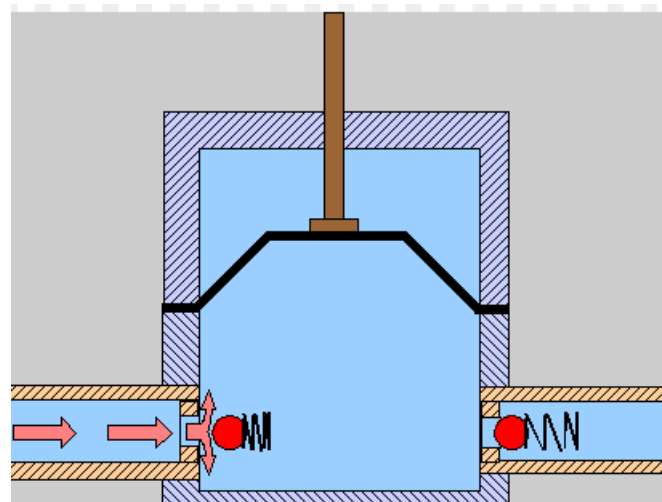
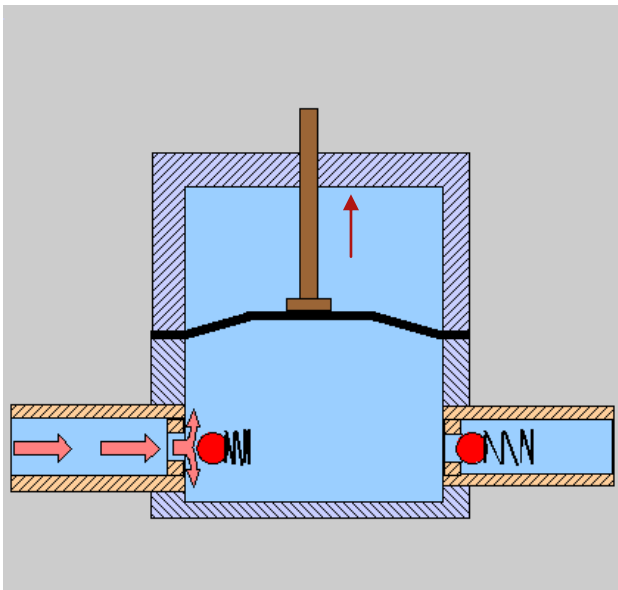


Bombas volumétricas

Bombas volumétricas: O volume de líquido em cada movimento é fixado pelas dimensões geométricas da bomba.

- Bomba de diafragma

Aplicações: laboratórios, poços rasos

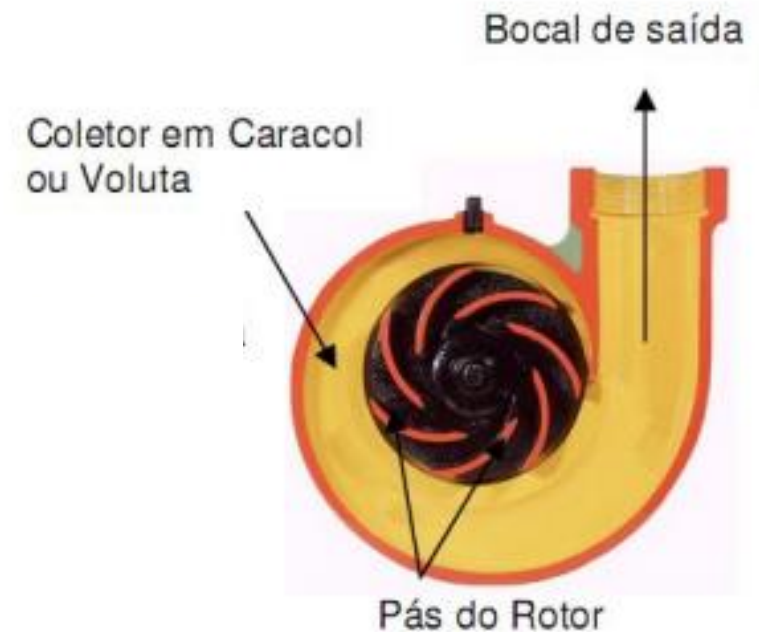


Bombas de escoamento dinâmico

Bombas centrífugas ou radiais: o aumento da pressão resulta da força centrífuga aplicada ao líquido por um rotor

Aplicações: irrigação, instalações prediais, combate a incêndios etc.

- Maior rendimento em altas pressões

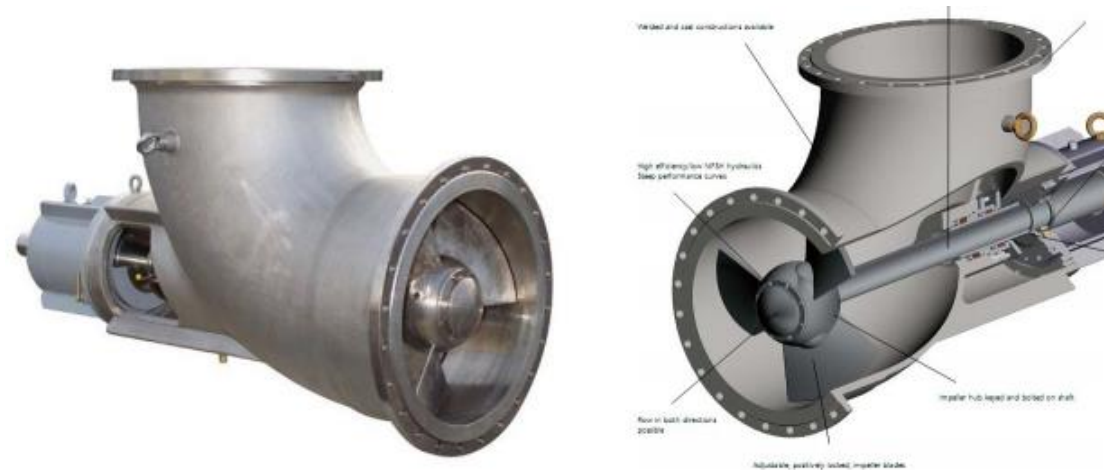


Bombas de escoamento dinâmico

Bombas axiais: o aumento da pressão resulta da força centrífuga aplicada ao líquido por um rotor

Aplicações: sistemas de drenagem

- Maior rendimento em baixas pressões

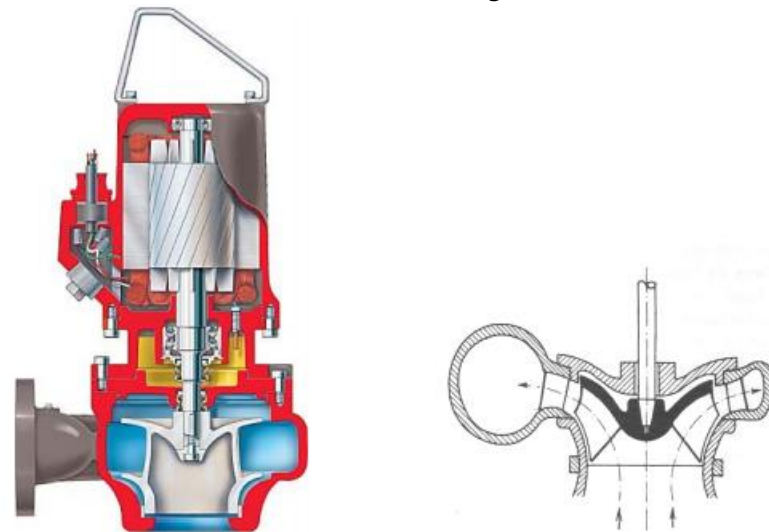


Bombas de escoamento dinâmico

c) Bombas mistas: o aumento da pressão resulta da força centrífuga aplicada ao líquido por um rotor

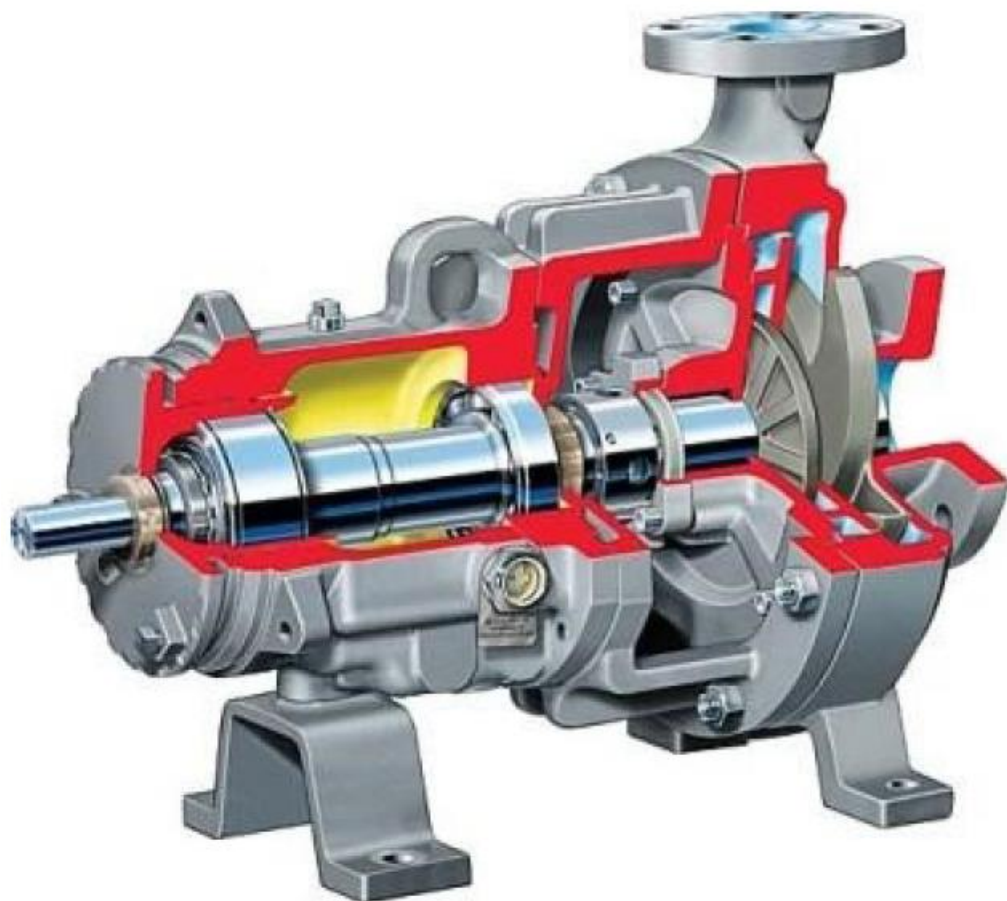
Aplicações: situações intermediárias entre as bombas centrífuga e axial

- Maior rendimento em pressões intermediárias



Bombas Hidrodinâmicas

Sistemas constituintes



SFH - Sistema Fixo Hidrodinâmico

- Carcaça, seção de entrada e seção de saída
- Função: guiar o líquido

SRH - Sistema Rotativo Hidrodinâmico

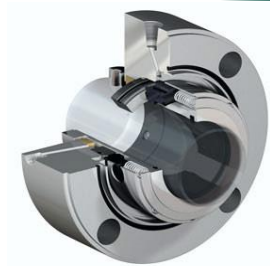
- Rotor, eixo e acoplamento motor-eixo
- Função: fornecer energia ao líquido

