

FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE DE FLUIDO

São genericamente denominados por TURBOMÁQUINAS.

BOMBAS: adicionam energia ao fluido.

TURBINAS: retiram energia do fluido.

O aumento ou a diminuição de energia do fluido é sentido como aumento ou diminuição de pressão. Na bomba ou na turbina, não há aumento de velocidade se o escoamento está em regime permanente e a tubulação tem área uniforme.

Máquinas que movimentam líquidos: bombas.

Máquinas que movimentam gases: ventiladores e sopradores.

	VENTILADOR	SOPRADOR	COMPRESSOR
VARIAÇÃO DE PRESSÃO	BAIXA	MÉDIA	ALTA
VAZÃO VOLUMÉTRICA	ALTA	MÉDIA	BAIXA

CLASSIFICAÇÃO GERAL:

Máquinas de deslocamento positivo: o fluido é direcionado para um volume fechado. A transferência de energia é devida ao movimento do volume de controle (expansão ou compressão). Como exemplos têm-se o coração, medidor residencial de vazão de água.

Máquinas dinâmicas: não há volume fechado; pás giratórias fornecem ou extraem energia do fluido.

Bombas dinâmicas: podem ser confinadas (bombas confinadas) e bombas em dutos (aquelas com corpos ao redor das pás como a bomba de água do motor de carro; bombas abertas que não têm corpos ao redor como o ventilador de teto, propulsor de avião, rotor de helicóptero).

BOMBA DE DESLOCAMENTO POSITIVO (BDP):

A) Bombas alternativas;

- a) pistão ou êmbolo;
- b) diafragma.

B) Bombas rotativas:

- 1) Rotor único:
 - a) palheta deslizante;
 - b) tubo flexível;
 - c) parafuso;
 - d) peristáltica.
- 2) Rotores Múltiplos:
 - a) Engrenagem;
 - b) lóbulos;
 - c) parafuso;
 - d) pistão periférico.

FENÔMENOS DE TRANSPORTE

BOMBAS DE DESLOCAMENTO POSITIVO:

-escoamento pulsante ou periódico, à medida que o volume da cavidade se abre, retém e comprime e retém o fluido.

-grande vantagem: movimentam qualquer fluido, independentemente da viscosidade.

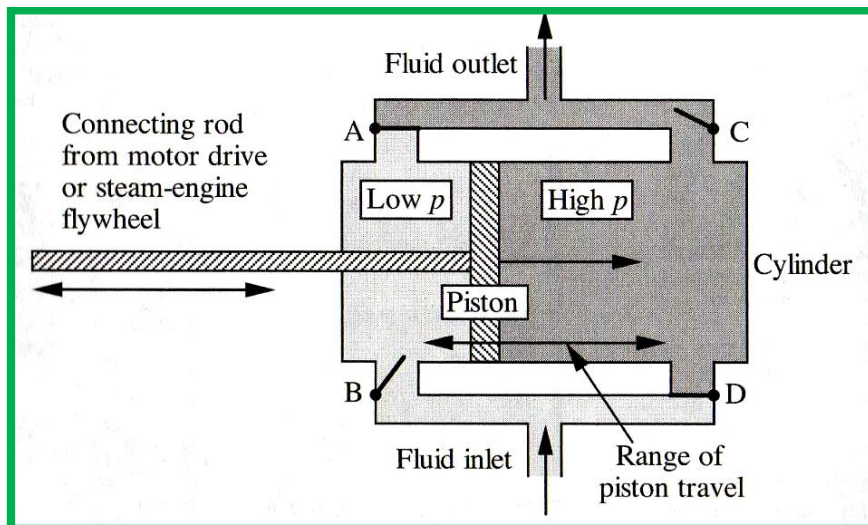
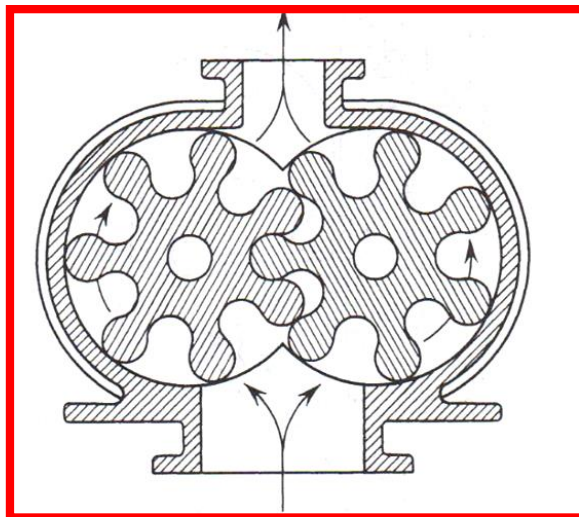
-desenvolvem pressões imensas se a saída estiver fechada.

