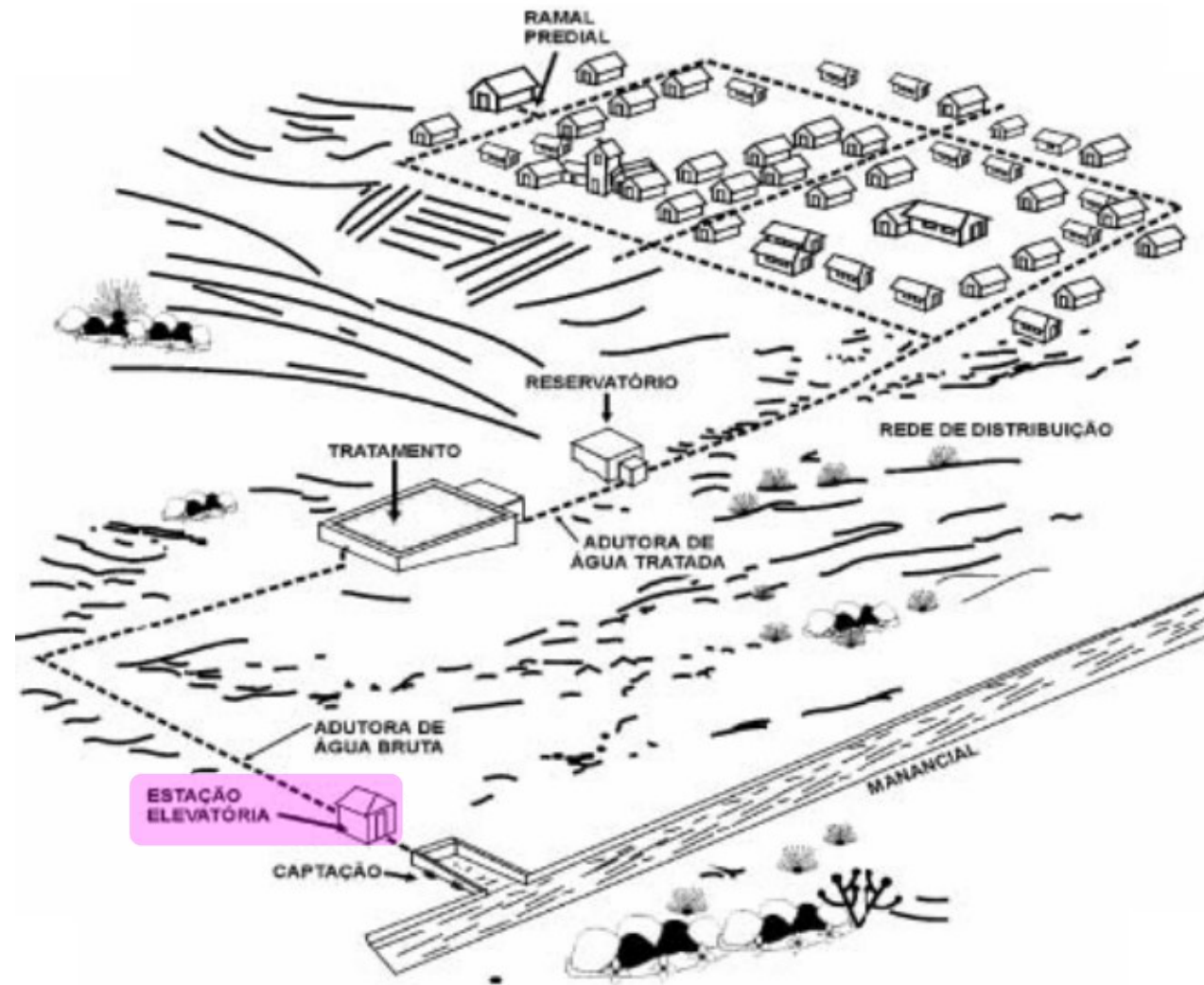


# 7 – Estações elevatórias (EE)

## USO:

- Captação
- Adução
- Tratamento
- Distribuição



# Principais componentes de uma EE

## Equipamento eletromecânico:

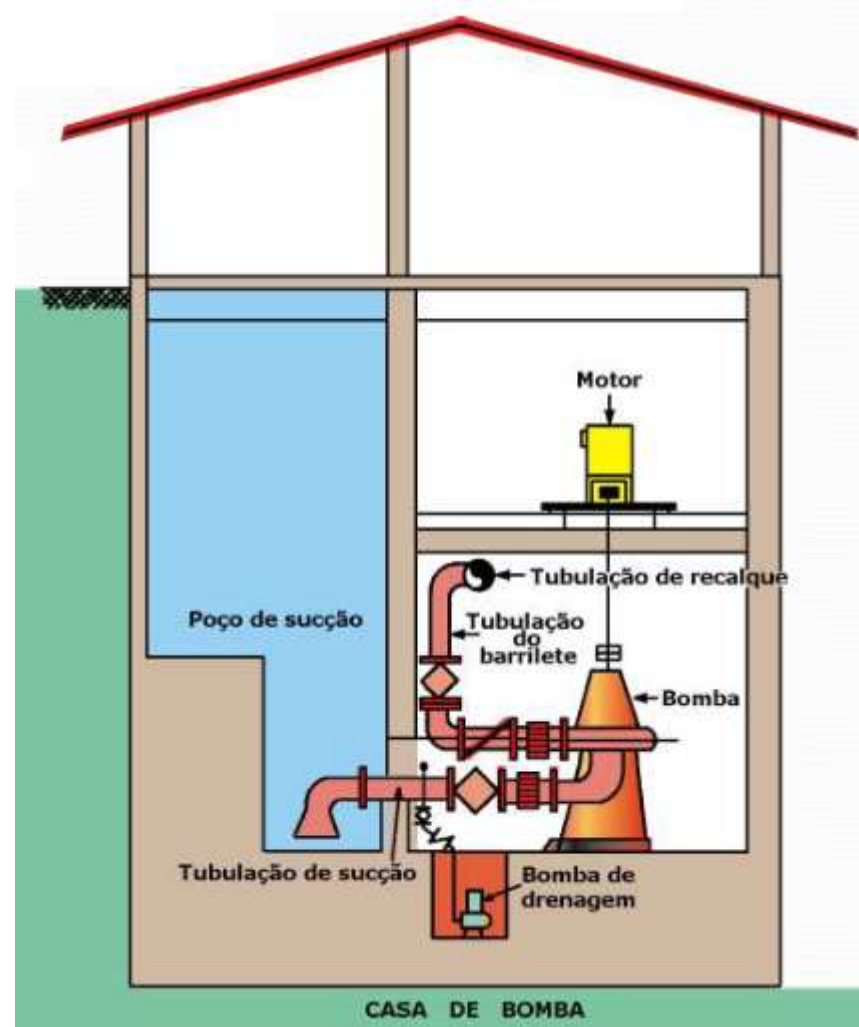
- Bomba
- Motor

## Tubulações:

- Sucção
- Barrilete
- Recalque

## Construção civil:

- Poço de sucção
- Casa de bombas



Fonte Figura: EPUSP – PHD2412

# Bombas

## BOMBAS CINÉTICAS

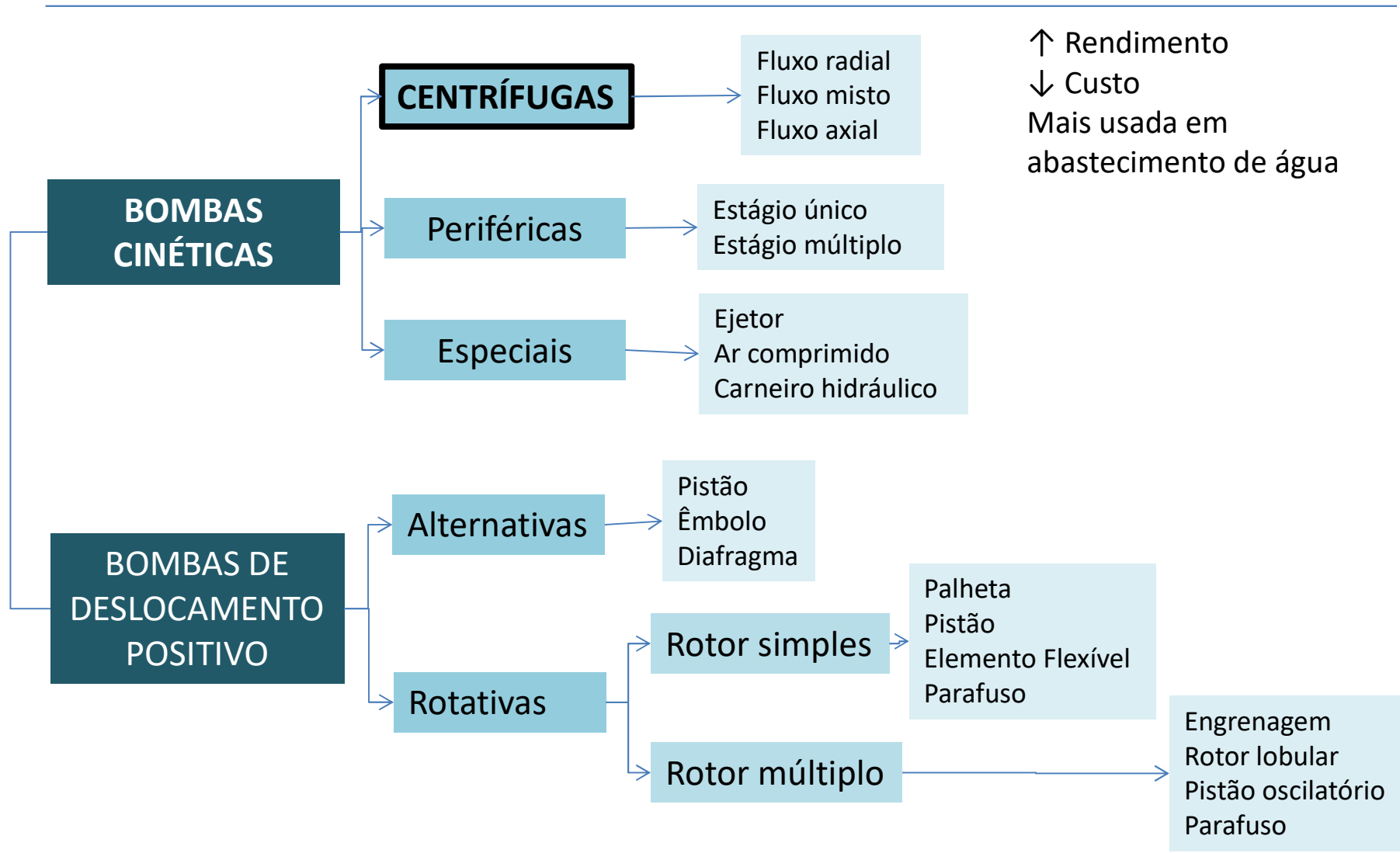


**Fornecem energia à água**, sob forma de **energia de velocidade**. Essa energia se converte dentro da bomba em energia de pressão, permitindo que a água atinja posições mais elevadas dentro de uma tubulação.