Bombas Hidrodinâmicas

Sistemas constituintes

Sistemas Auxiliares

a) Apoio: pelo menos 2 mancais



b) Vedação: isola o eixo na transição do meio externo para o interno

- Gaxeta – cordão de amianto entrelaçado. Ajustes devido ao desgaste
- - Selo mecânico – estanque, sem ajustes



c) Lubrificação: óleo , graxa

- Grandes bombas possuem lubrificação forçada

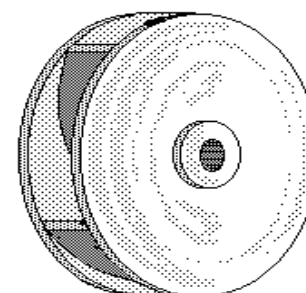
Bombas Hidrodinâmicas

Rotores

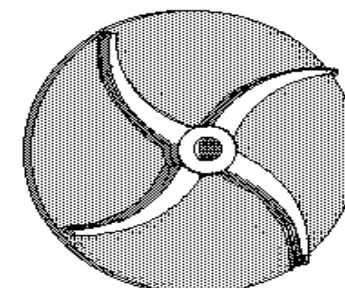
Tipos

Abertos: líquidos com sólidos em suspensão

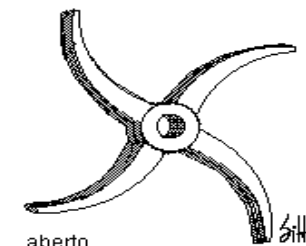
Fechados: líquidos sem sólidos em suspensão



fechado



semi aberto



aberto

Bombas Hidrodinâmicas

Rotores

Número

a) Monoestágio: apenas um rotor



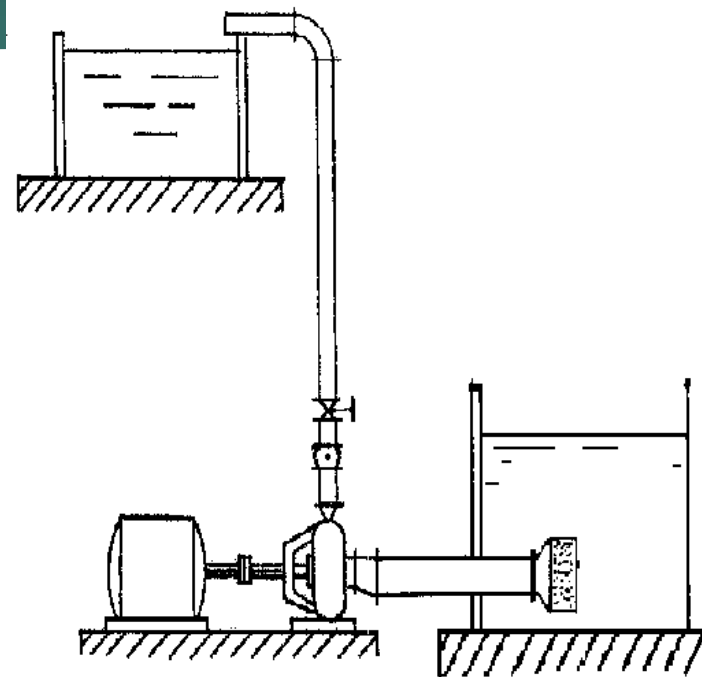
b) Multiestágio: mais de um rotor (pressões mais elevadas)



Classificação

Afogada:

- ▶ cota do eixo fica abaixo do nível de água no sistema.
- ▶
- ▶ Bomba de sucção negativa.
- ▶ Não precisa escorvar.

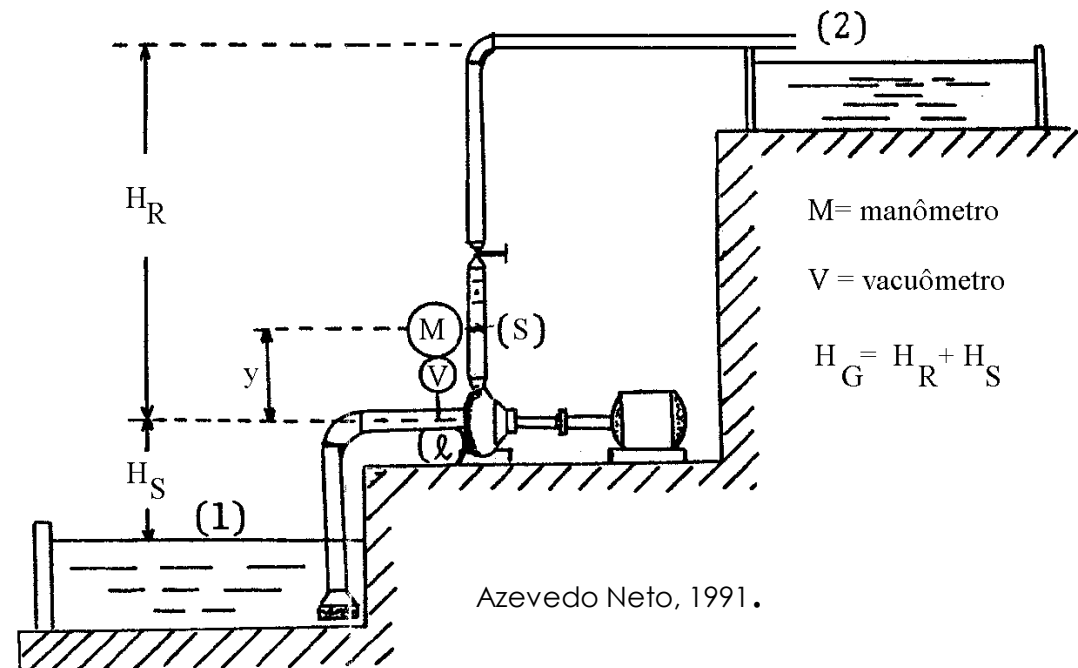


Azevedo Neto, 1991.

Classificação

Não Afogada:

- cota do eixo fica acima do nível de água no sistema. Precisa escorvar.



Terminologia

Hg_s = altura geométrica de sucção

hf_s = perda de carga na sucção

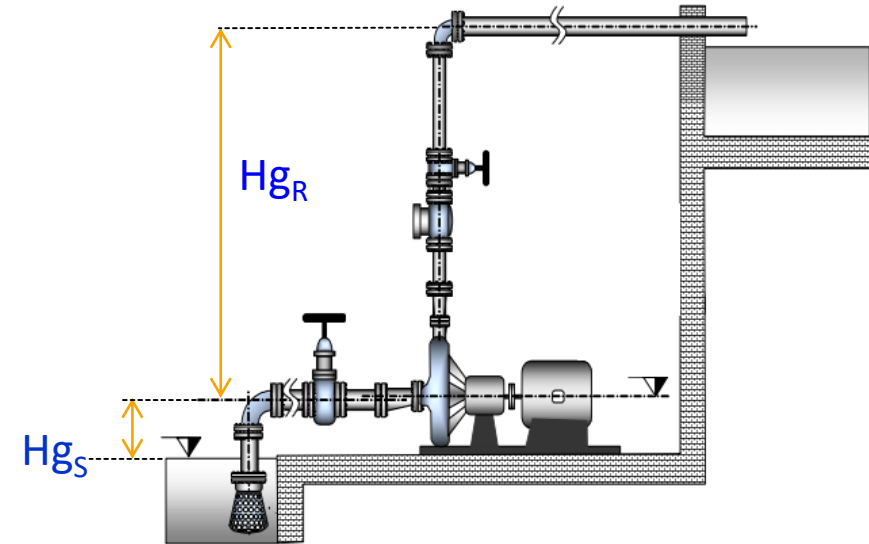
Hm_s = altura manométrica de sucção
 $= Hg_s + hf_s$

Hg_R = altura geométrica de recalque

hf_R = perda de carga no recalque

Hm_R = altura manométrica de recalque
 $= Hg_R + hf_R$

Hm_T = altura manométrica total = Hm_s
+ Hm_R



Terminologia

SUCÇÃO

HgS – altura geométrica de sucção

hfS – perda de carga na sucção

HmS – altura manométrica de sucção

$$HmS = HgS + hfS$$

RECALQUE

HgR – altura geométrica de recalque

hfR – perda de carga no recalque

HmR – altura manométrica de recalque

$$HmR = HgR + hfR$$

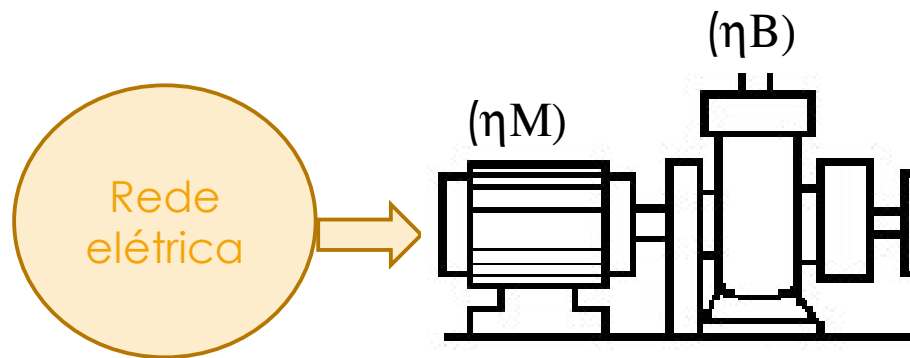
SISTEMA DE BOMBEAMENTO

HmT

altura manométrica total

$$HmT = HmS + HmR$$

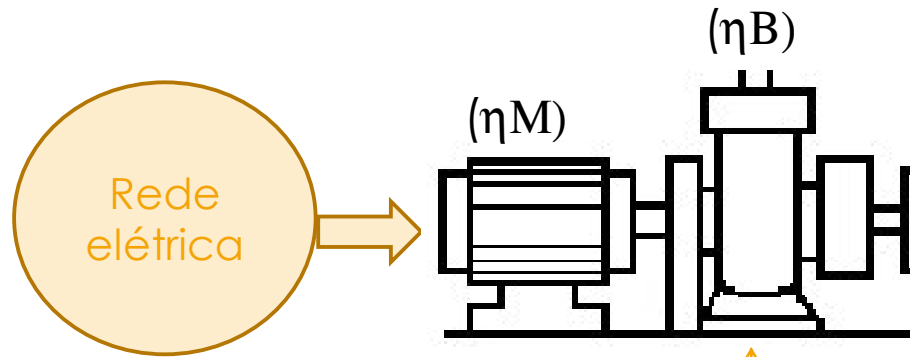
Potências e Rendimentos



Potência hidráulica = PotHidr

$$Pot_{\text{hidr}} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75} = CV$$

Potências e Rendimentos



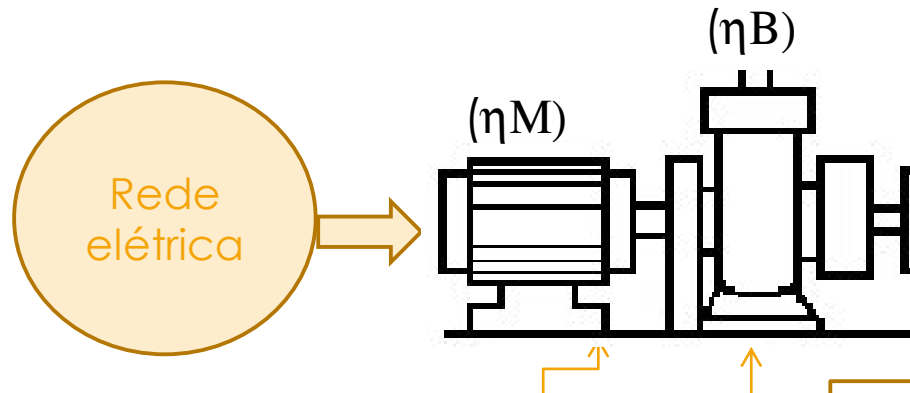
Potência hidráulica = PotHidr

$$Pot_{hidr} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75} = CV$$

Potência absorvida pela bomba = PAB

$$PAB = \frac{Pot_{hidr}}{\eta_B} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_B} = CV$$

Potências e Rendimentos



Potência hidráulica = PotHidr

$$Pot_{hidr} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75} = CV$$

Potência absorvida pelo motor = PAM

$$PAM = Pot_{MB} = \frac{PAB}{\eta_M} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_B \cdot \eta_M}$$