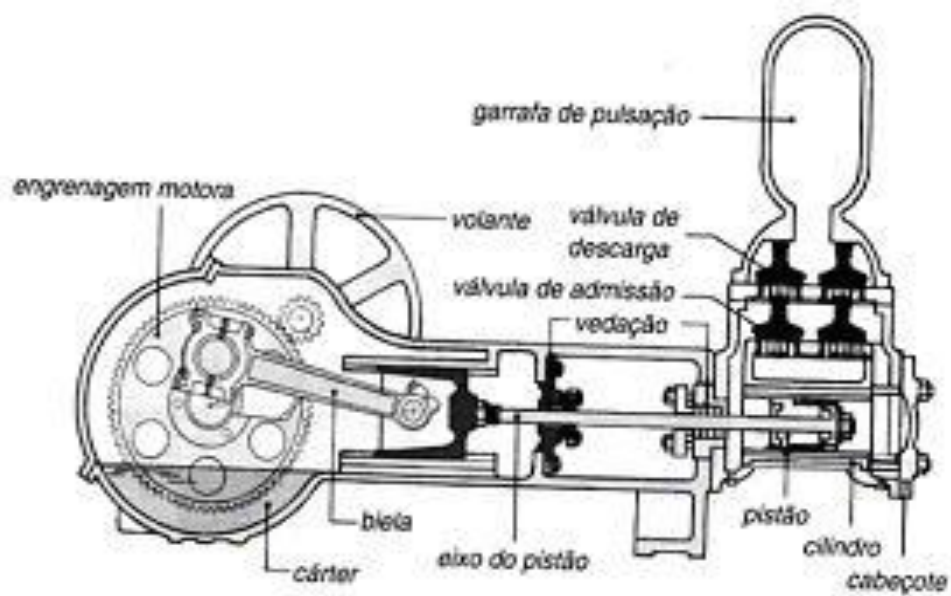
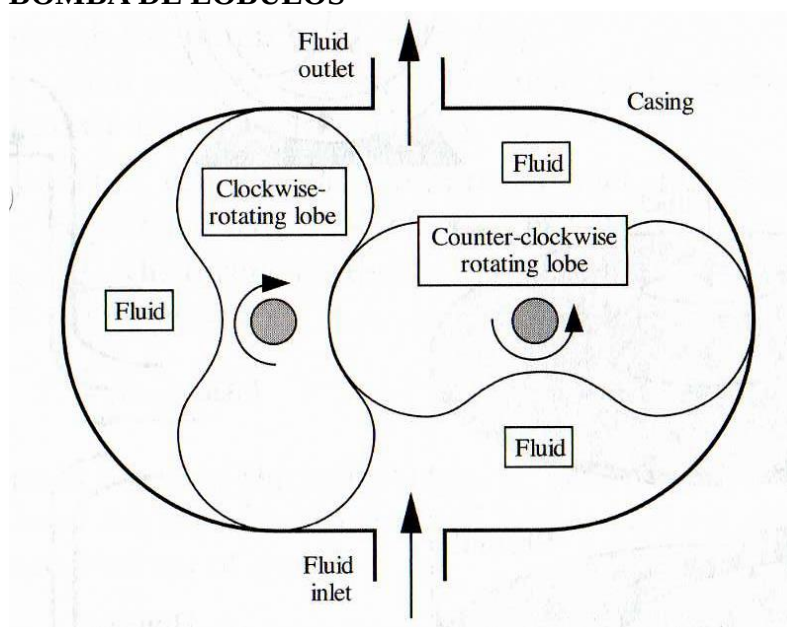
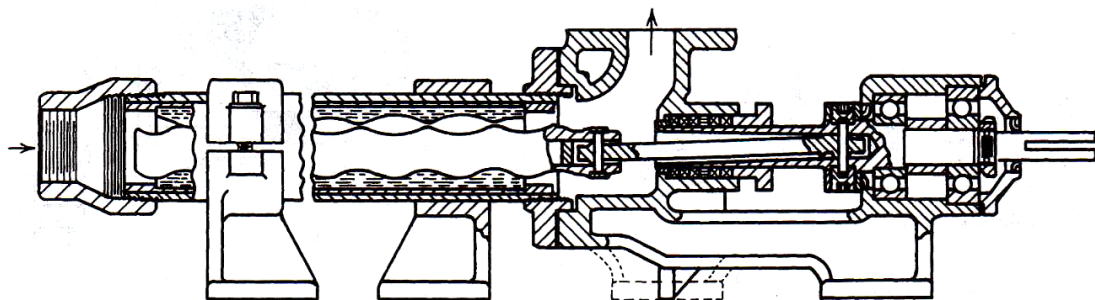
Necessitam de válvula de alívio de pressão na condição de fechamento completo ("shut-off").