## BOMBAS DE DESLOCAMENTO POSITIVO

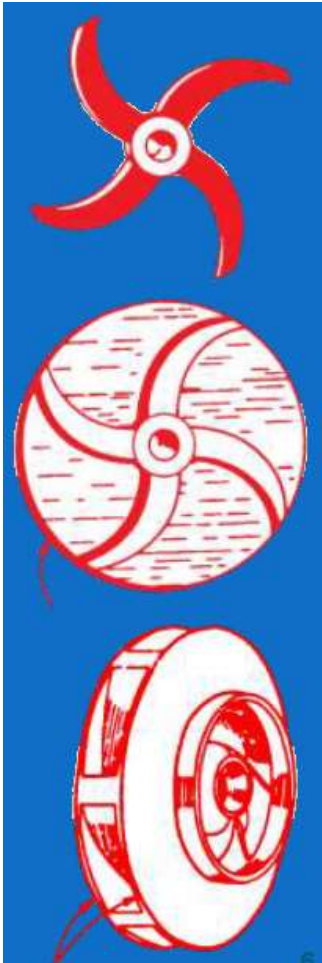


**Não há troca de energia interna na massa líquida**. O líquido confinado em um compartimento sofre um aumento da pressão e é deslocada de uma posição estática para outra posição estática mais elevada.



# Bombas centrífugas

## ROTORES

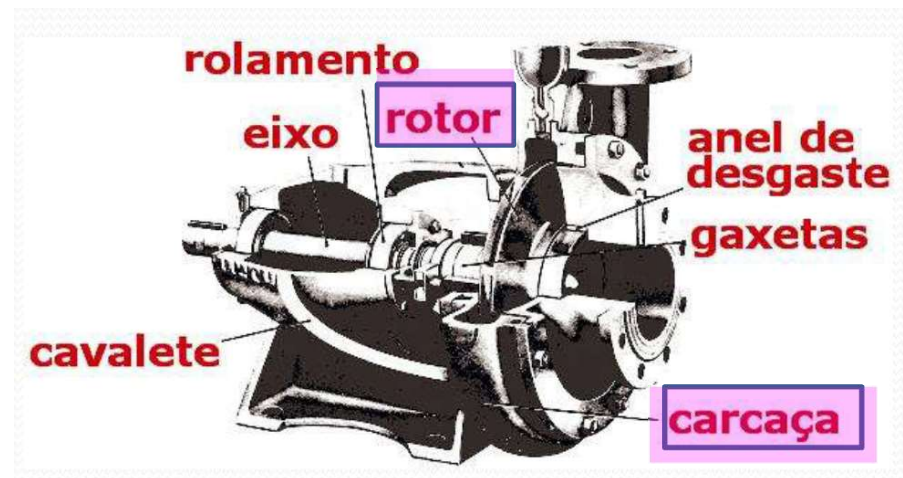
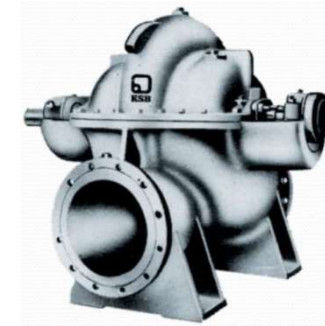


### ABERTO

Mais usado em sistema de esgoto

### SEMI-ABERTO

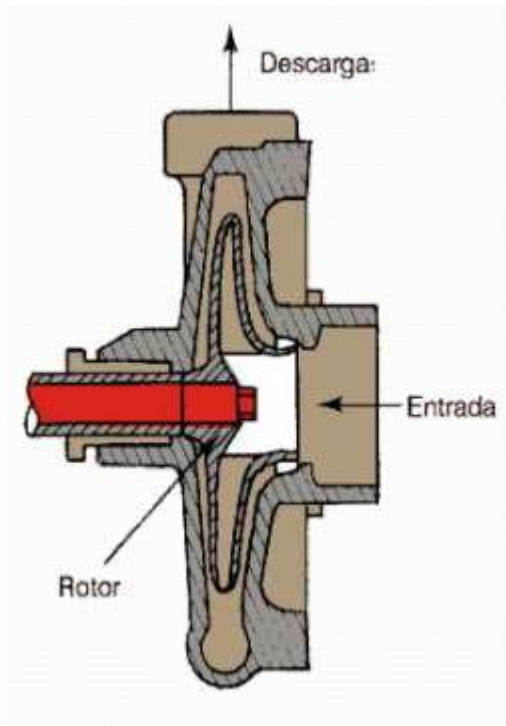
### FECHADO



Corte de uma bomba centrífuga horizontal de simples estágio

## Classificação segundo a trajetória do líquido no rotor

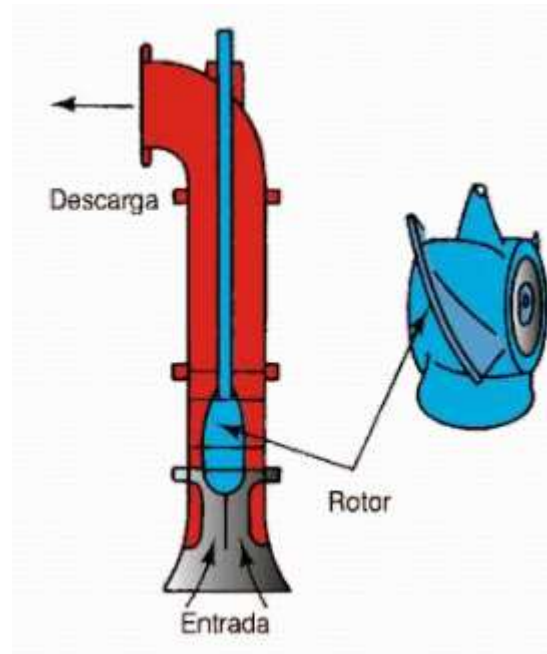
Fluxo Radial



- Sucção simples
- Sucção dupla\*

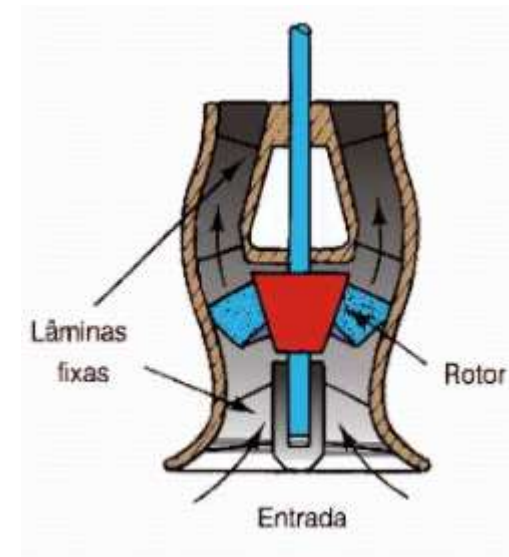
Grande altura de elevação  
Vazão relativamente pequena

Fluxo misto



Altura de elevação relativ. pequena  
Vazão grande

Fluxo axial



Pequena altura de elevação  
Vazão elevada

---

## Velocidade específica ( $N_q$ )

- Parâmetro importante na seleção do tipo de bomba
- Representa a velocidade de rotação da bomba modelo, trabalhando com vazão e altura manométrica iguais a unidade.