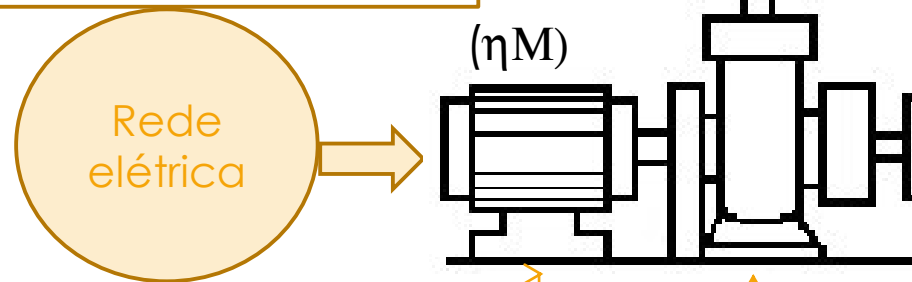
$$PAM = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_{MB}} = CV$$

Potência absorvida pela bomba = PAB

$$PAB = \frac{Pot_{hidr}}{\eta_B} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_B} = CV$$

Potências e Rendimentos

Potência nominal do motor elétrico comercial



Potência hidráulica = PotHidr

$$Pot_{hidr} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75} = CV$$

Potência absorvida pelo motor = PAM

$$PAM = Pot_{MB} = \frac{PAB}{\eta_M} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_B \cdot \eta_M}$$

$$PAM = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_{MB}} = CV$$

Potência absorvida pela bomba = PAB

$$PAB = \frac{Pot_{hidr}}{\eta_B} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_B} = CV$$

Folga para potência do motor elétrico

Potência necessária na bomba	Potência do motor elétrico	
(HP ou CV)	CV	kW
0 – 0,4	0,75 (+88%)	0,55
0,41 – 0,7	1,00 (+144% α 43%)	0,74
0,71 – 1,2	1,50 (+111% α 25%)	1,10
1,21 – 1,6	2,00 (+65% α 25%)	1,47
1,61 – 15,0	----- 20% de folga -----	
> 15,0	----- 15% de folga -----	

Potências nominais de motores elétricos padronizados (Norma ABNT) – em CV

1/12	1/8	1/6	1/4	1/3	1/2	3/4	1
1,5	2	3	4	5	6	7,5	10
12,5	15	20	25	30	40	50	60
75	100	125	150	200	250	300	350
425	475	530	600	675	750	850	950

Exemplo:

- ▶ $Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s};$
- ▶ $H_{mt} = 50 \text{ mca};$
- ▶ $\eta_B = 70\% \text{ e}$
- ▶ $\eta_M = 80\%$

Exemplo:

► $Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$; $H_{mt} = 50 \text{ mca}$; $\eta_B = 70\%$ e $\eta_M = 80\%$

$$PotHidr = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) * H_{Mt}(\text{m}) * \gamma \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}{\eta_B} = \frac{0,01 * 50 * 1000}{75} = 6,67 cv$$

$$P_{AB} = \frac{PotHidr}{\eta_B} = \frac{6,67}{0,7} = 9,53 cv$$

$$P_{AM} = \frac{PotHidr}{\eta_B * \eta_M} = \frac{6,67}{0,7 * 0,8} = 11,91 cv$$

Potência nominal motor elétrico (entre 1,61 e 15 cv) → folga de 20% → $11,91 * 1,20 = 11,42 cv$

motor elétrico comercial → 12,5 cv

NPSH (Net Positive Suction Head) ou APLS (altura positiva líquida de sucção)

- ▶ $NPSH_d$ – disponibilidade de energia com que o líquido entra na bomba
- ▶ Depende das condições locais
- ▶ Característica das instalações da bomba

$$NPSH_d = P_{atm\ local} - H_{gs} - hf_s - H_v$$

H_v - pressão de vapor do líquido

$NPSH_r$ – requerido Fornecido pelo fabricante

CAVITAÇÃO

- ▶ Fenômeno em que o líquido atinge pressão inferior à P_{atm} , de tal maneira que se torna inferior à H_v .
- ▶ O líquido entra em ebulição à temperatura ambiente e transforma-se em vapor.
- ▶ Em seguida, recebe um acréscimo de energia das pás do rotor e a pressão torna-se superior à P_{atm} . Nesse momento ocorre uma explosão de curta duração, mas de grande intensidade.
- ▶ - Efeito: erosão de partículas metálicas da cavidade de bombeamento e do rotor

CAVITAÇÃO

- ▶
- ▶ Para evitar a cavitação: $NPSH_d > NPSH_r$
- ▶ Altura máxima de sucção: $H_{gS\ max}$
- ▶ Casa de bombas flutuante ou móvel; Bomba auxiliar em série

NPSH (Net Positive Suction Head) ou APLS (altura positiva líquida de sucção)

NPSHr (requerido)

Limite de pressão de sucção no qual o desempenho em perda de carga total da bomba é reduzido em 3%, devido à cavitação.

É a energia que deve estar disponível no interior da bomba para evitar a cavitação

NPSHr é fornecido pelo fabricante

Exemplo:

► Altitude = 900 m

Líquido: água a 30°C ($H_v = 0,433$ mca) $Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$

Sucção: $H_{gs} = 4 \text{ m}$ $h_{fs} = 1 \text{ mca}$

$\text{NPSH}_r = 6 \text{ mca}$ (catálogo)

► Pede-se:

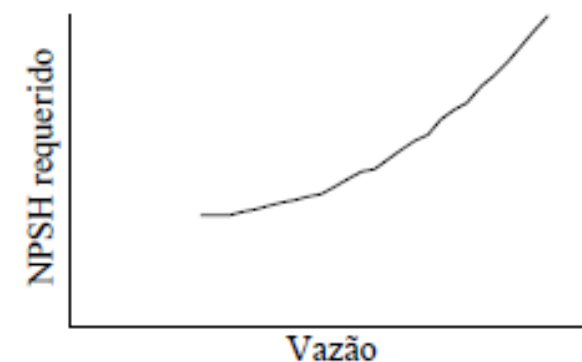
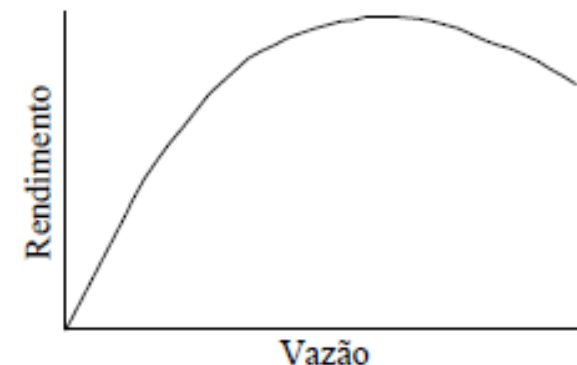
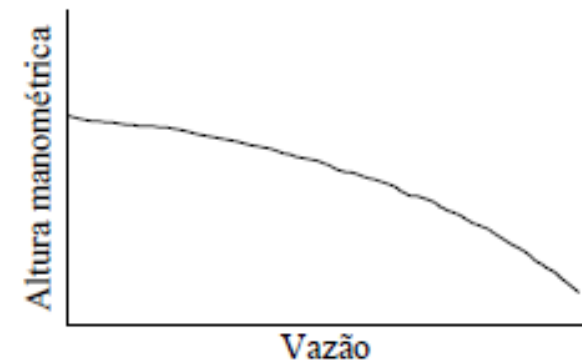
a) O NPSH_d

b) Verificar se haverá cavitação

c) Determinar a máxima H_{gs} para evitar a cavitação

Curvas Características da Bomba

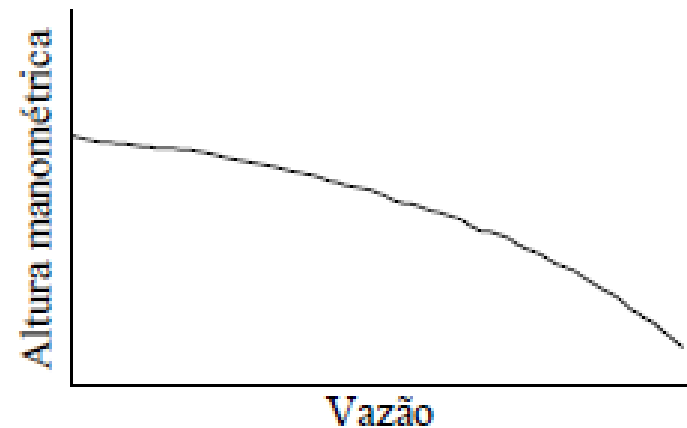
- ▶ São curvas provenientes de ensaios de bombas a uma rotação constante.
- ▶ Rotações mais utilizadas (rotação dos motores elétricos): 3500 RPM; 1750 RPM

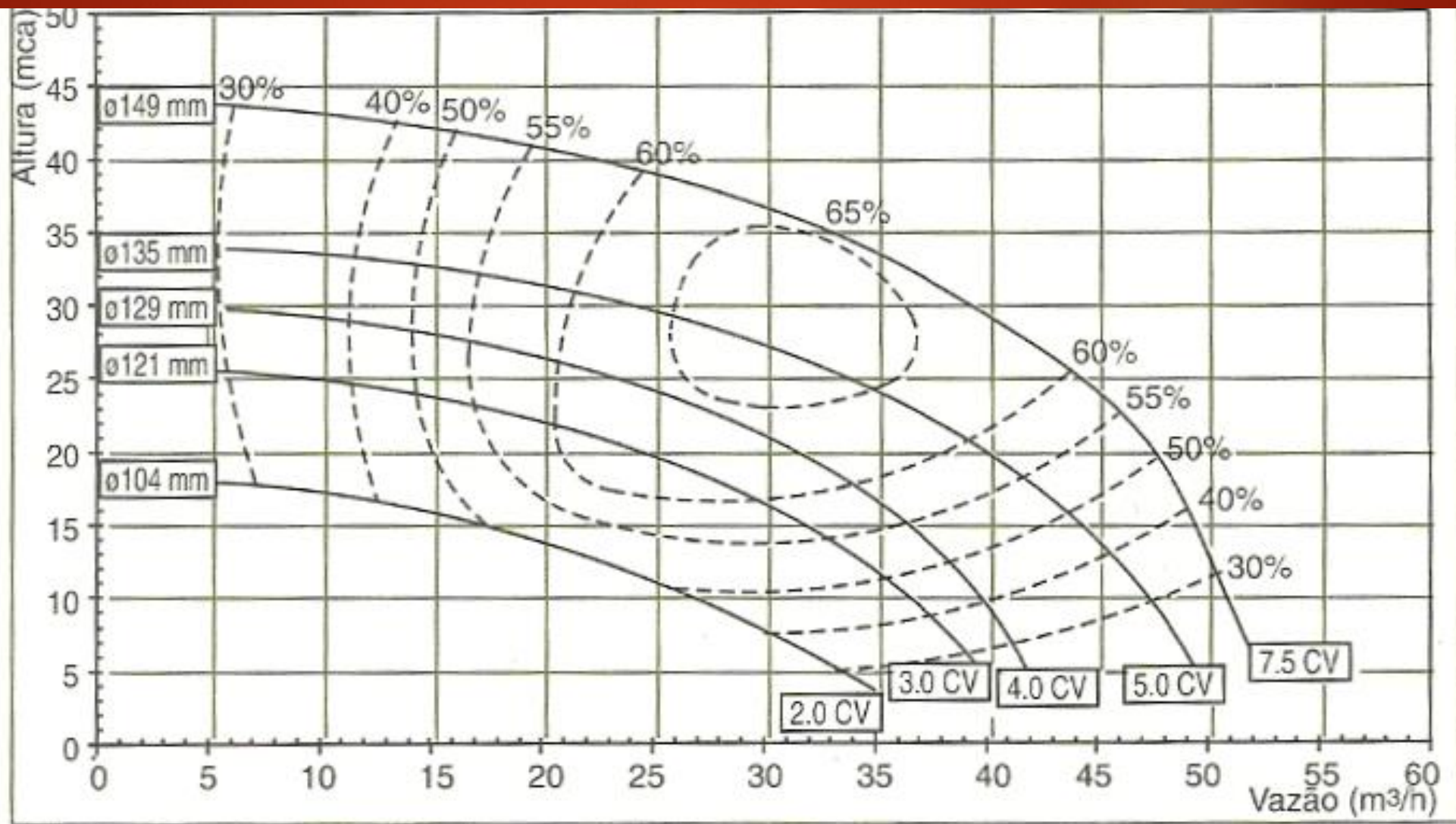


Curvas Características da Bomba

Curva Vazão x Pressão (Q x Hm)