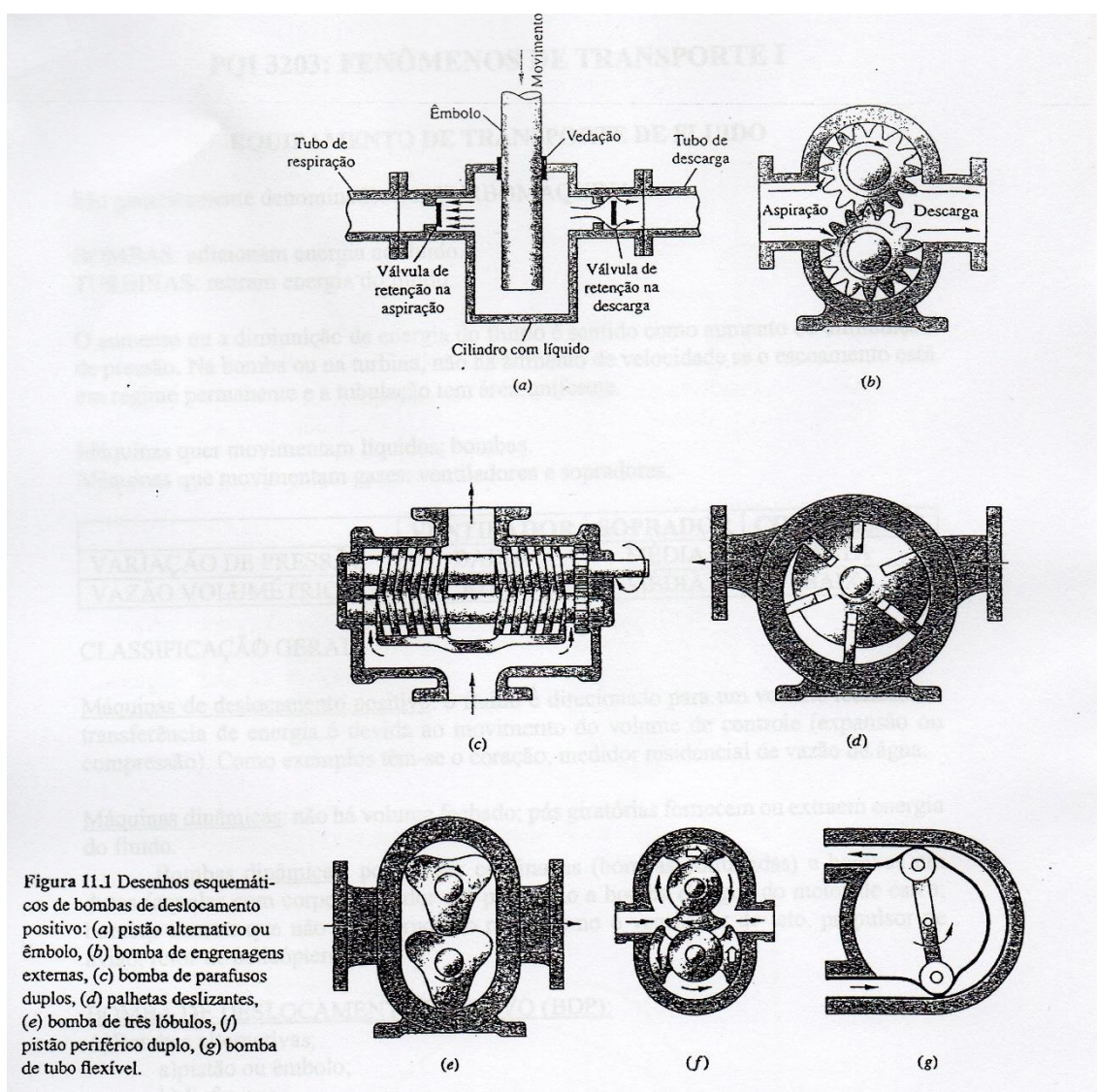
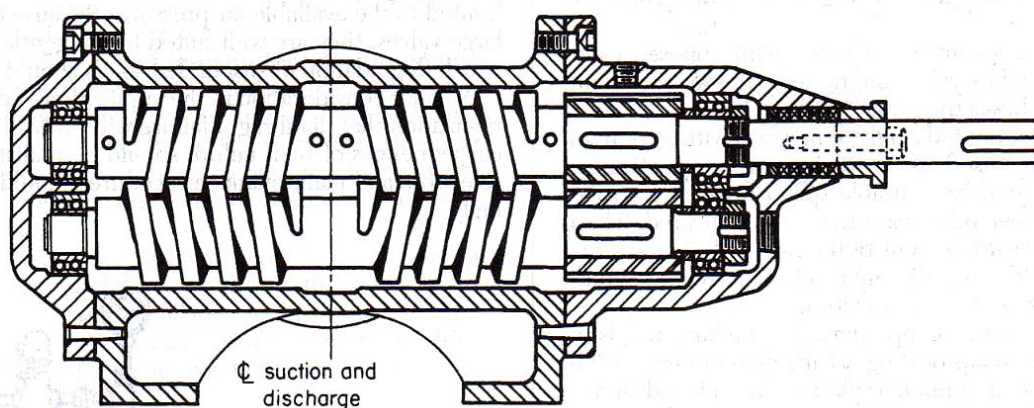
Líquidos e pastas Viscosos

Alta pressão

Dosadoras

ALTERNATIVAS - PISTÃO**ROTATIVAS**

ALTERNATIVA- PISTÃO**BOMBA DE LÓBULOS****BOMBA MONO**

BOMBA HELICOIDAL

FENÔMENOS DE TRANSPORTE

BOMBAS DINÂMICAS:

-aumentam quantidade de movimento ao fluido por meio de pás ou aletas que se movem rapidamente.