Com base na teoria da semelhança dinâmica, tem-se:

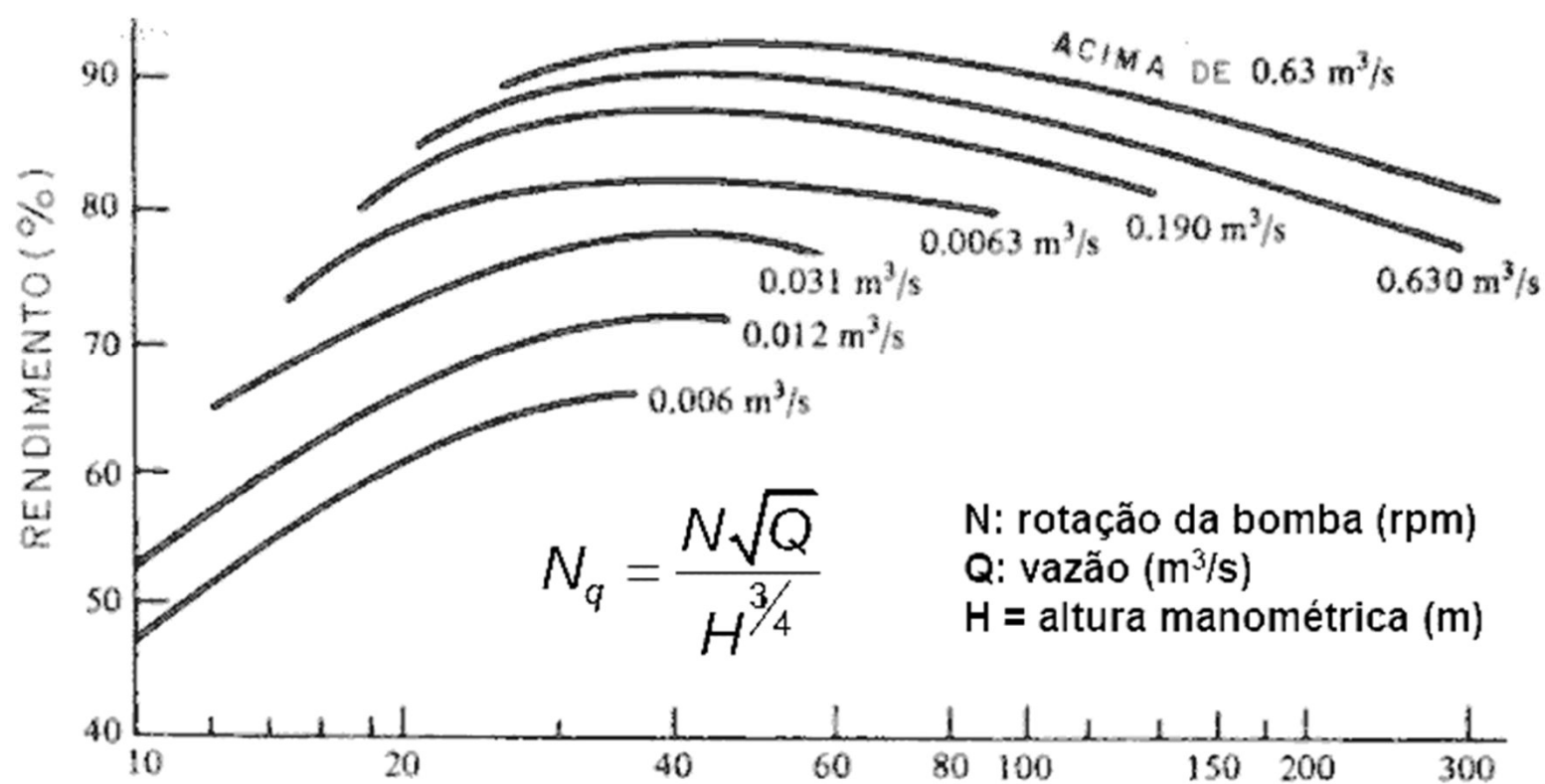
$$N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

N: rotação da bomba (rpm)  
Q: vazão (m<sup>3</sup>/s)  
H = altura manométrica (m)

Faixa de operação das turbobombas com relação a velocidade específica:

Tipo de bomba	Velocidade específica
Radial	10-90
Mista	40-160
Axial	150-420

Fonte: Heller



$$N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

N: rotação da bomba (rpm)  
 Q: vazão (m<sup>3</sup>/s)  
 H = altura manométrica (m)

ROTAÇÃO ESPECÍFICA  $N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$



Radial



Radial



Francis



Diagonal

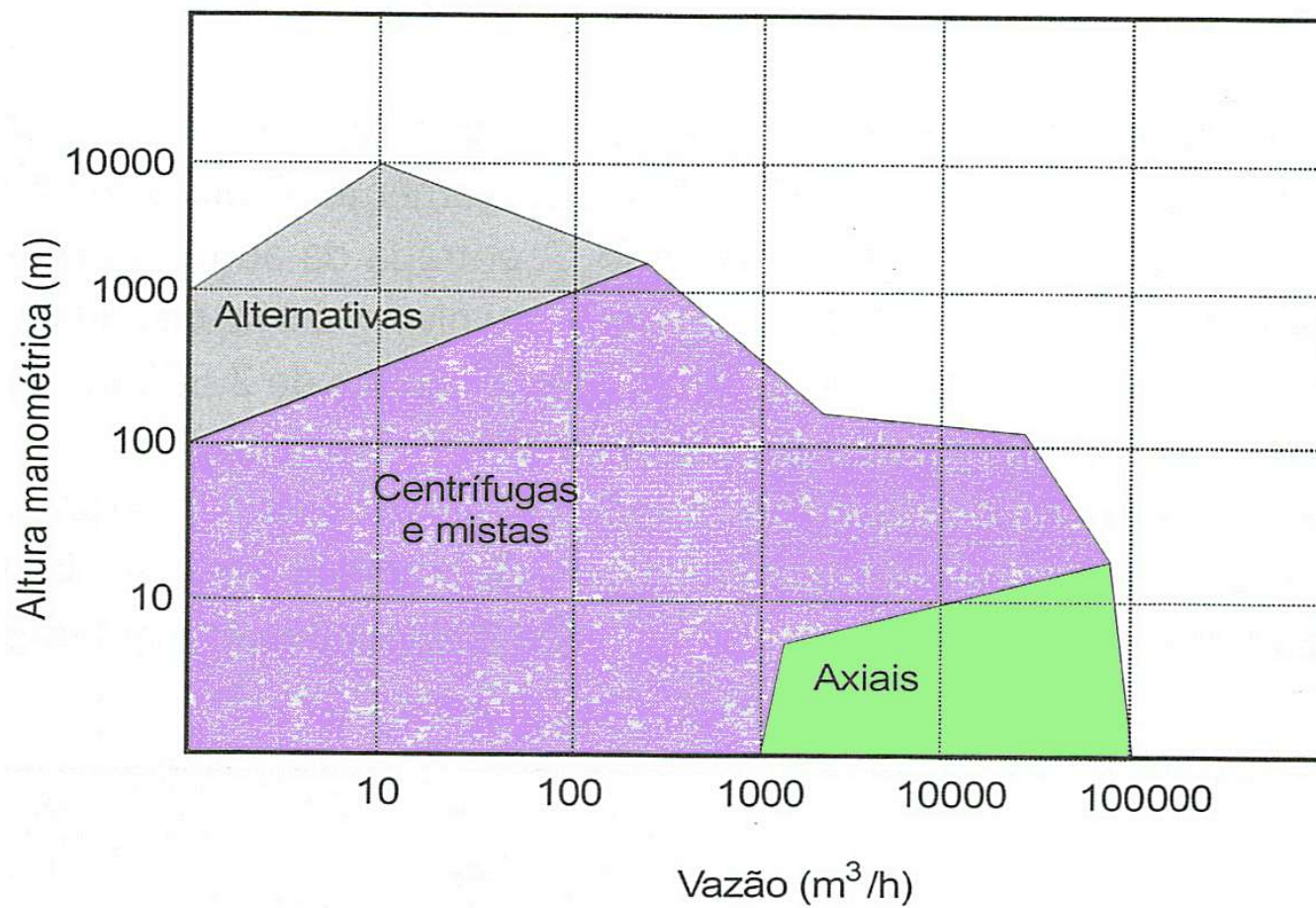


Axial

TIPOS DE ROTORES

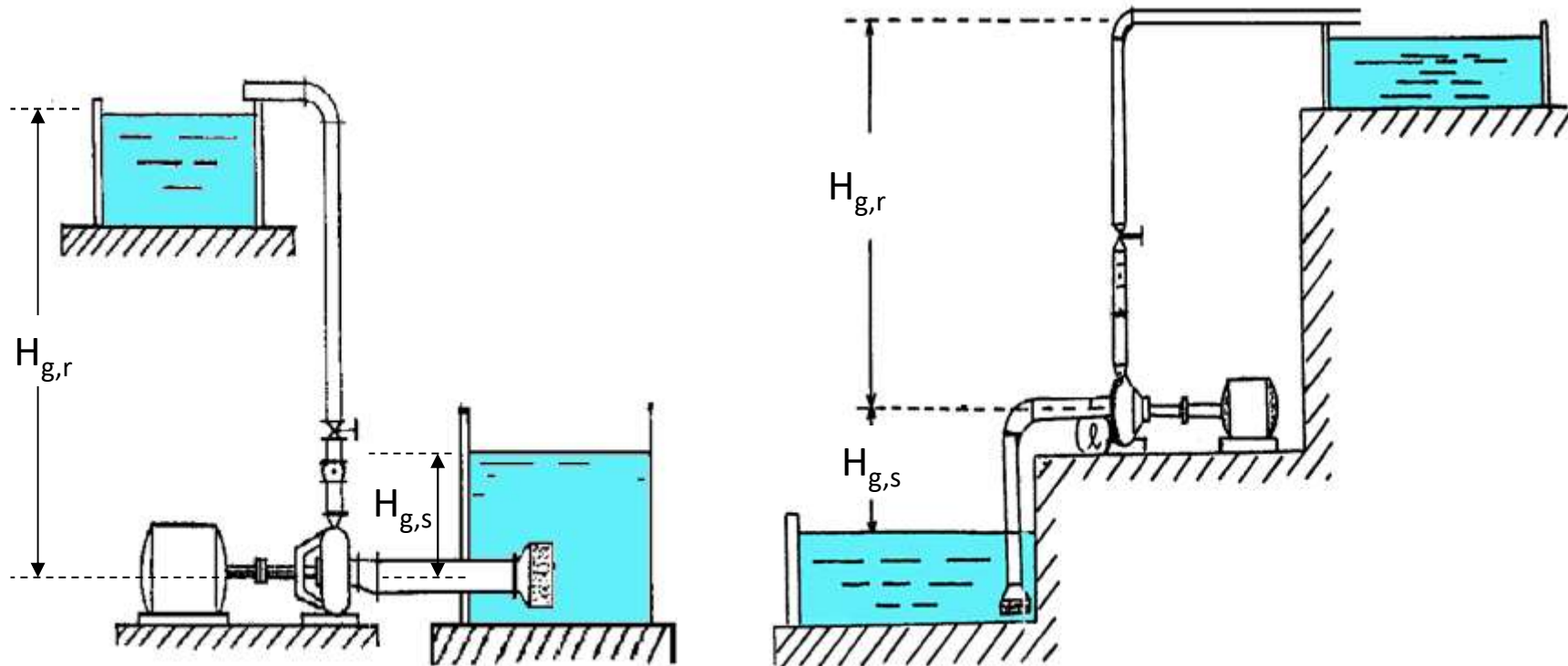
Orientação:

---



# Classificação de acordo com a disposição do conjunto motor-bomba

## Localização da bomba em relação ao nível de água



**Bomba afogada**

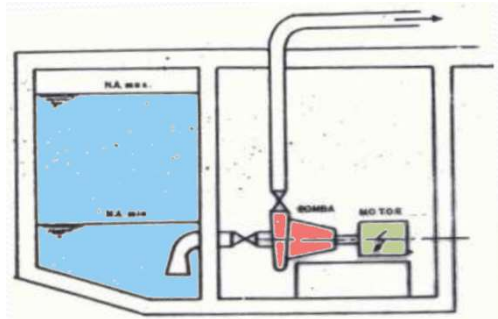
$H_{g,s} < 0$

**Bomba não afogada**

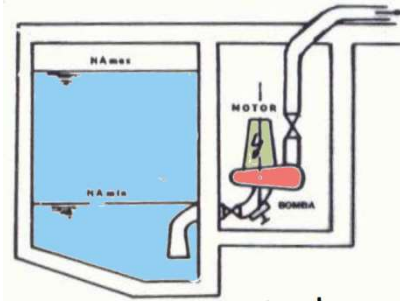
$H_{g,s} > 0$

# Conjunto motor-bomba

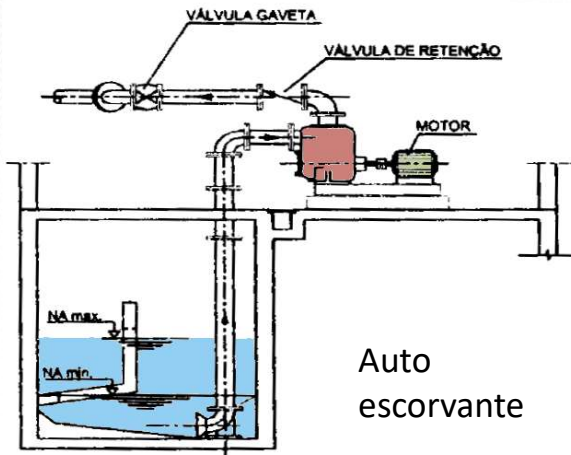
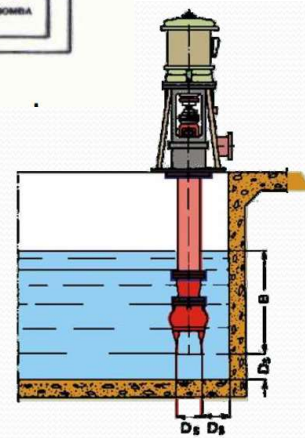
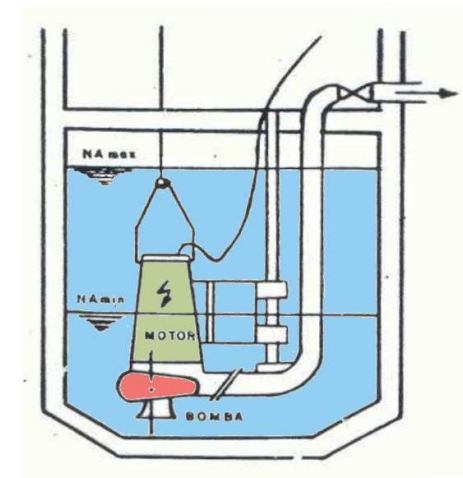
de eixo horizontal