- ▶ - Bombas geralmente têm várias opções de rotores (diâmetros variados)
- ▶ - Cada rotor tem sua própria curva

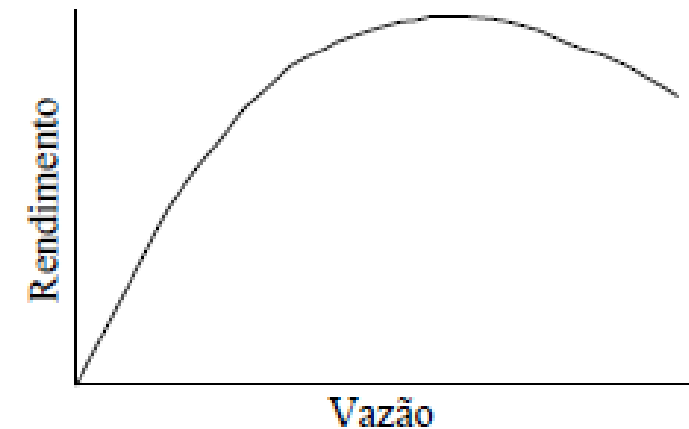


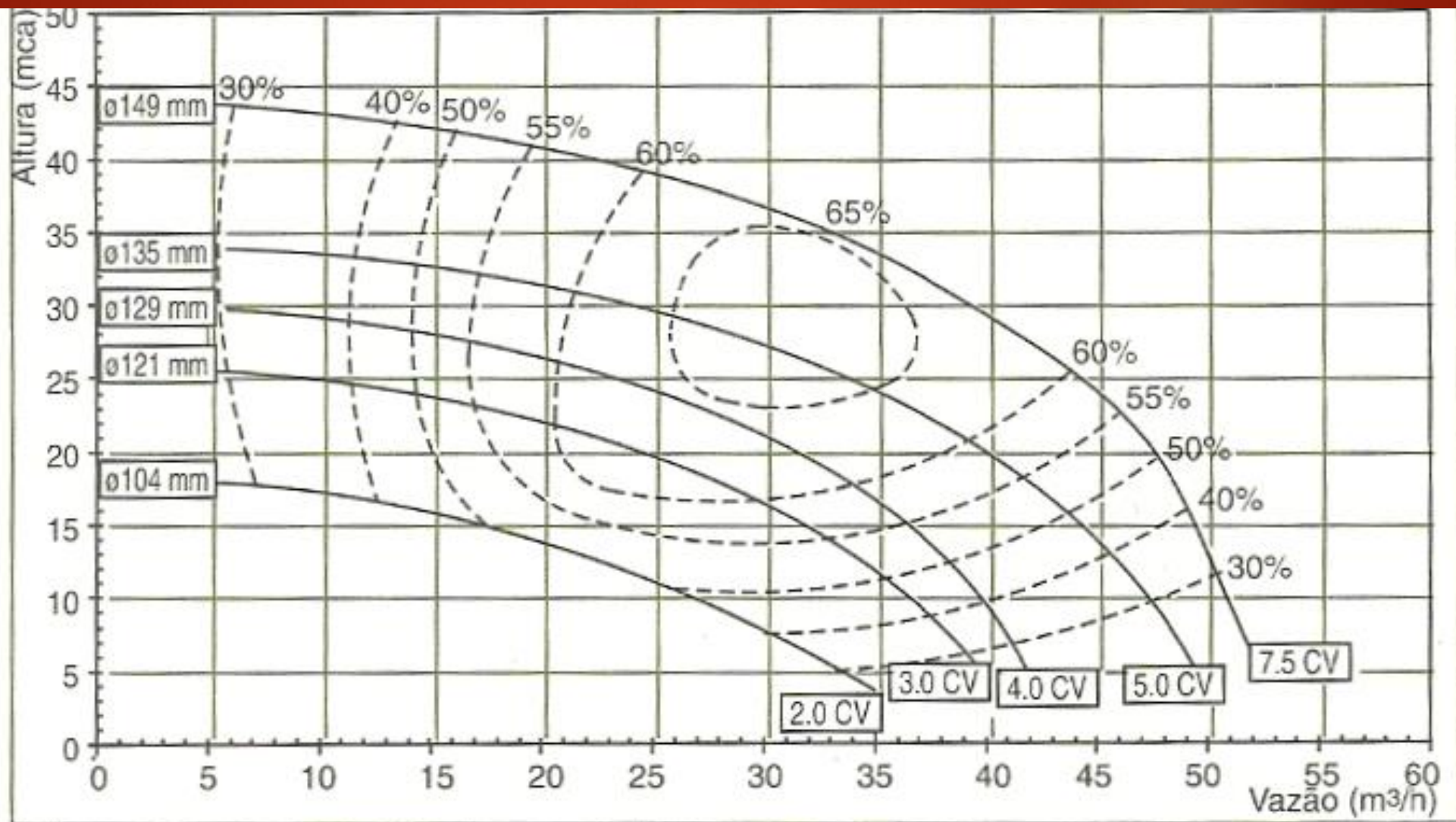


Curvas Características da Bomba

Curva Vazão x Rendimento ($Q \times \eta_b$)

- ▶ - Capacidade de conversão de energia motriz (motor) em hidráulica (bomba)

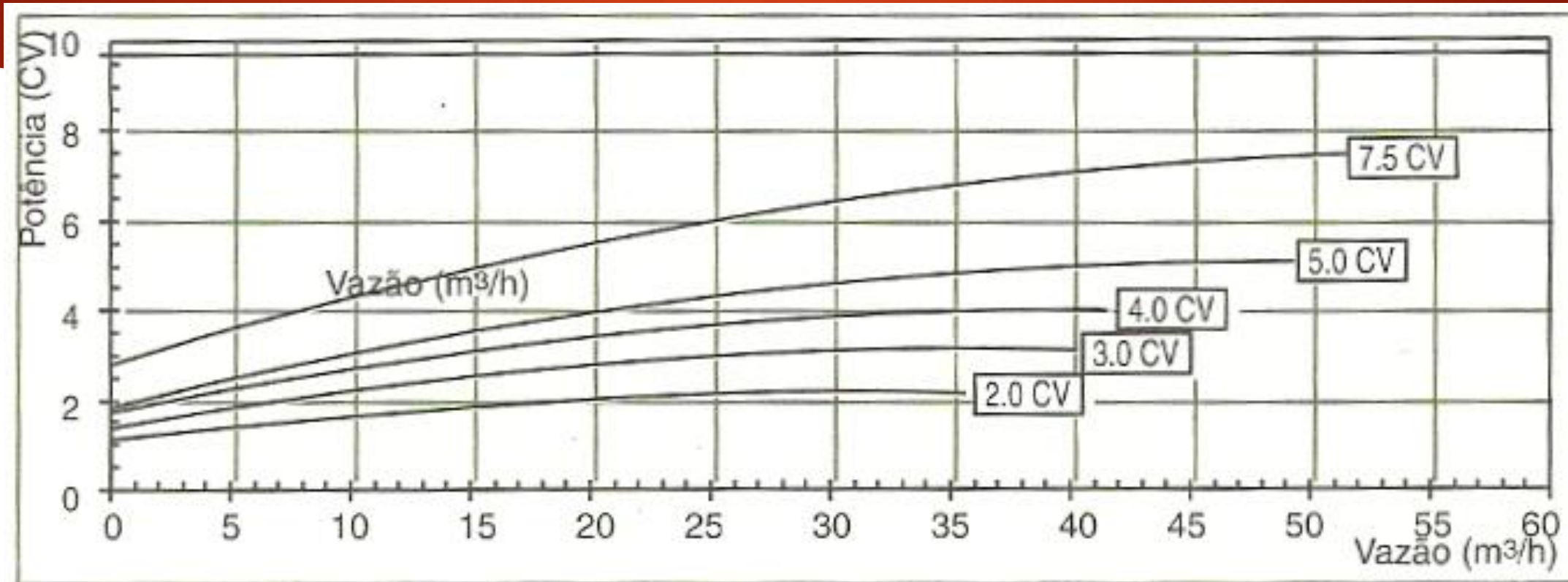




Curvas Características da Bomba

Curva Vazão x Potência (Q x Pot)

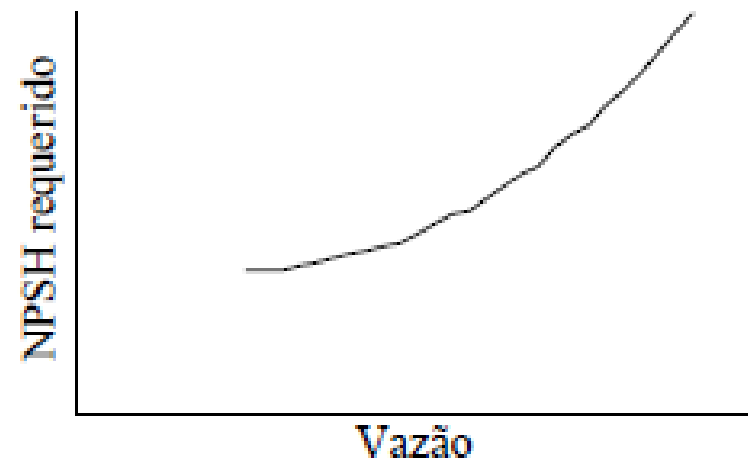
- Junto com a curva Q x b, é utilizada para calcular o consumo de energia e escolher o motor da bomba