-não há volume fechado: fluido aumenta sua quantidade de movimento enquanto se move por passagens abertas e então converte sua alta velocidade nas pás ou aletas em aumento de pressão, saindo por uma seção em forma de difusor.

Podem ser com escoamento centrífugo ou saída radial; escoamento axial; escoamento misto (radial e axial).

Apresentam vazões maiores e descargas mais estáveis que as BDP's.

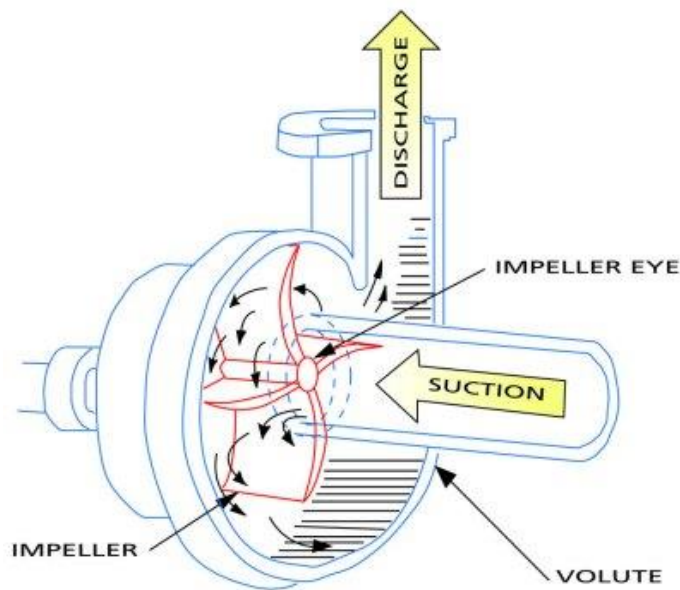
São ineficazes para lidar com líquidos de alta viscosidade.

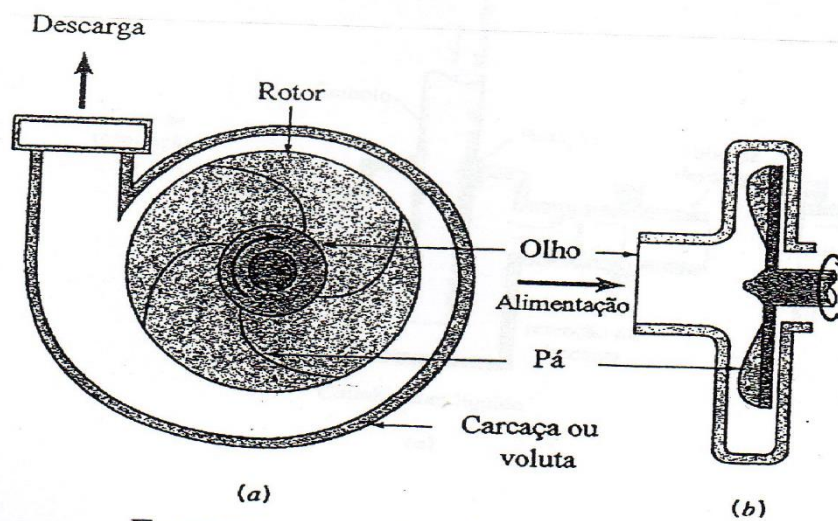
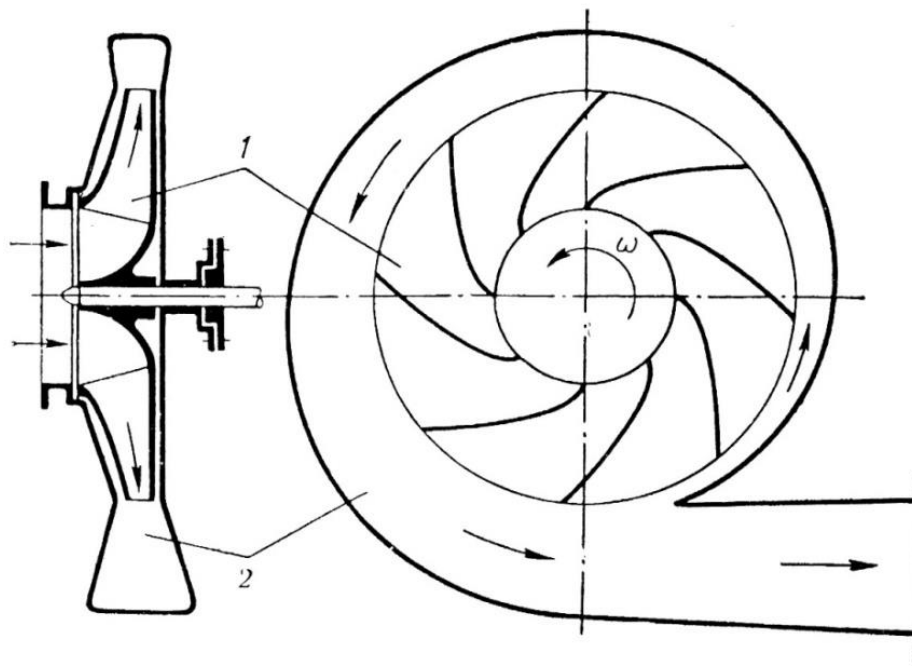
Necessitam de escorvamento: se estiverem cheias de gás, não podem aspirar um líquido que esteja em nível abaixo da entrada da bomba. As BDP's são autoescorvantes para a maioria das aplicações.