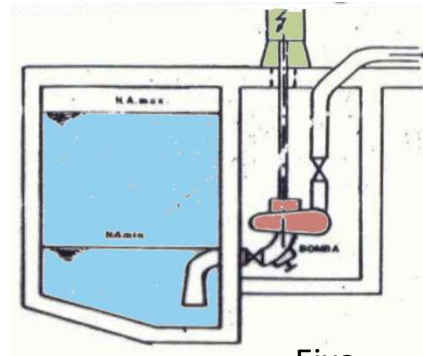
de eixo vertical



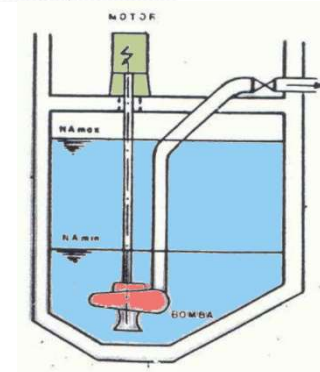
submerso



Auto  
escorvante

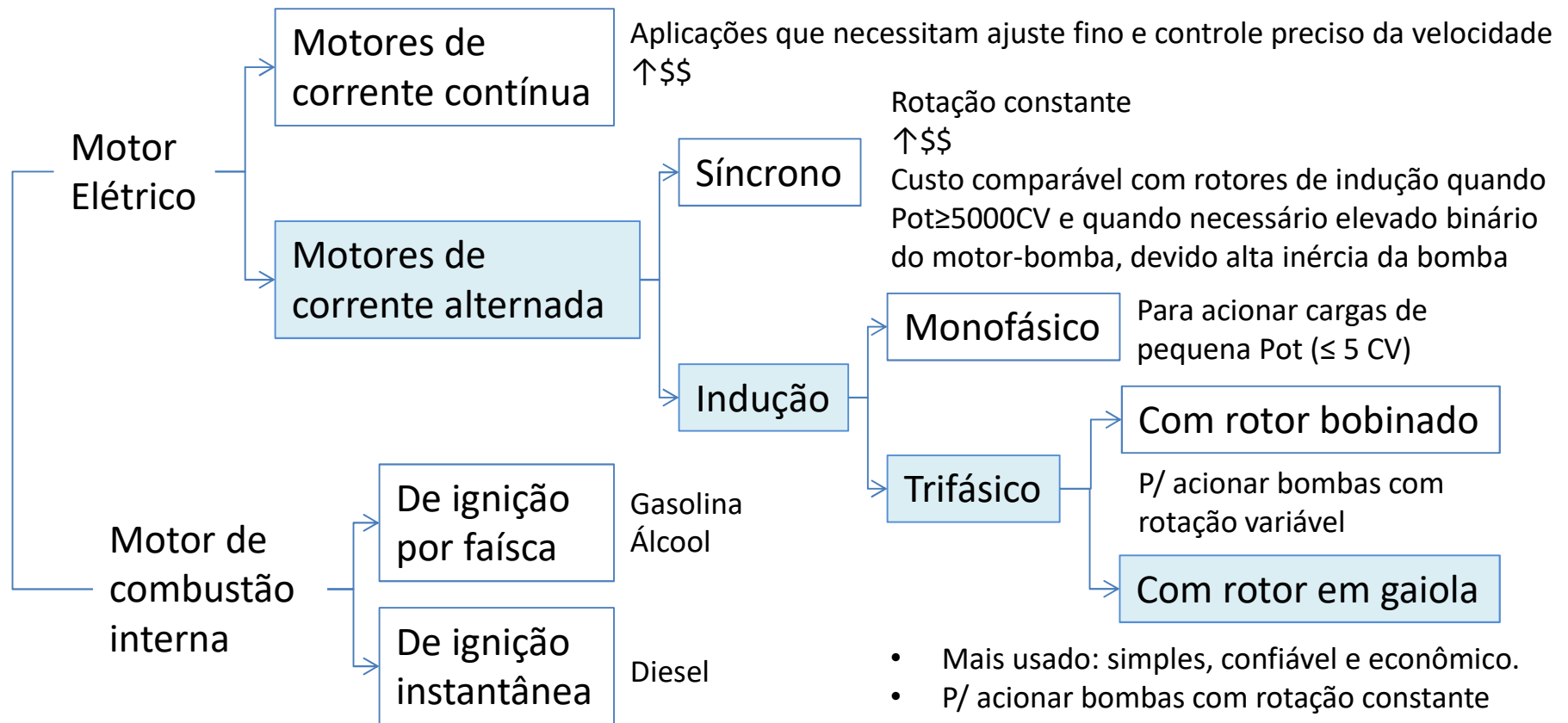


Eixo  
prolongado



Bomba submersa

# Motores

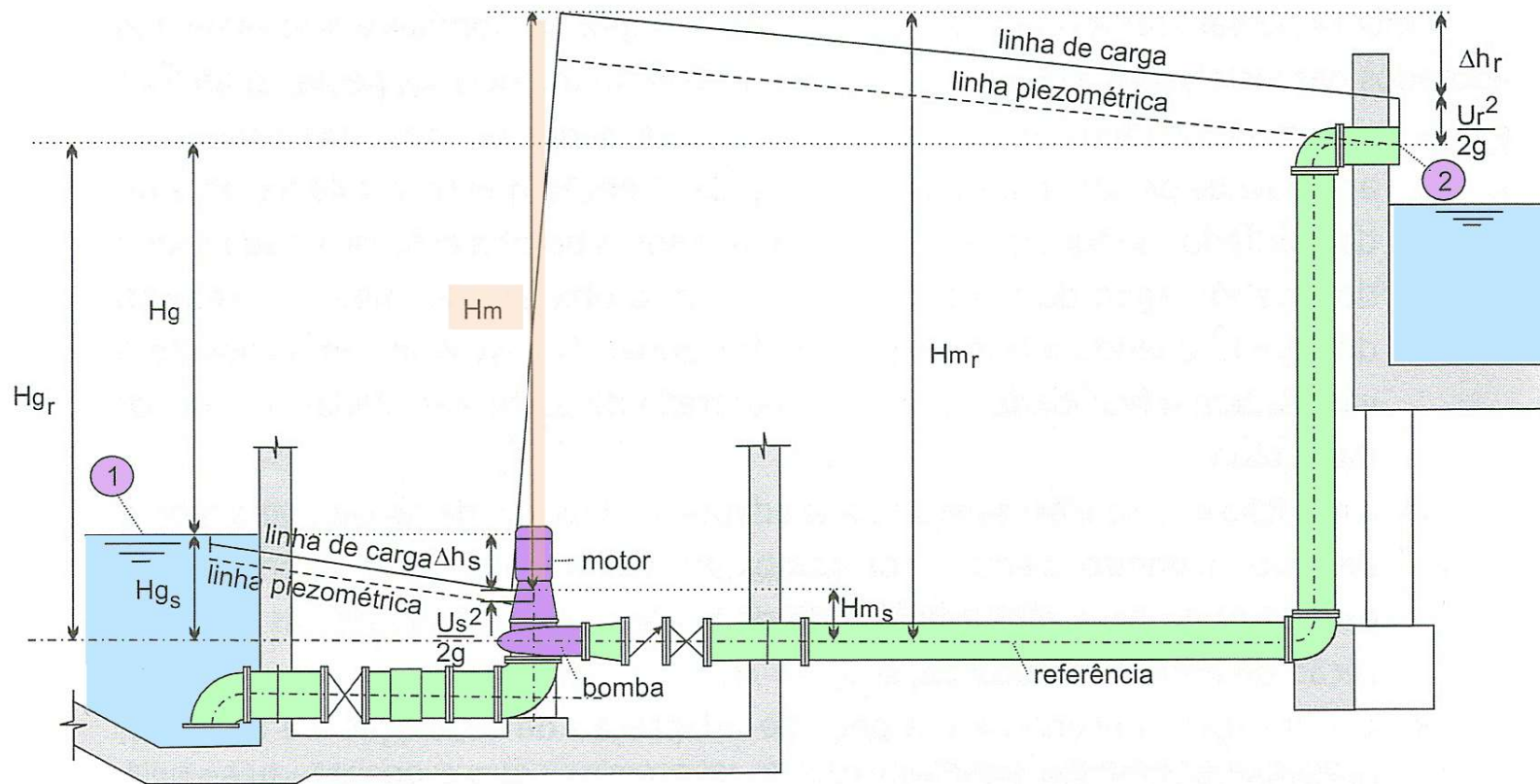


- Mais usado: simples, confiável e econômico.
- P/ acionar bombas com rotação constante (ajuste da Q afluyente e Q recalque depende do cuidado na seleção do conjunto elevatório e do bom dimensionamento do poço de sucção).
- Atualmente: uso conjunto com inversor de frequência para variar rotação.

Potência nominal dos motores de acionamento, ver NBR 5432

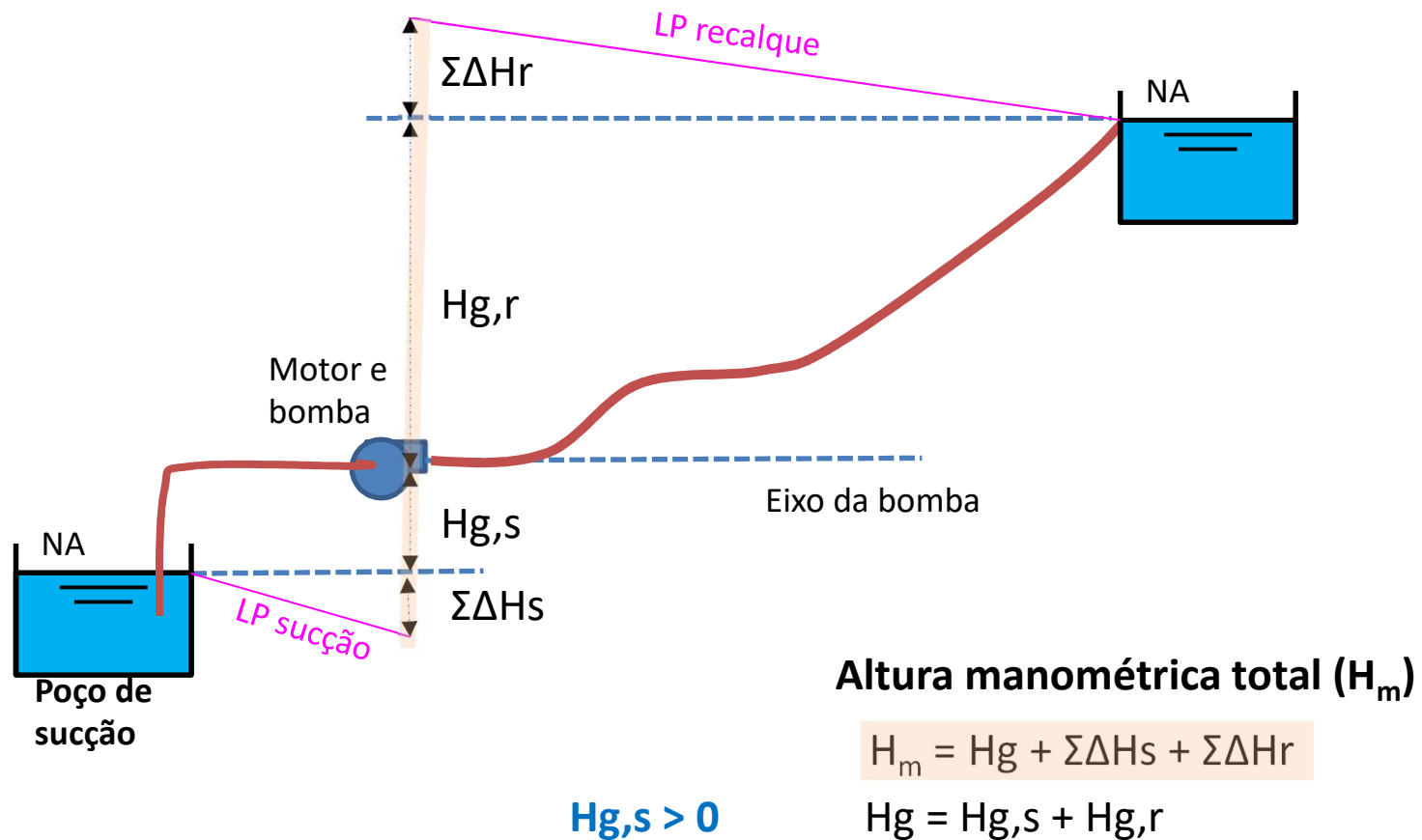
# Altura manométrica

Altura manométrica representa a energia absorvida pelo líquido em escoamento por unidade de peso deste, ao atravessar a bomba

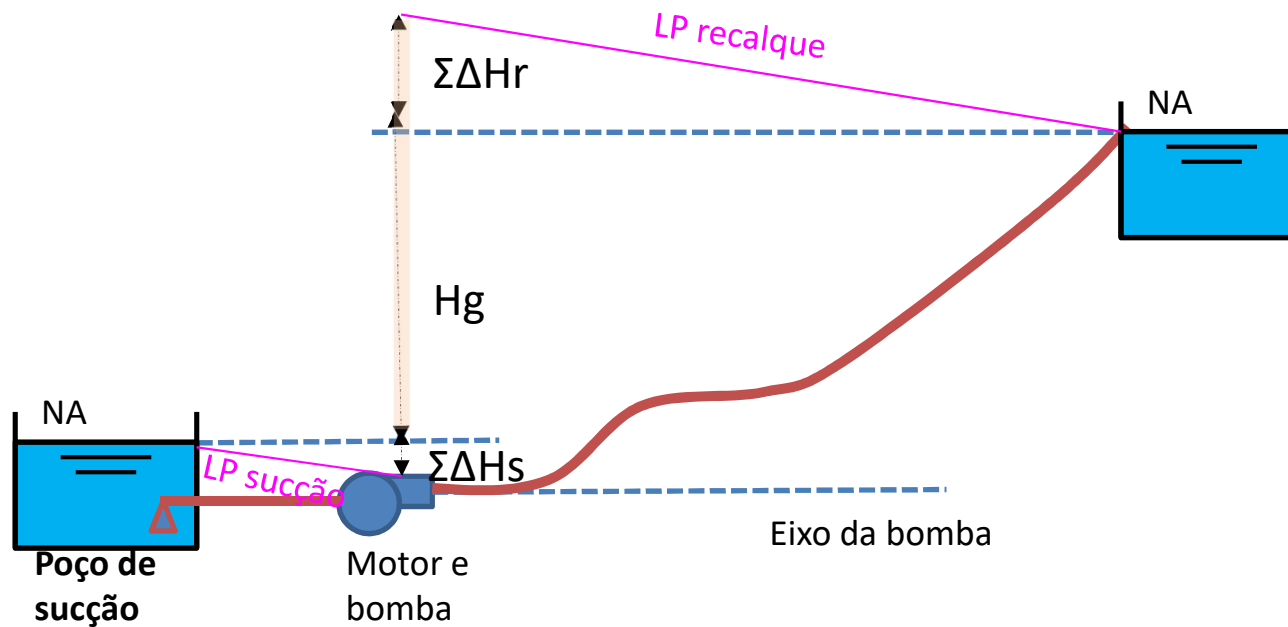


Aplicando Bernoulli para os pontos 1 e 2, tomando o eixo da tubulação horizontal como referência:  
 $H_m = H_g + \text{perdas}$