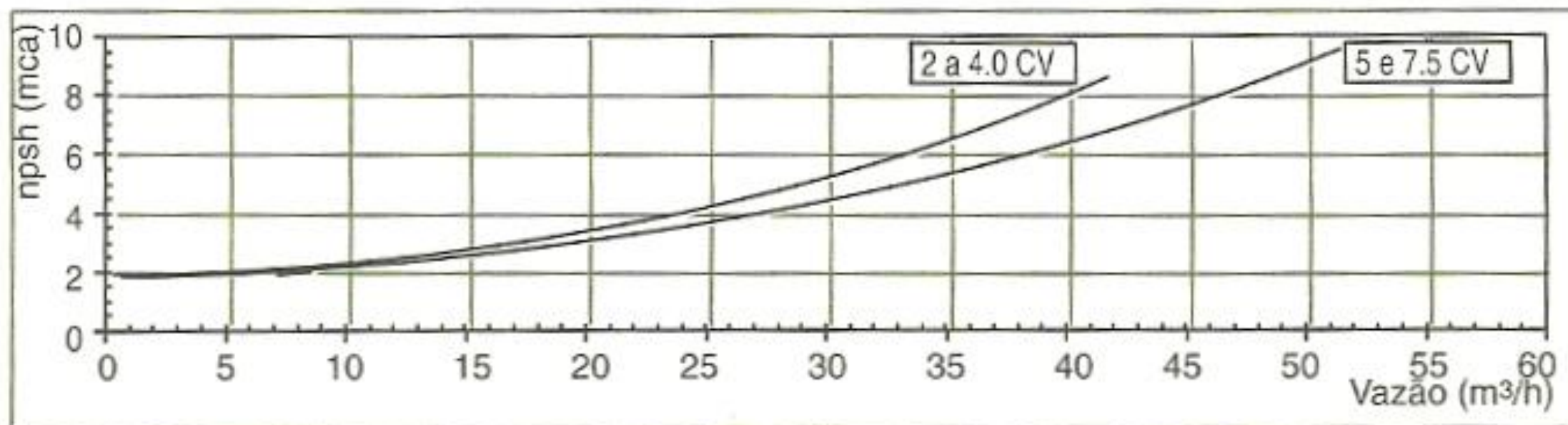


Curvas Características da Bomba

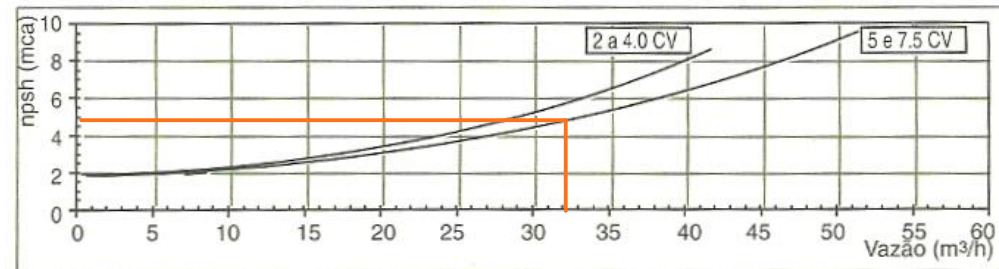
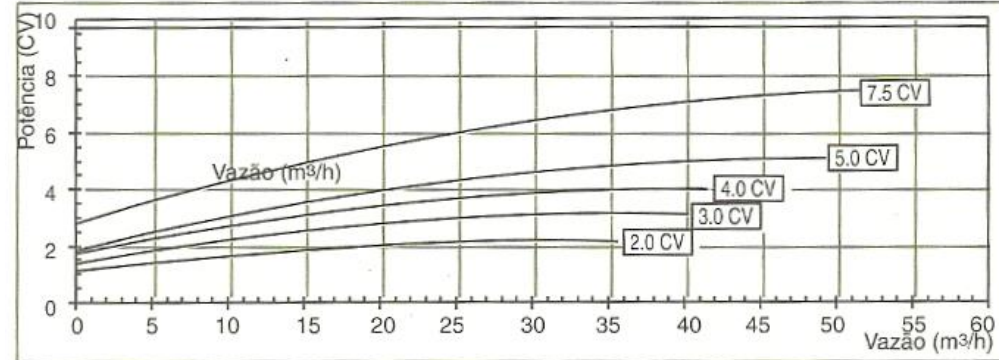
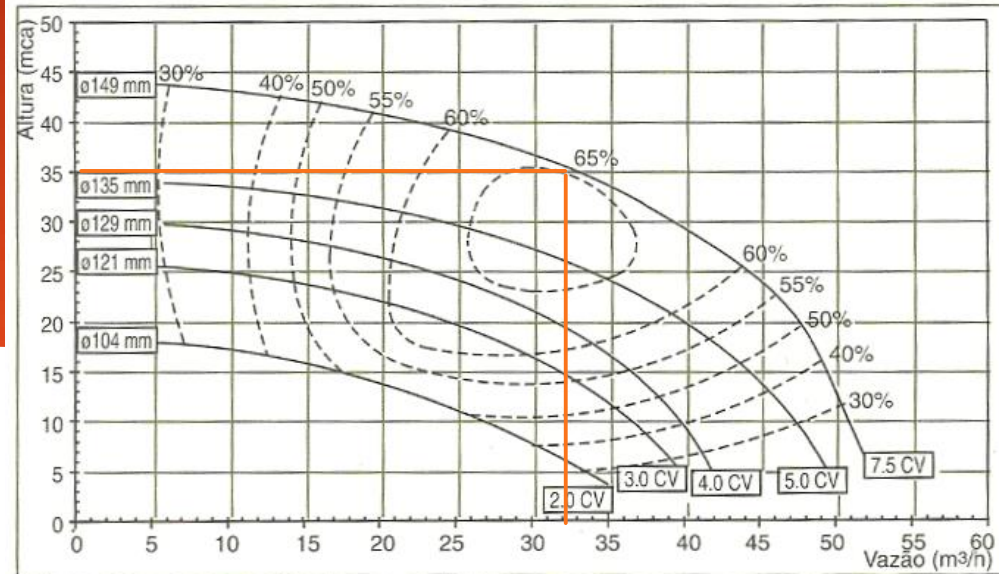
Curva Vazão x NPSHr

- ▶ - limite de pressão de sucção no qual o desempenho em perda de carga total da bomba é reduzido em 3%, devido à cavitação.





BC-21 2 x 1.1/2



► Exemplo:

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

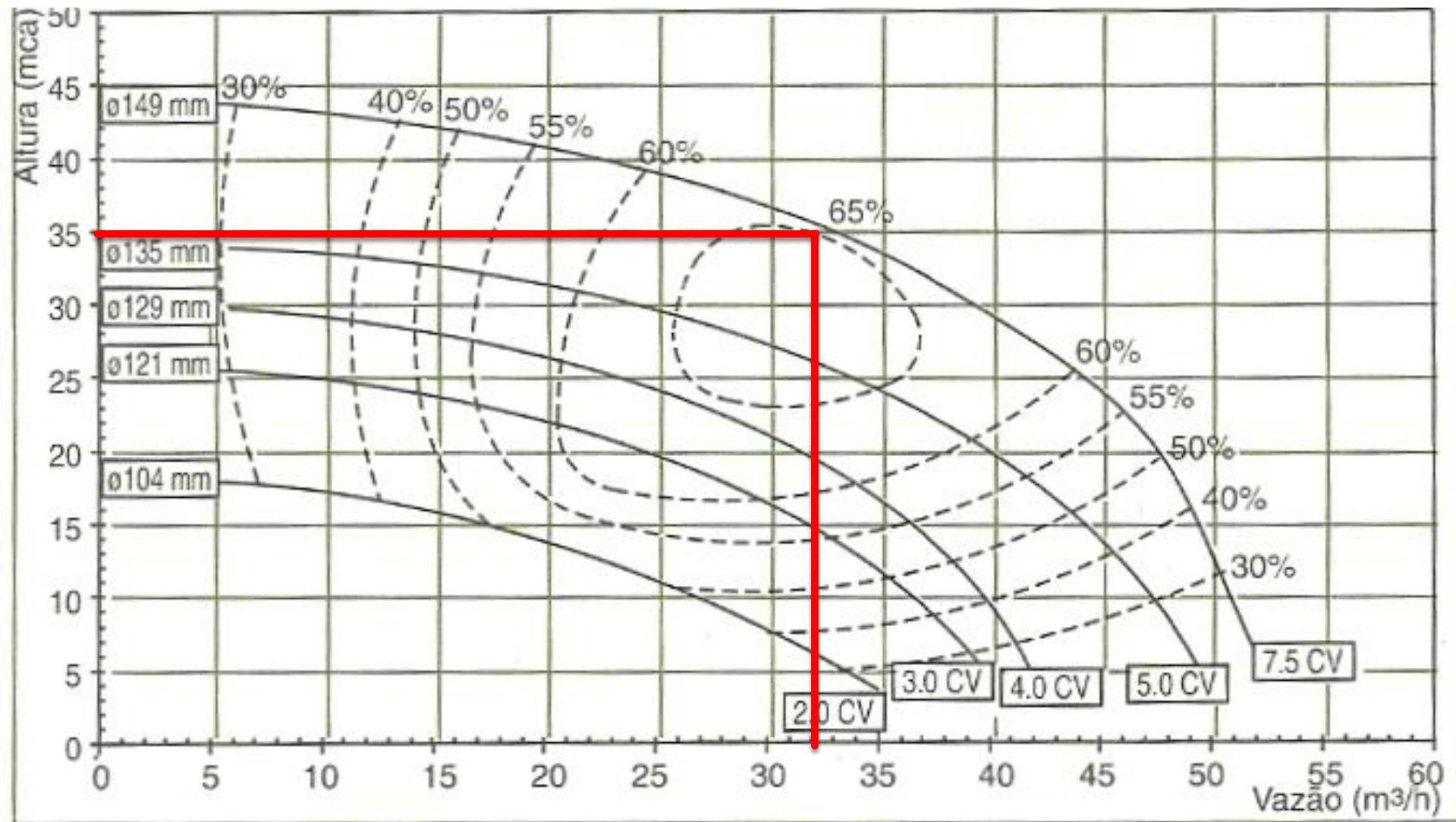
$$H_{Mf} = 35 \text{ mca}$$

► Seleccionada: 7,5cv

rotor 149mm

Rendimento: 65%

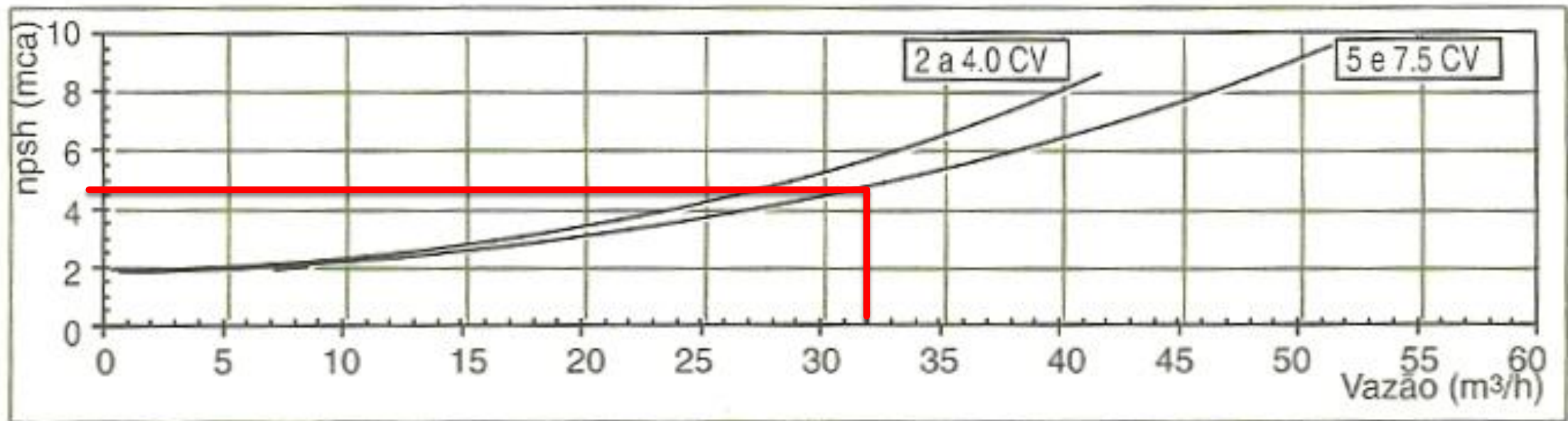
NPSH requerido: 5mca



7,5cv

rotor 149mm

Rendimento: 65%



NPSH requerido: 5mca

Projeto de um sistema de recalque

▶ Passos para o dimensionamento

- ▶ a) Definir o diâmetro da tubulação de recalque (D_R)
- ▶ b) Calcular a perda de carga no recalque (hf_R)
- ▶ c) Calcular a altura manométrica de recalque (Hm_R)
- ▶ d) Definir o diâmetro da tubulação de sucção (D_S)
- ▶ e) Calcular a perda de carga na sucção (hf_S)
- ▶ f) Calcular a altura manométrica de sucção (Hm_S)
- ▶ g) Calcular a altura manométrica total
- ▶ h) Dimensionar a bomba
- ▶ i) Dimensionar o motor
- ▶ j) Calcular o $NPSH_d$
- ▶ k) Verificar o risco de cavitação
- ▶ l) Determinar a máxima altura de sucção