Fornecem vazões altas (até $1200\text{m}^3/\text{min}$) e pressões moderadas (algumas atmosferas), enquanto que as BDP's operam com pressões muito altas (até 300atm) e baixas vazões ($0,4\text{m}^3/\text{min}$).

Vazão = 1 a 100000 gal/min (0,004 a $380\text{m}^3/\text{min}$)

Pressões de até 50 bar





Esquema de uma bomba centrífuga.

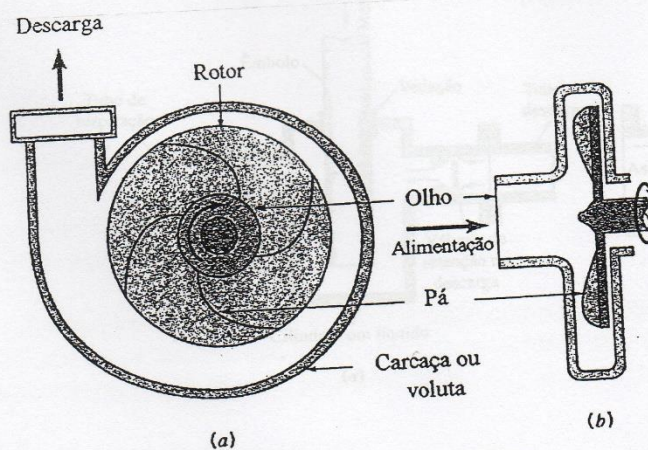


66.1



66.2

erto, (b) Rotor fechado (Cortesia da Ingersol ↑ Dresser Pump Company).

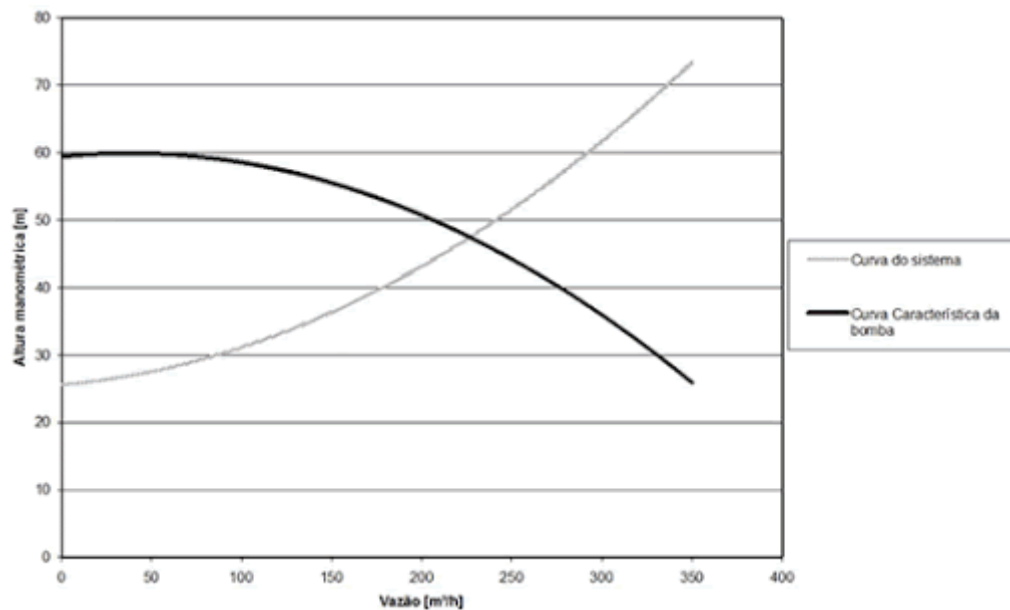


Esquema de uma bomba centrífuga.



a) Rotor aberto, (b) Rotor fechado (Cortesia da Ingersoll ↓ Dresser Pump Company).