# Sistema de recalque com bomba **horizontal não afogada**



## Sistema de recalque com bomba **horizontal afogada**



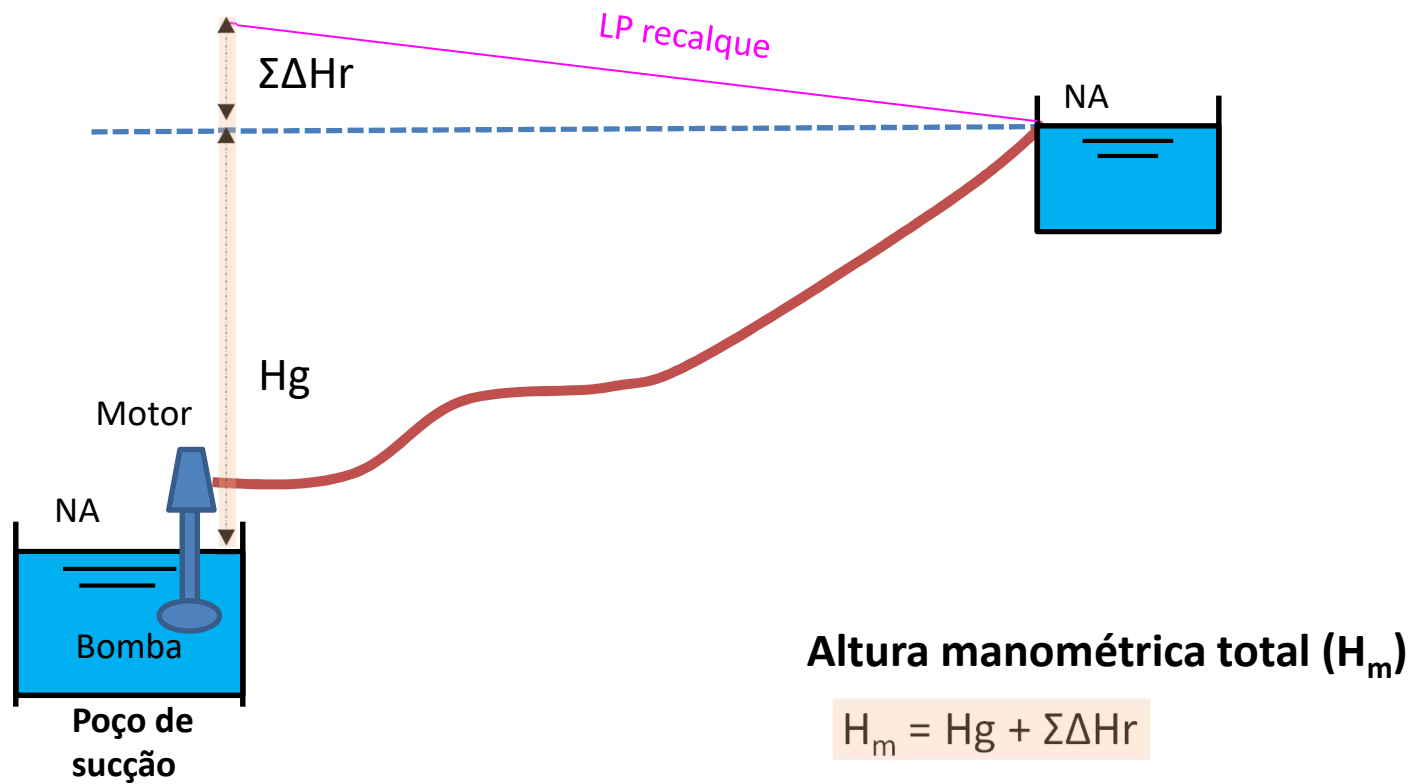
**Altura manométrica total ( $H_m$ )**

$$H_m = H_g + \Sigma\Delta H_s + \Sigma\Delta H_r$$

$$H_g = H_{g,s} + H_{g,r}$$

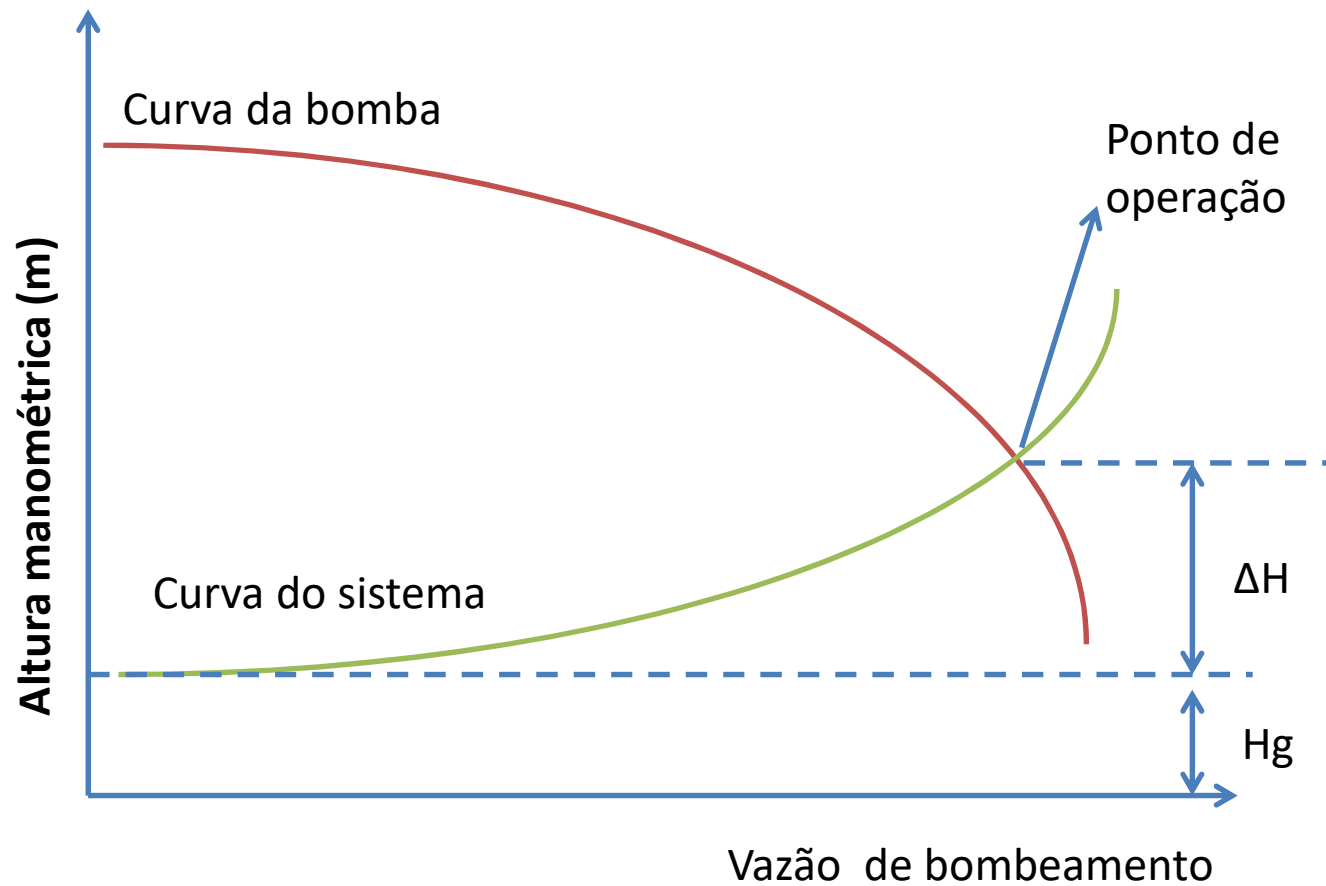
$$H_{g,s} < 0$$

## Sistema de recalque com bomba **vertical afogada**



# Curva característica do sistema elevatório

E ponto de funcionamento da bomba



# Potência

## Potência hidráulica

Trabalho realizado sobre o líquido ao passar pela bomba em um segundo.

$$P_H = \gamma Q H_m$$

$P_H$  – Potência hidráulica (kW; N.m/s)

$\gamma$  – Peso específico da água (N/m<sup>3</sup>)

$Q$  – Vazão (m<sup>3</sup>/s)

$H_m$  – Altura manométrica total (m)

Para que o líquido receba a potência requerida  $P_H$ , a bomba deve receber uma potência superior à potência hidráulica, pois há perdas no interior da bomba.

**Eficiência ou  
Rendimento da bomba**

$$\eta_B = \frac{P_H}{P_B}$$

## Potência da bomba

$P_B$  – Potência consumida pela bomba (kW; N.m/s)

Potência requerida pela bomba ao motor

Potência nominal do motor

$$P_B = \frac{P_H}{\eta_B}$$

**Eficiência ou  
Rendimento do motor**

$$\eta_M = \frac{P_B}{P}$$

$P_B$  – Potência que o motor transmite

$P$  – Potência que o motor recebe da fonte de energia

## Potência do conjunto motobomba

$$P = \frac{P_B}{\eta_M} = \frac{P_H}{\eta_B \eta_M} = \frac{\gamma Q H_m}{\eta_B \eta_M}$$

# Potência

*Potência motriz (potência do conjunto motor-bomba)* - potência fornecida pelo motor para que a bomba eleve uma vazão Q a uma altura H.

$$P = (\gamma \cdot Q \cdot H) / \eta$$

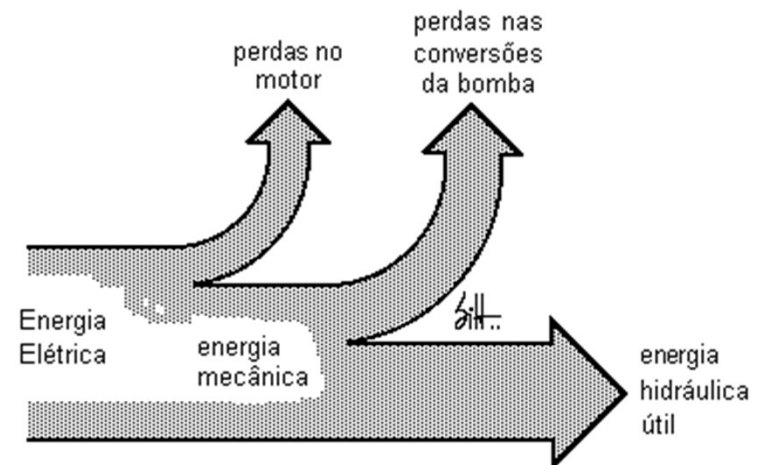
P = potência do conjunto motor-bomba em Kgf.m/s,

$\gamma$  = peso específico do líquido (kgf/m<sup>3</sup>).