Projeto de um sistema de recalque

► Dados:

- 1) Cotas: Nível da água: 96 m; Bomba: 100 m e Reservatório: 134 m
- 2) Altitude local: 500 m
- 3) Comprimentos: Recalque (LR): 300 m ; Sucção (LS): 10 m
- 4) Líquido: água a 20°C ($H_v = 0,239$ mca)
- 5) Vazão (Q): 30 m³/h
- 6) Material da tubulação: PVC (C = 150)

Projeto de um sistema de recalque

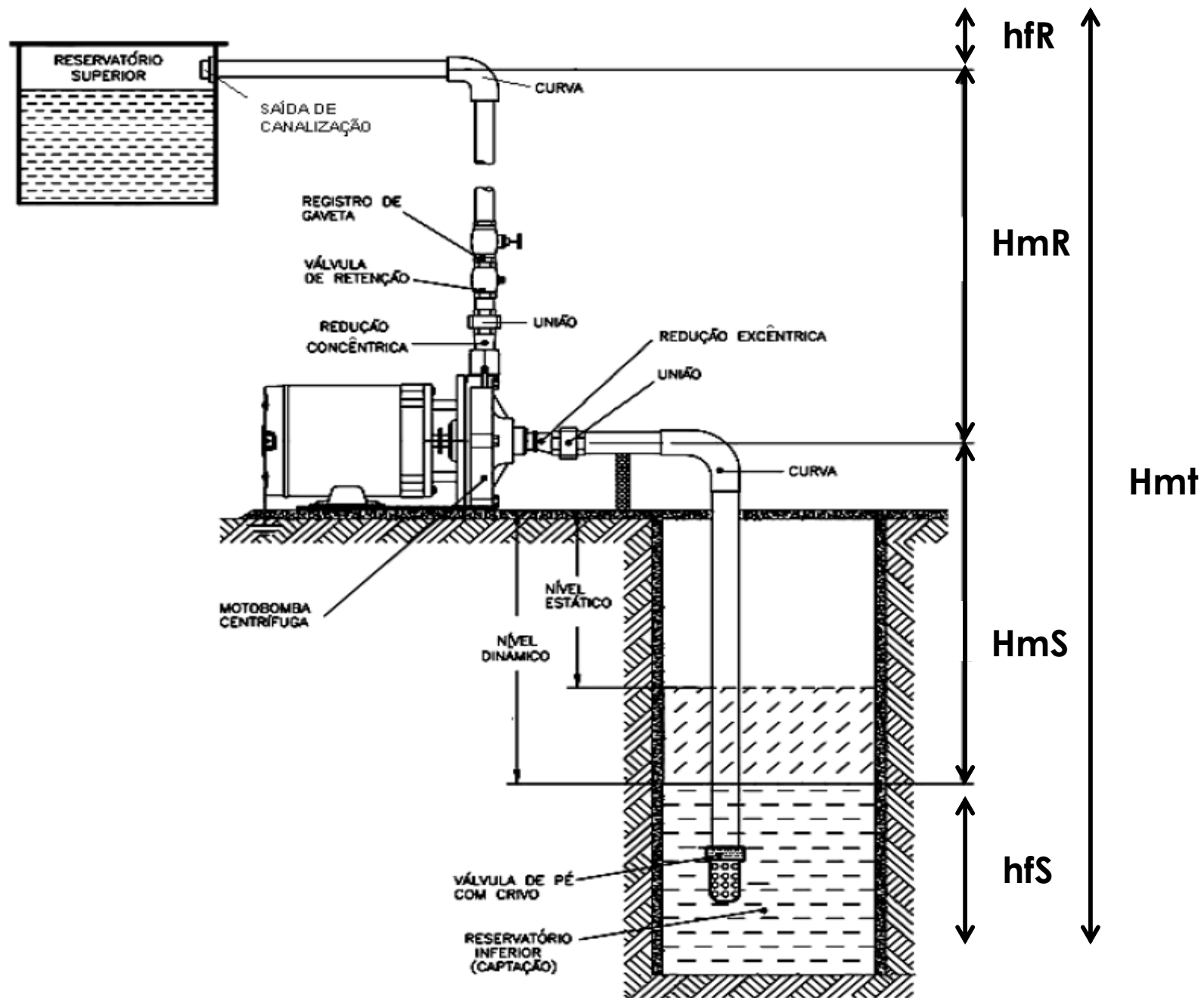
► 7) Acessórios:

a. Sucção:

- 1 válvula de pé com crivo
- 1 curva 90º raio longo
- 1 redução excêntrica

b. Recalque:

- 1 válvula de retenção
- 1 registro de gaveta
- 3 curvas 90º raio longo



$$Hm_S = Hg_S + hf_S$$

$$Hm_R = Hg_R + hf_R$$

$$Hm_T = Hm_S + Hm_R$$

Projeto de um sistema de recalque

peça	Le (m)
válvula de pé com crivo	18,3
redução excêntrica	0,4
curva 90° raio longo	2,1
válvula de retenção	6,4
registro de gaveta	0,7

Alteração nas condições de funcionamento

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1 (\text{rotação}_1)}{N_2 (\text{rotação}_2)} \quad \text{Vazão aumenta com a rotação}$$

$$\frac{HM_1}{HM_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad \text{Pressão aumenta com o quadrado da rotação}$$

$$\frac{Pot_1 \text{ abs}}{Pot_2 \text{ abs}} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \quad \text{Potência aumenta com o cubo da rotação}$$

Alteração nas condições de funcionamento

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

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

$$\text{HMT}_1 = 62 \text{ mca}$$

$$\text{Pot}_{\text{abs } 1} = 7,65 \text{ cv}$$

Motor diesel $\rightarrow$ 2200 RPM

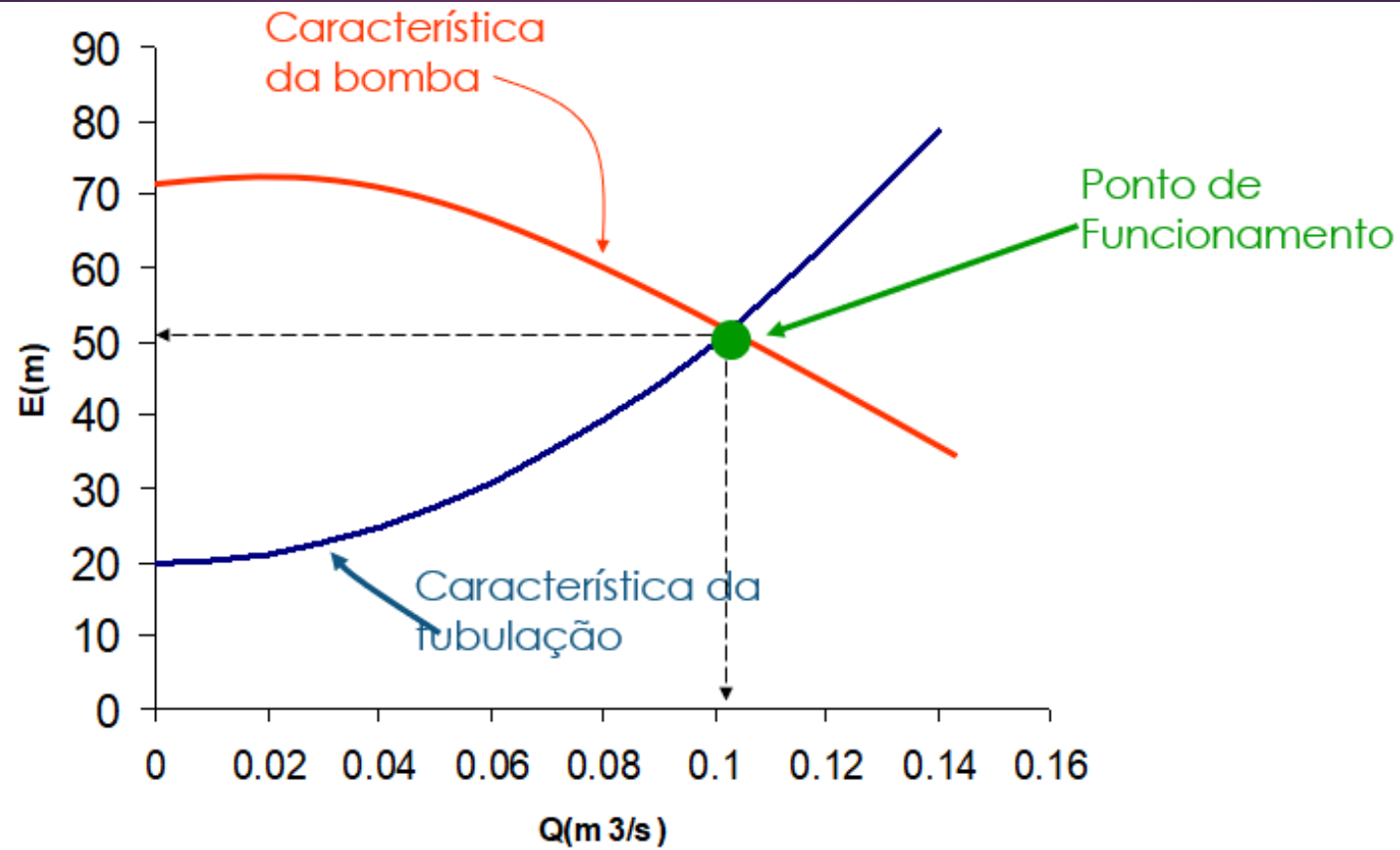
Calcule os valores de vazão, altura manométrica total e potência absorvida para 1750 RPM.

Ponto de funcionamento

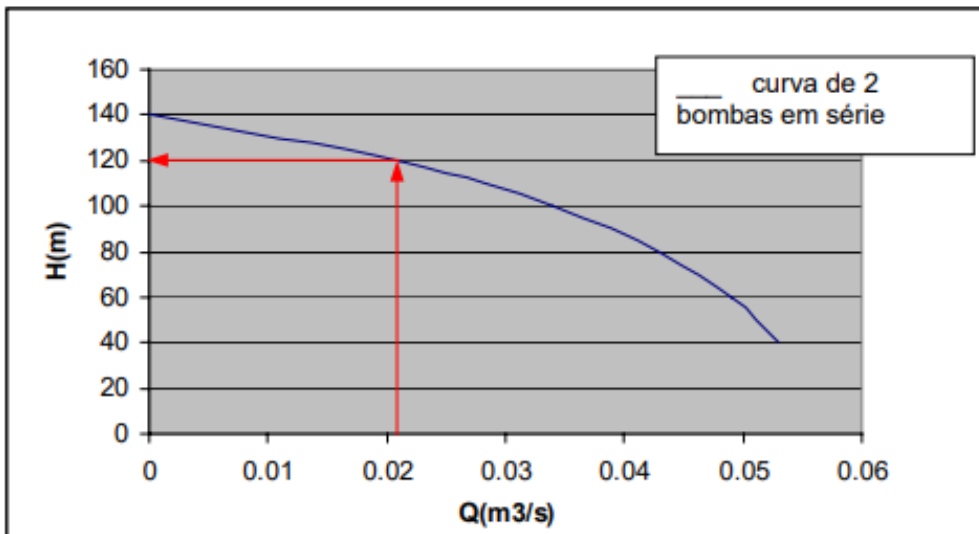
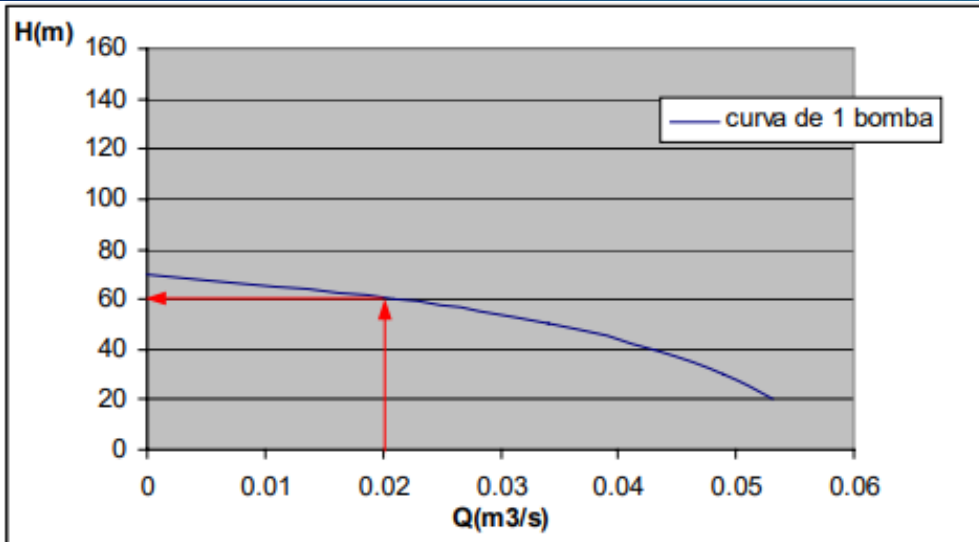
Ponto de funcionamento de uma bomba hidráulica:

- nível de energia a ser transferido ao fluido: energia potencial (desnível geométrico) + perdas de carga
- equilíbrio entre a energia fornecida e a utilizada = condição operacional da bomba

Ponto de funcionamento



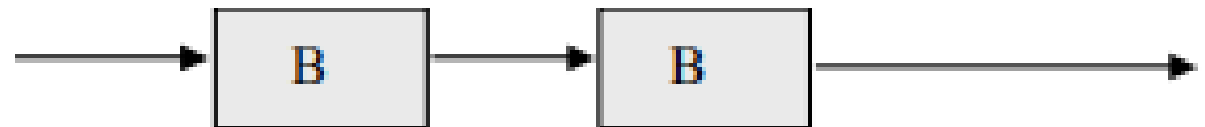
Associação de bombas em série



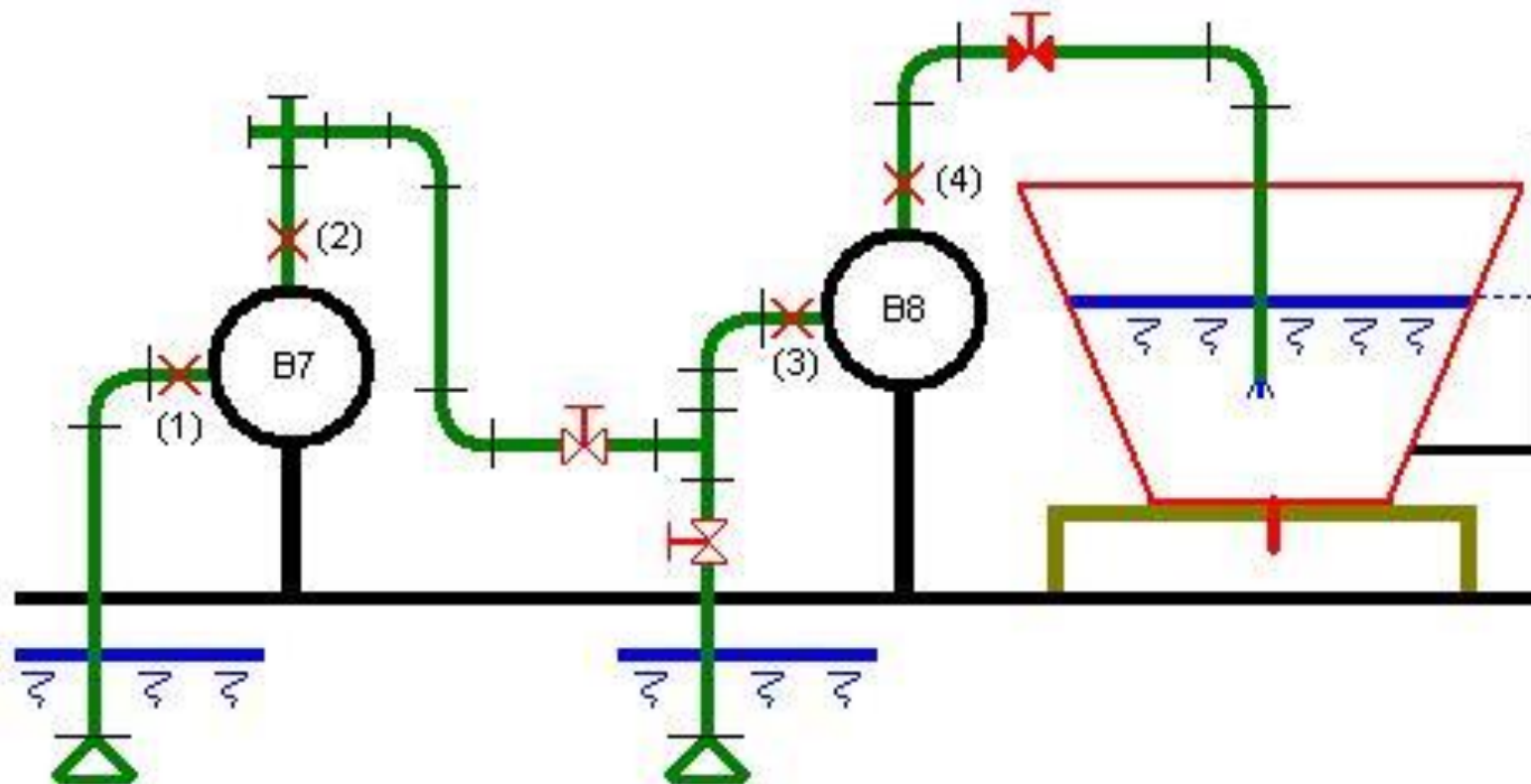
$$H_{mT} = H_{mA} + H_{mA}$$

$$Q_{\text{série}} = Q_A = Q_A$$

$$P_{\text{série}} = P_A + P_A$$



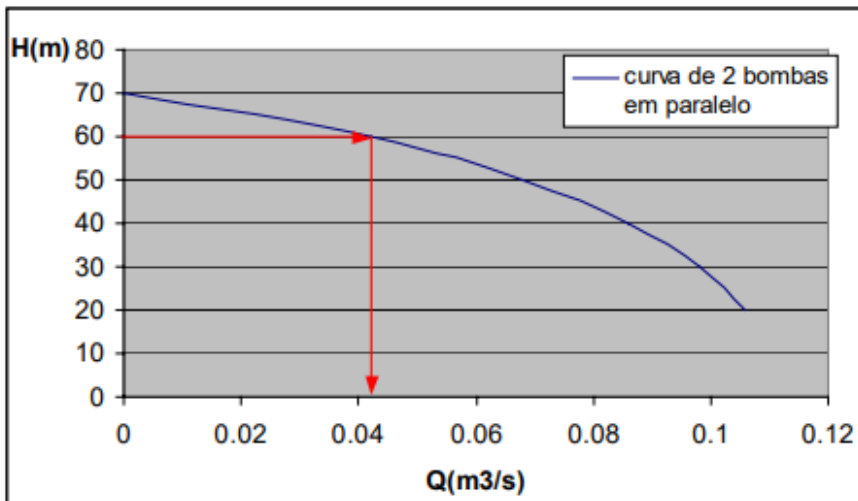
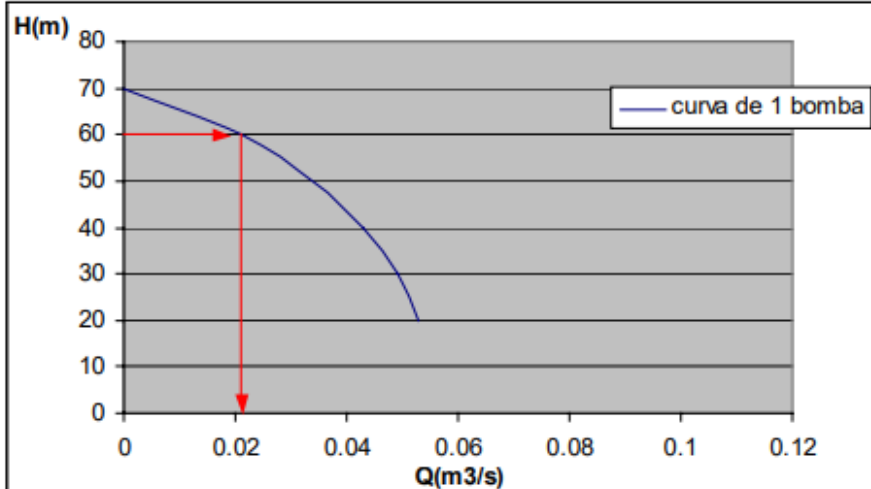
Associação de bombas em série



Associação de bombas em série



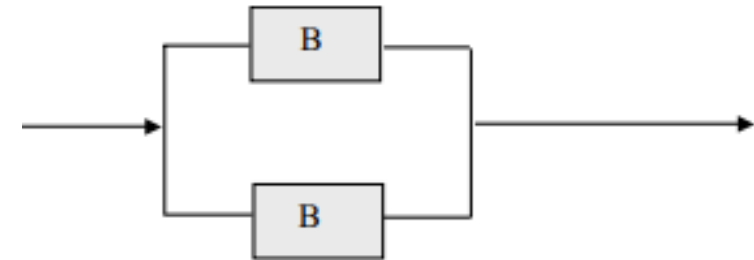
Associação de bombas em paralelo



$$H_{mT} = H_{mA} = H_{mB}$$

$$Q_{\text{paralelo}} = Q_A + Q_B$$

$$P_{\text{paralelo}} = P_A = P_B$$



Associação de bombas em paralelo



Associação de bombas em paralelo



Golpe de aríete

Definição

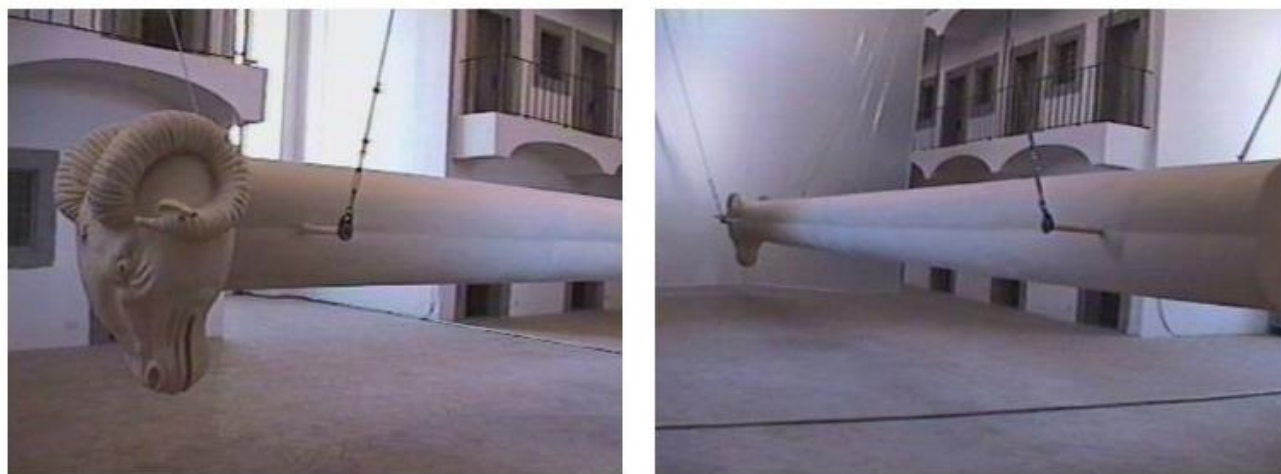
É a elevação de pressão produzida quando o movimento de um líquido é modificado bruscamente.