FENÔMENOS DE TRANSPORTE



Curva Característica X Curva do Sistema

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Caracterização das bombas:

-vazão mássica: $\dot{m}$.

-vazão volumétrica = capacidade da bomba.

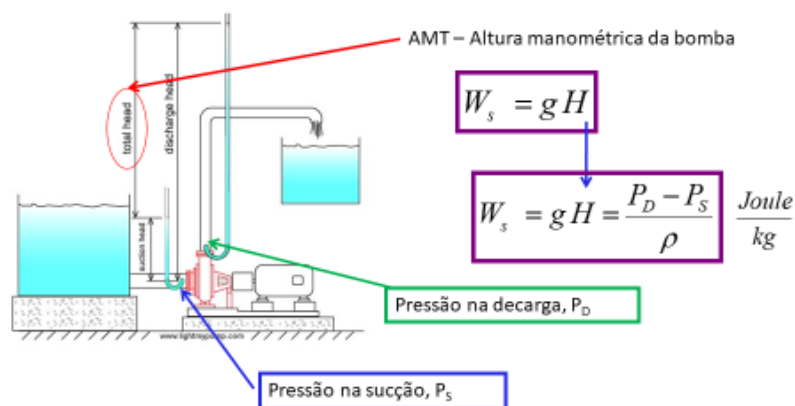
-carga líquida ou AMT (Altura Manométrica Total): corresponde à variação da carga de Bernoulli entre a entrada e a saída da bomba.

$$AMT = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{vb^2}{2g} + z \right)_{saída} - \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{vb^2}{2g} + z \right)_{entrada}$$

-a situação comum é: $z_s = z_e$; $v_{bs} = v_{be}$. Assim:

$$AMT = \frac{p_s - p_e}{\rho g}$$

AMT – Altura manométrica da bomba – “Head” - H



Perdas irreversíveis:

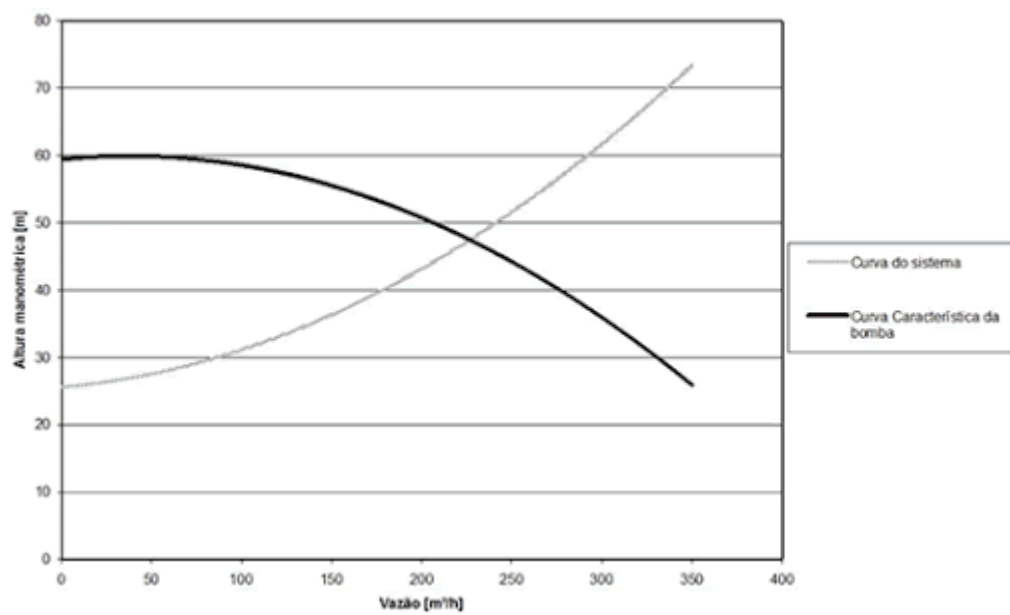
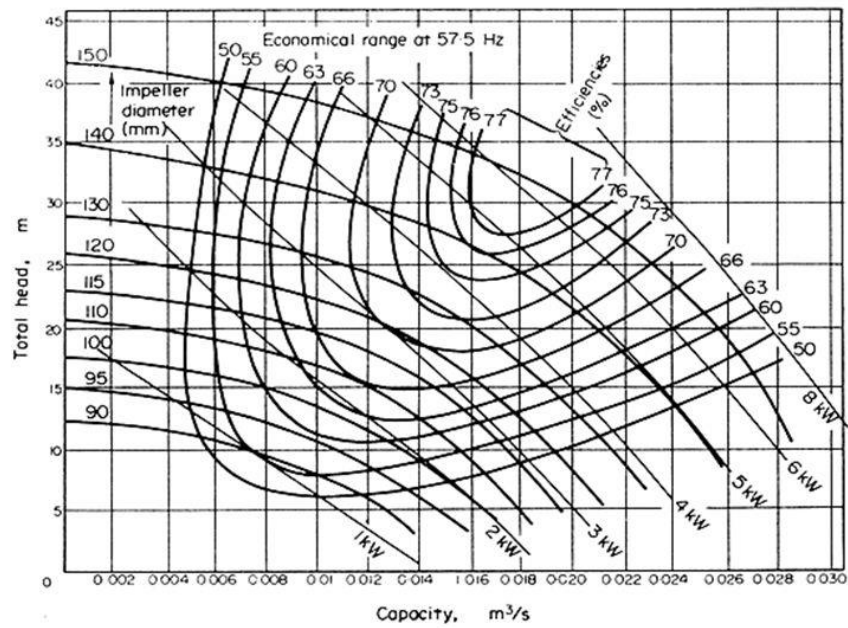
- atrito;
- vazamento interno;
- separação do escoamento da pá;
- dissipação turbulenta.