Q = vazão em m<sup>3</sup>/s,

H = altura manométrica em m,

$\eta$  = rendimento total (=  $\eta_b \cdot \eta_m$ ).



**Tabela VI.1 - Rendimentos hidráulicos aproximados das bombas centrífugas**

Q (l/s)	5,0	7,5	10	15	20	25	30	40	50	80	100	200
$h_b$ (%)	55	61	64	68	72	76	80	83	85	86	87	88

**Tabela VI.2 - Rendimentos mecânicos médios**

CV	1	2	3	5	6	7,5	10	15
%	72	75	77	81	82	83	84	85
CV	20	30	40	60	80	100	150	250
%	86	87	88	89	89	90	91	92

Fonte:

# Curvas características das bombas centrífugas

As bombas centrífugas podem trabalhar à mesma rotação, sob diferentes condições de vazão e de altura manométrica.

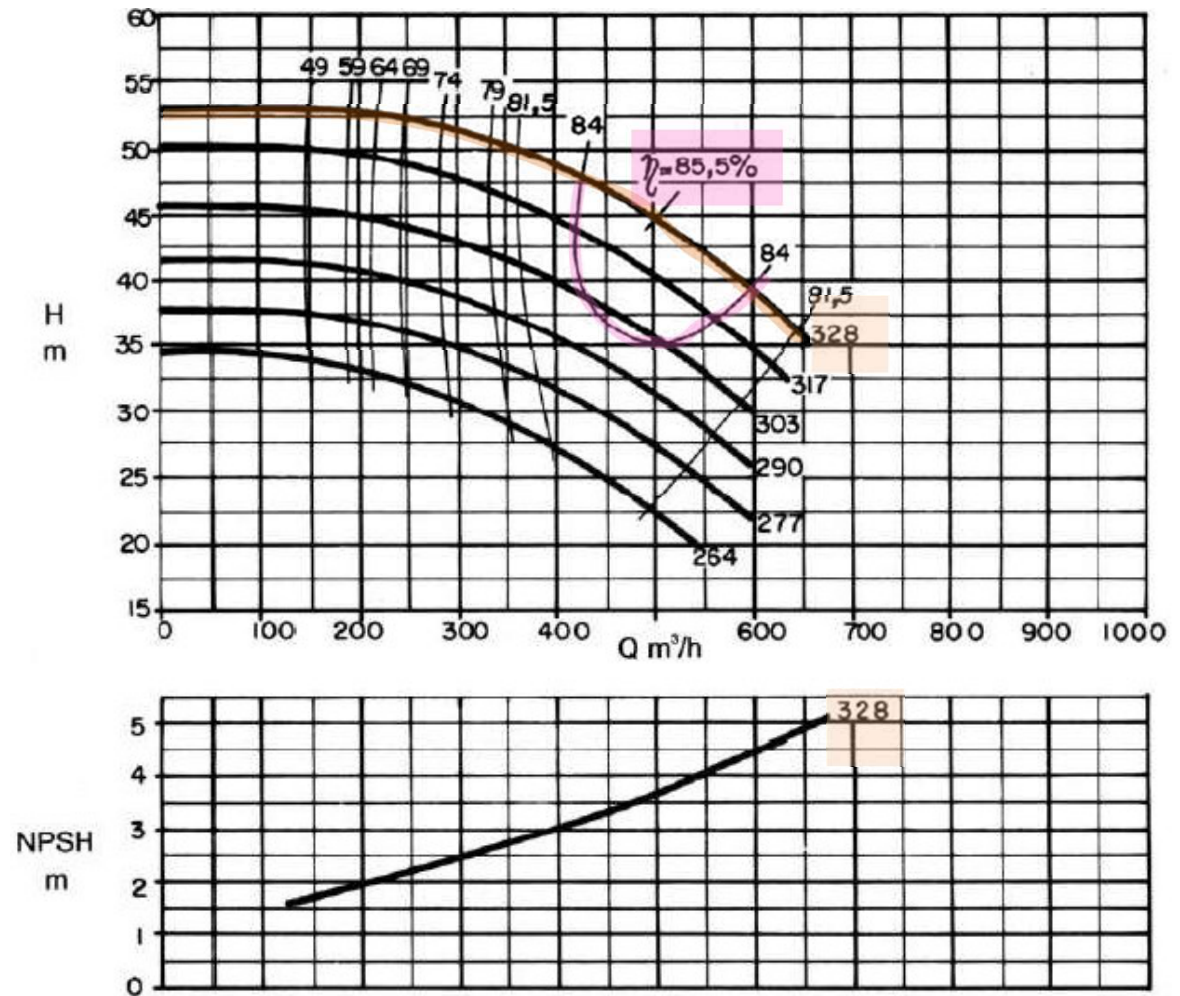
**Para diversos  $\phi$  do rotor:**

Q x Altura manométrica  
Q x Potência consumida  
Q x Eficiência da bomba  
Q x NPSH

Cada bomba: Par [Q,H] – máximo rendimento

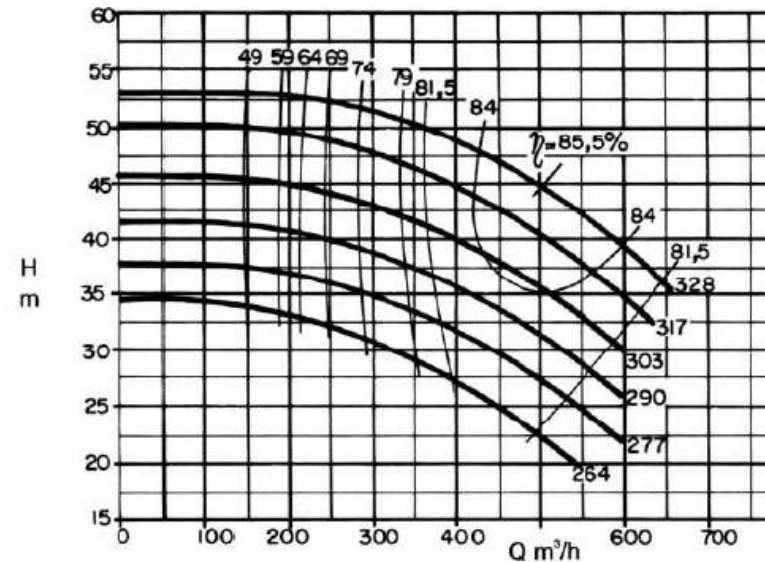
À medida que se afasta do par ótimo Q,H → rendimento cai

## Curvas fornecidas pelo fabricante



# Característica do sistema elevatório

Bomba centrífuga  
**PONTO ÓTIMO DE  
OPERAÇÃO**  
Eficiência máxima



- As cargas radiais sobre os mancais estão a um mínimo no ponto ótimo
- $Q_{\text{bombamento}} > Q_{\text{ponto ótimo}} \rightarrow$  Pressão absoluta disponível necessária para se evitar a cavitação  **aumenta**, conseqüentemente, a cavitação pode tornar-se um problema.
- $Q_{\text{bombamento}} \ll Q_{\text{ponto ótimo}} \rightarrow$  recirculação do líquido bombeado dentro do rotor  $\rightarrow$  vibração e perdas hidráulicas na bomba  $\rightarrow$  cavitação
- Para minimizar ou evitar problemas citados:  
**Vazão entre 60% a 120% da  $Q_{\text{ponto ótimo}}$ ; Ideal  $\pm 15\% Q_{\text{ponto ótimo}}$**