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

Golpe de aríete

História

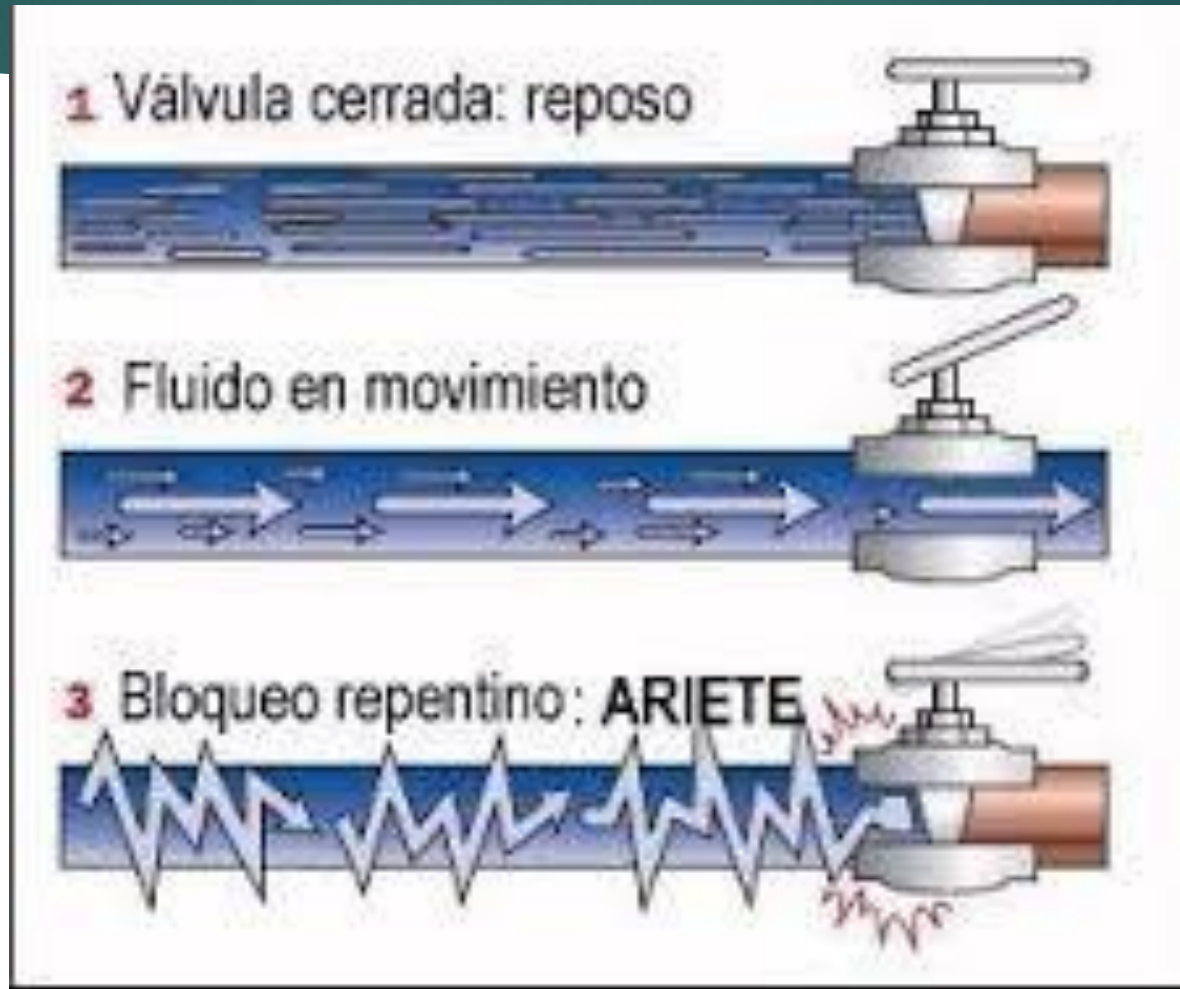
Aríete é uma antiga máquina de guerra usada para romper portas e muralhas de castelos ou fortalezas.



Aríete Militar

Golpe de aríete

[vídeo](#)



Golpe de aríete



Golpe de aríete



Golpe de aríete

1. Celeridade

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

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

c – celeridade, m/s

D – diâmetro do tubo, m

e – espessura da parede do tubo, m

K – coeficiente que depende do material do tubo.

Golpe de aríete

Celeridade

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

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

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

c – celeridade, m/s

D – diâmetro do tubo, m

e – espessura da parede do tubo, m

K – coeficiente que depende do material do tubo.

Golpe de aríete

Período de duração da onda: $T = \frac{2L}{c}$

T – período de duração, s

L – comprimento da tubulação, m

Classificação de manobras de fechamento (t – tempo de fechamento):

a. Manobra lenta: $t > T$

b. Manobra rápida: $t \leq T$

Golpe de aríete

Cálculo da sobrepressão (h_A)

Fórmula de Joukowsky

A) Manobra lenta:

$$h_A = \frac{c V}{g} \cdot \frac{T}{t}$$

B) Manobra rápida:

$$h_A = \frac{c V}{g}$$

V – velocidade de escoamento, m/s

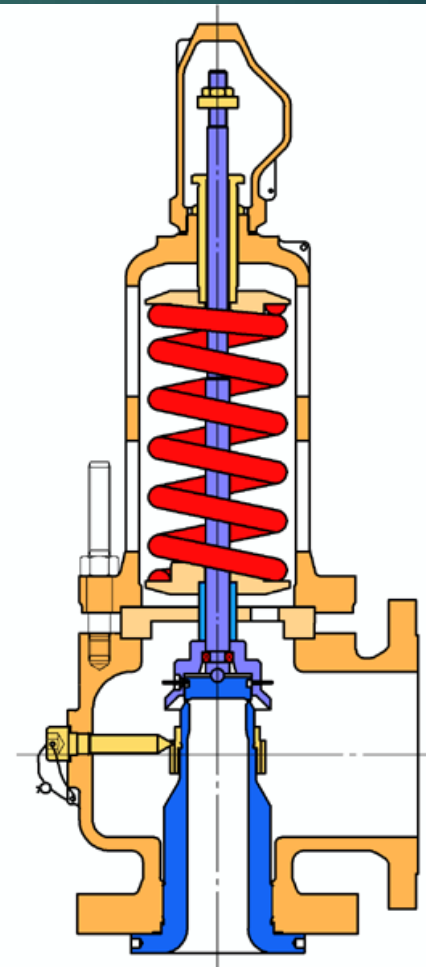
Quanto mais lenta a manobra, menor a sobrepressão.

Golpe de aríete

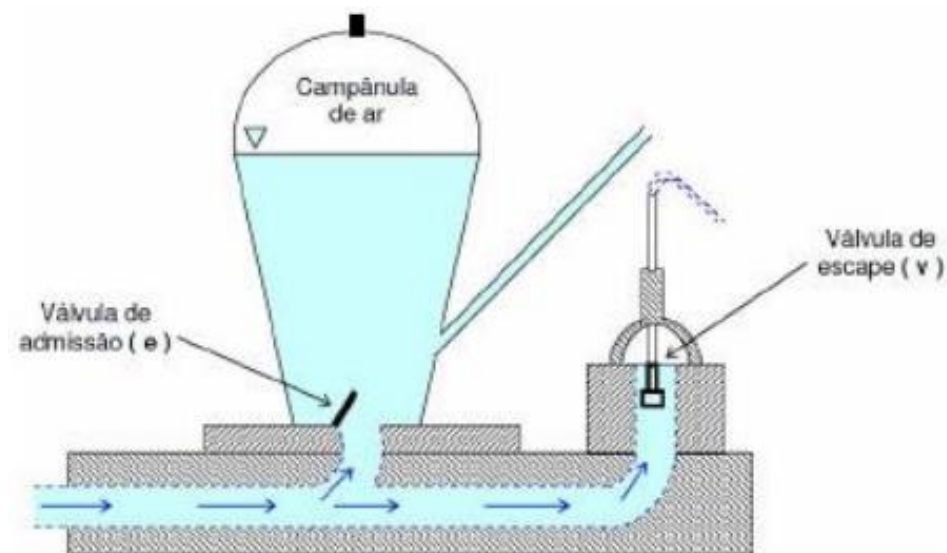
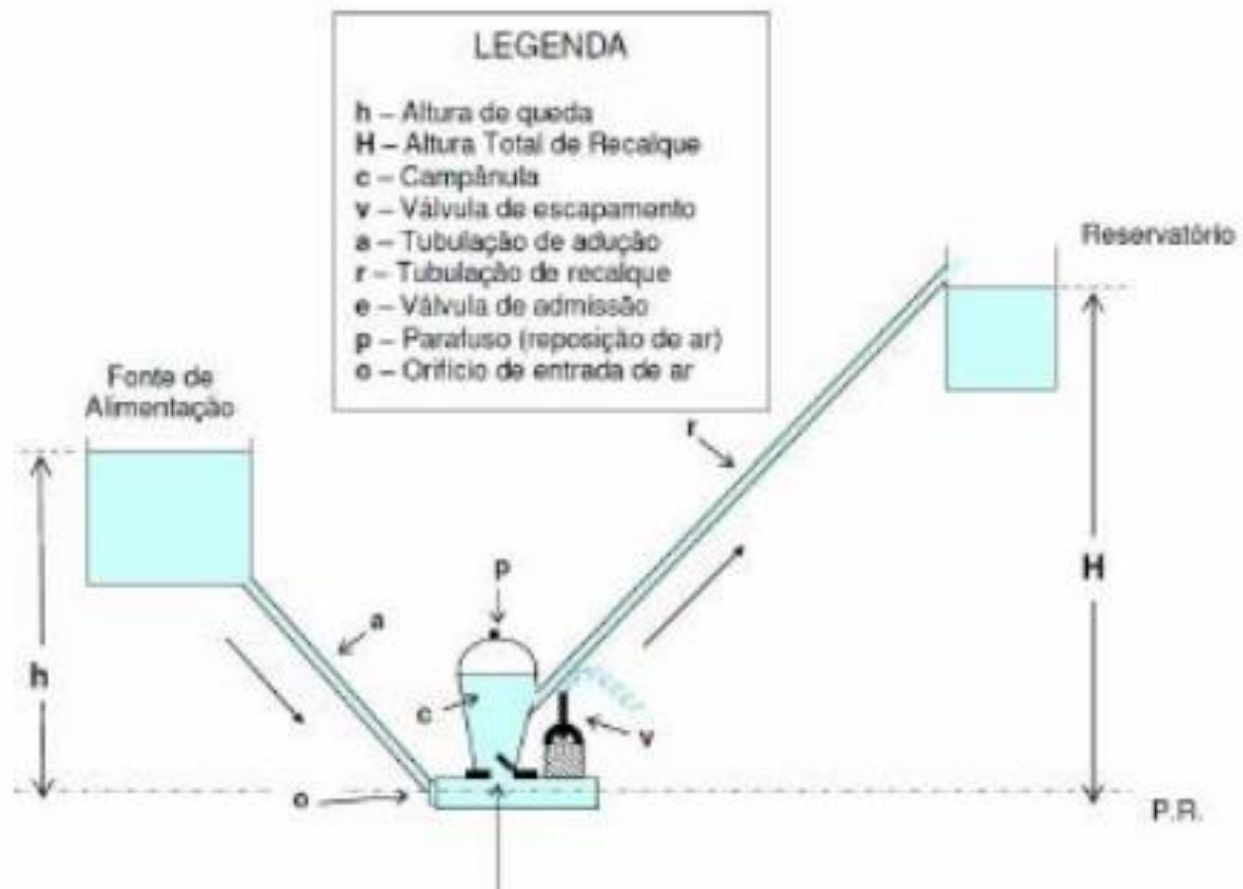
**Dispositivos de segurança
para reduzir danos do golpe
de aríete**

Válvula de alívio

[Válvula antecipadora de onda](#)



Si 8101...07



Golpe de aríete

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