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Curva característica da Bomba:



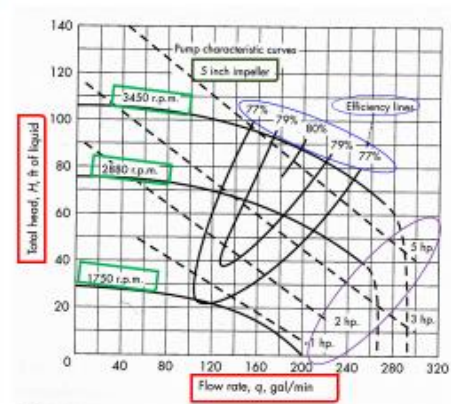
<http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/flflapps3.htm#centrif>



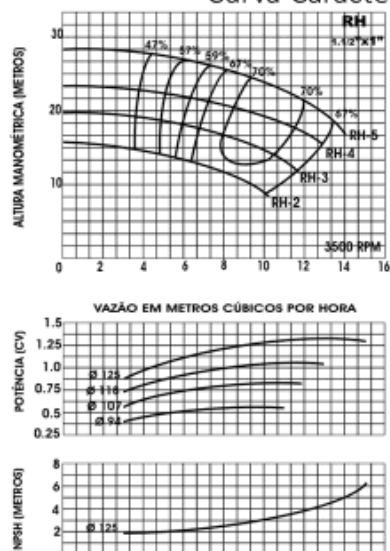
Curva Característica da Bomba X Curva do Sistema

Curva Característica – Bomba centrífuga

AMT x Vazão



Curva Característica – Bomba centrífuga



Influência da Rotação

Affinity laws for pumps		
Characteristic	Constant D	Constant n
Capacity	$q \propto n$	$q \propto D$
Head	$\Delta H \propto n^2$	$\Delta H \propto D^2$
Power	$P \propto n^3$	$P \propto D^3$

Influência do diâmetro do rotor

Potência de bombeamento

$$\frac{1}{2\alpha} V_1^2 + gh_1 + \frac{P_1}{\rho} + W = \frac{1}{2\alpha} V_2^2 + gh_2 + \frac{P_2}{\rho} + \sum F$$

$$W_s = \frac{1}{2\alpha} (V_2^2 - V_1^2) + g(h_2 - h_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) + \sum F \quad \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

$$W_s = gH$$

AMT – Altura manométrica da bomba

$$\text{potência} = w W_s$$

J/s = watt

Vazão de líquido kg/s

CAVITAÇÃO

LÍQUIDOS:

- pressão local dentro da bomba < pressão de vapor do líquido nas condições dentro da bomba;
- surgem bolhas de vapor (bolhas de cavitação);
- bolhas deslocam-se para regiões de mais alta pressão e colapsam;
- colapso das bolhas:
 - *causa ruído, vibração, menor eficiência, danos às pás;
 - *colapso contínuo leva a corrosão por erosão.

Para evitar a cavitação:

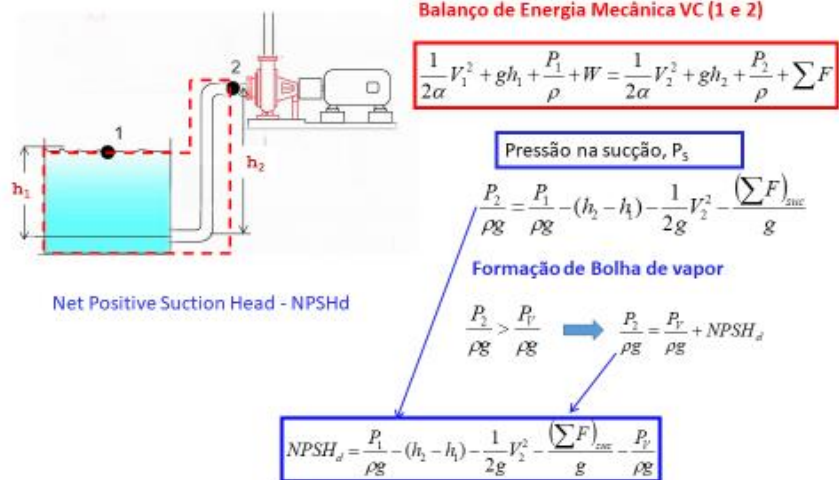
- $p_{\text{local}} < p_{\text{vapor}}$;
- parâmetro para verificação: NPSH (Net Positive Suction Head)

$$\text{NPSH} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{vb^2}{2g} \right)_{\text{entrada}} - \frac{p_{\text{vapor}}}{\rho g} > 0$$