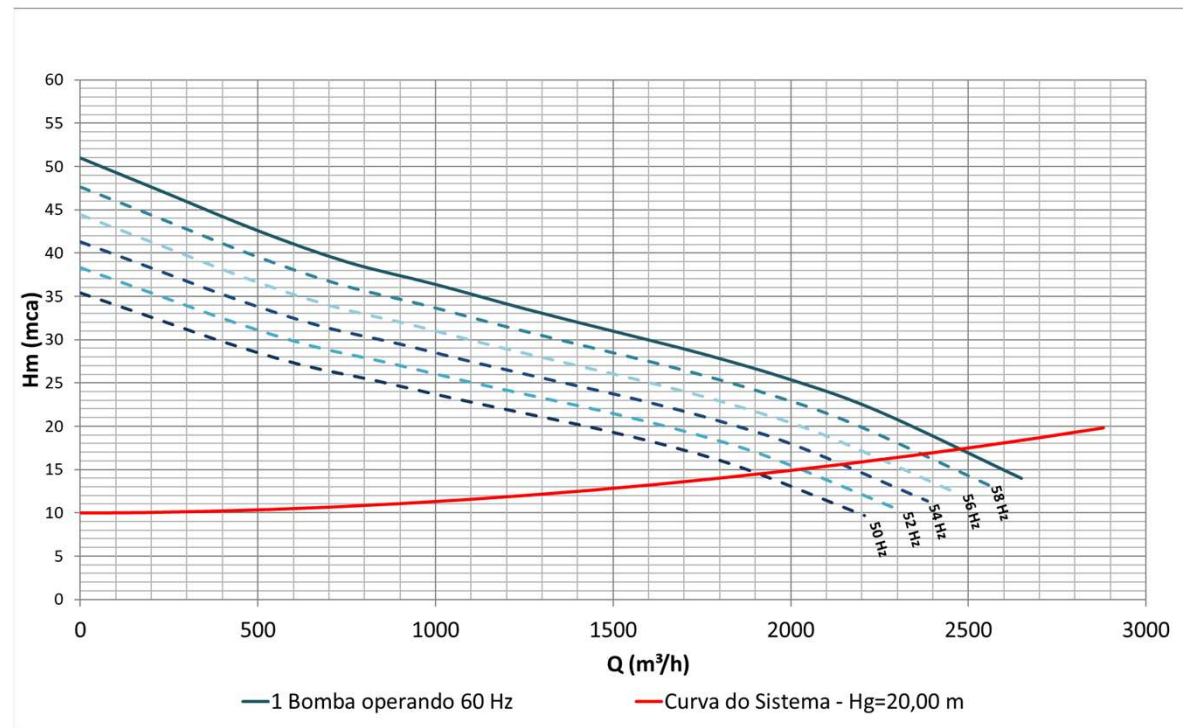
# Influência da rotação na curva característica da bomba (n)

Relações importantes:

$$Q_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot Q_1$$

$$H_{m2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot H_{m1}$$

$$P_{B2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \cdot P_{B1}$$



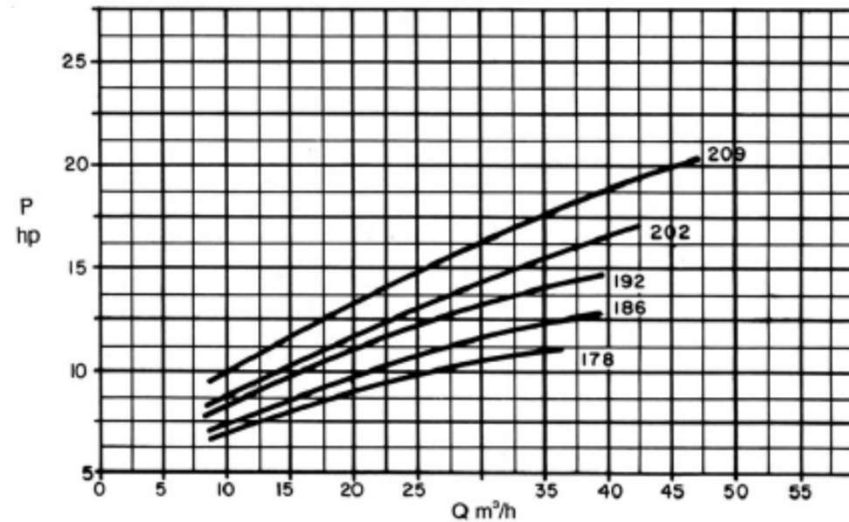
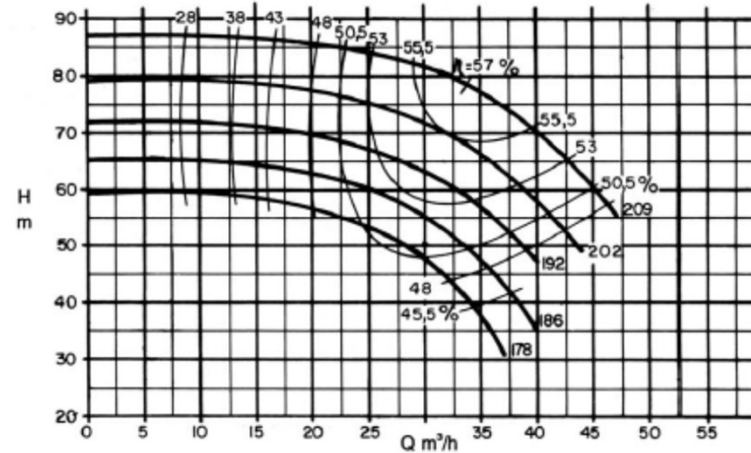
# Influência do diâmetro na curva característica da bomba ( $\phi$ )

Relações importantes se houver semelhança mecânica (cinemática e dinâmica) entre os rotores:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right)^3$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right)^5$$



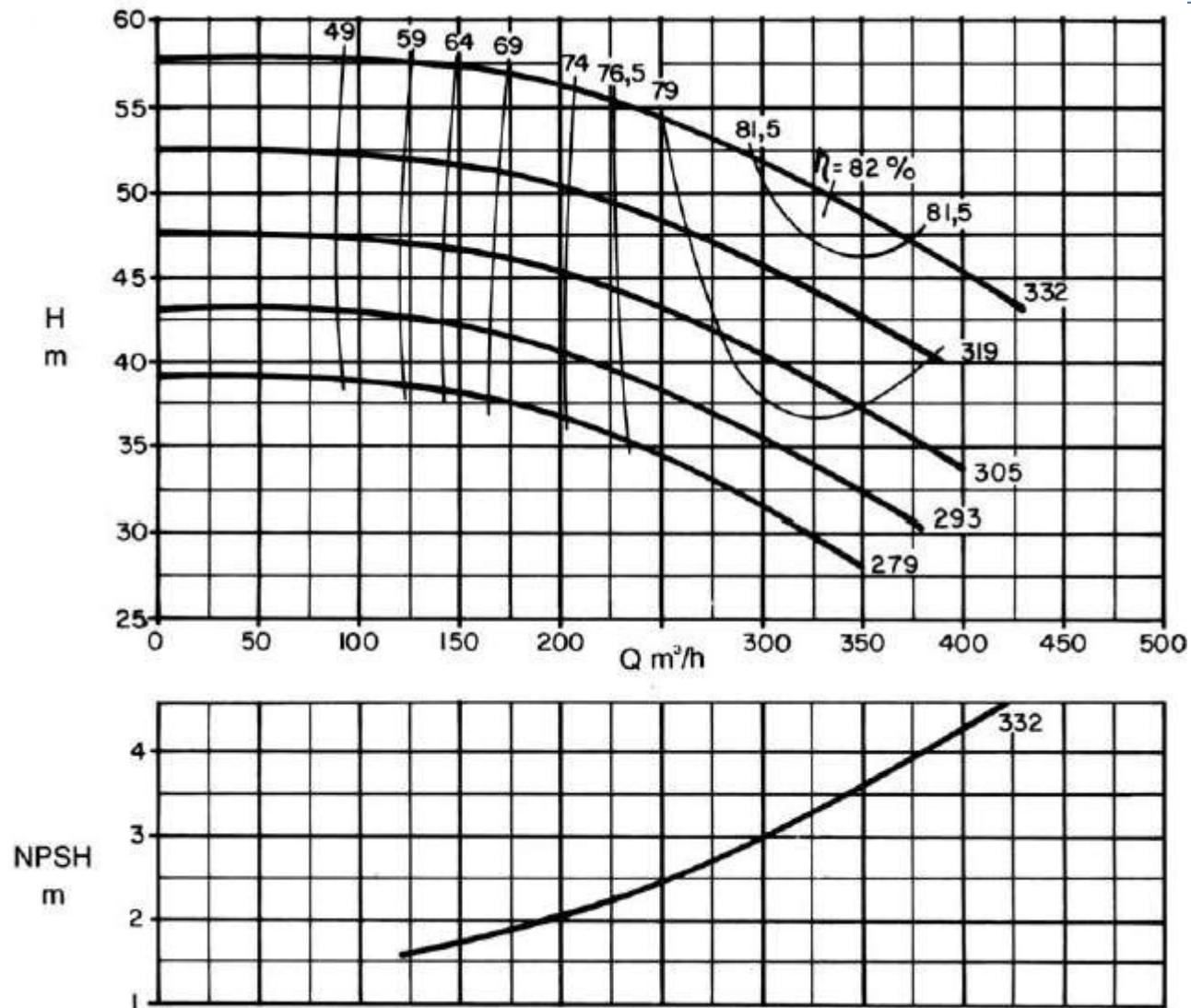
# Exercício



Considere os dados abaixo de uma elevatória e adutora por recalque de água bruta:

- Cota do nível d'água no poço de sucção: 708 m
  - Cota do eixo da bomba: 711 m
  - Cota da tubulação com saída livre na chegada a ETA: 749 m
  - Adutora: 2100 m com tubulação PE80  $\varnothing$  355 mm PN 8 ( $\varphi_i = 312,8$  mm,  $k=0,06$  mm)
  - Sucção com tubulação FD  $\varnothing$  300 mm com válvula de pé ( $K=1,75$ ) com crivo ( $K=0,75$ ) e curva de 90 graus ( $K=0,40$ ). Desprezar as perdas sem dados indicados (barrilete, etc.)
  - Pressão de vapor no local igual a 0,43 mca e pressão atmosférica 9,47 mca
  - Instalação existente com uma bomba (e reserva) com rotor de 332 mm e 1750 rpm
  - Considerar rendimento do motor igual a 90% (e da bomba conforme catálogo do fabricante)
  - Existe espaço disponível para instalar uma segunda bomba de mesmo modelo
- a) Qual a vazão e a altura manométrica atendida atualmente com o funcionamento de uma bomba?
  - b) O que aconteceria com a vazão e com a altura manométrica se a cota do nível d'água no poço de sucção fosse maior? E se fosse menor?
  - c) Verificar Q de funcionamento da bomba com relação a Q ponto ótimo

Catálogo do fabricante da bomba existente:



# Exemplo de Folha de Bombas

---

- Folha de bombas