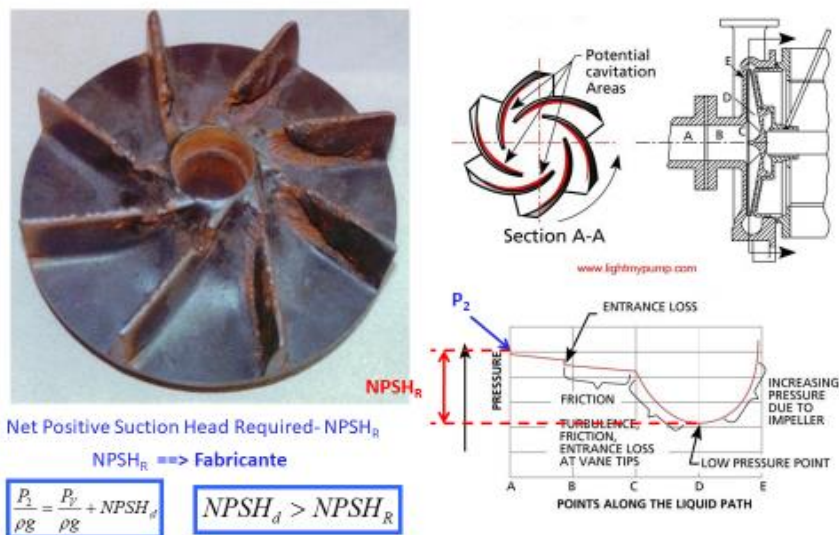
Tendência a cavitação:

- fluido com temperatura elevada;
- bomba não afogada;
- Tubo na entrada da bomba com longo comprimento e pequeno diâmetro.

Altura de sucção - Cavitação



Cavitação



Curva do Sistema

AMT função da vazão

$$AMT = H = \frac{W_f}{g} = \frac{1}{2\alpha} \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{g} \right) + (h_2 - h_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho g} \right) + \frac{\sum F}{g}$$

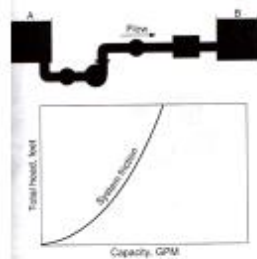


FIG. 19-32 Variation of total head versus flow rate for a constant static head.

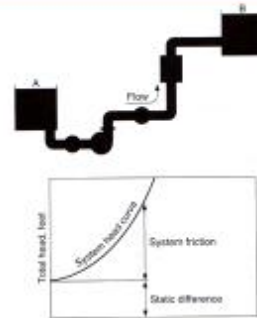
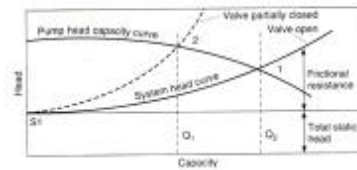
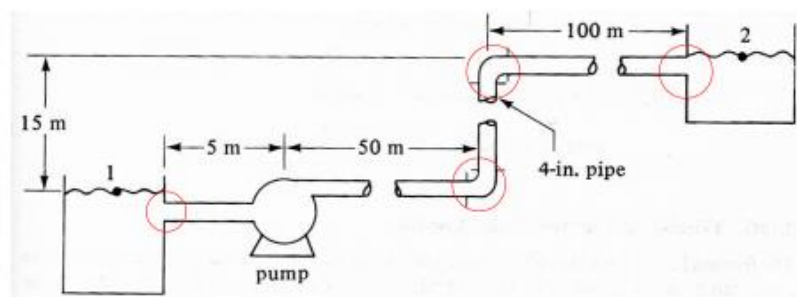


FIG. 19-33 Variation of total head as a function of flow rate for a constant static head.



Exercício 8: Água à 20 °C é bombeada de um tanque para outro em uma cota superior com vazão de $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. A figura 11 ilustra o circuito de bombeamento. A tubulação tem diâmetro 4 polegadas e schedule 40. A eficiência da bomba é de 65%. Calcule a potência, em kW, necessária para a bomba.



Fator de atrito turbulento

Definição do fator de atrito f
$$F_t = 4f \frac{L V^2}{D 2}$$

No caso turbulento: $f = \text{função}(\text{Re}, \varepsilon/D)$

Fanning
ou Moody

