



# BOMBAS

Em um sistema com escoamento de um fluido é normalmente necessário adicionar energia ao fluido para mantê-lo em escoamento. A energia é fornecida por um equipamento motriz como uma bomba (escoamento de líquidos) ou compressores, ventiladores e sopradores (escoamento de gases).

Esta energia adicionada ao fluido pode compensar as perdas por atrito ou contribuir para um aumento de velocidade, pressão ou altura do fluido.

## Gases:

### Compressores:

Alcançam de pressões de até 100 psi, com vazões de até 1700 m<sup>3</sup>/h.

### Ventiladores:

Usados em baixas pressões (> 0,5 psi)  
Empregados para mover grandes volumes de ar ou gases através de dutos, fornecimento de ar para secagem, remoção de fumaça, torres de resfriamento e outras aplicações que demandam alta vazão e baixa pressão.

### Sopradores:

Usados em pressões mais elevadas (até 1,5 psi).  
Empregados no fornecimento de ar para fornos e caldeiras.

**Ventiladores e sopradores** são utilizados para promover ventilação em sistemas de ar condicionado.

## Líquidos:

### Bombas centrífugas

Bombas tipo propulsor e turbinas

### Bombas de deslocamento positivo:

Bombas recíprocas

Bombas pistão

Bombas diafragma

Bombas rotatórias

Bombas parafuso

→ **Helicoidal**

Fonte: Prof. Roger Valeri Daleffe



Compressor



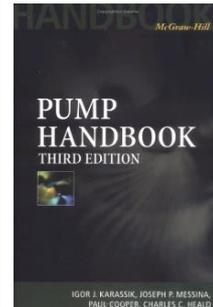
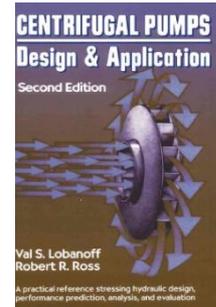
Soprador



# BOMBAS



- Ref: - Foust *et al* ; Princípios das Operações Unitárias; Guanabara Dois, 1982, 670 p.  
- Macintyre, A.J.; Bombas e Instalações de Bombeamento; Guanabara Dois, 1987, 782 p.  
- Moraes Jr., D.; Transporte de Líquidos e Gases; Ed. UFSCar, 1988.  
- Editor-in-Chief  
- ROBERT L. SANKS, Ph.D., PE, Pumping Station Design Second Edition, 1998.



**Pumping Station Design  
Second Edition**

**Editor-in-Chief**  
ROBERT L. SANKS, Ph.D., PE  
Consulting Engineer  
and Professor Emeritus  
Michigan State University  
East Lansing, Michigan

**Co-Editors**  
GEORGE TCHOBANOCLOUS, Ph.D., PE  
Consulting Engineer and  
Professor Emeritus  
University of California at Davis  
Davis, California

BAYARD E. BOSSERMAN II, PE  
Principal Engineer  
Becht Engineering Corporation  
Newport Beach, California

GARR M. JONES, PE  
Senior Vice President, Design  
Brown and Caldwell Consultants  
Water Creek, California

## Definição

**Bombas são máquinas geratrizes, cuja finalidade é deslocar líquidos por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, transforma o trabalho mecânico que recebe de um motor em energia hidráulica sob as formas que o líquido é capaz de absorver, isto é, energia potencial, de pressão e energia cinética.**

## Classificação das Bombas

É comum a classificação das bombas segundo o modo pelo qual é realizada a transformação do trabalho mecânico em energia hidráulica, assim como o modo de cedê-la ao líquido, aumentando sua pressão e(ou) sua velocidade. Dessa forma, são classificadas como:

- **Bombas de deslocamento positivo ou volumétricas (partes internas móveis)**
- **Bombas Centrífugas ou turbobombas (aumento da pressão à custa da redução da energia cinética)**



# BOMBAS

	<i>Deslocamento positivo</i>		<i>Turbobomba ou Centrífuga</i>	
	<i>Rotativa</i>	<i>Alternativa</i>	<i>Centrífuga pura ou radial</i>	<i>Propulsora ou Axial</i>
Vazão	Uniforme	Pulsante	Uniforme	Uniforme
Líquidos operados	Viscosos e não abrasivos	Limpos e puros	Limpos, abrasivos, com partículas sólidas	
Viscosidade (SSU)	> 100.000	< 100.000	< 20.000	
Carga ou pressão de descarga	Média (600 [psia])	Baixa a muito alta (> 100.000 [psia])	Baixa a alta (2.200 [psia])	Baixa a média (25 [ft])
Vazão usual ([m <sup>3</sup> /h])	Pequena a média (230)	Pequena (120)	Pequena a alta (700)	Média a muito alta (23.000)

*Seconds Saybolt Universal (SSU) = 4,6347 × cSt → (SSU é muito popular em EUA)*



# BOMBAS

## 3- Características das Bombas

### 3.1- Bombas de Deslocamento Positivo

As bombas de deslocamento positivo impelem uma quantidade definida do fluido em cada golpe ou volta do dispositivo. Uma porção de fluido é presa numa câmara, e pela ação de um pistão ou peças rotativas é impulsionado para fora. Desse modo, a energia do elemento rotativo ou pistão é transferida para o fluido. Neste tipo de bombam, após 1 (uma) rotação de seu eixo ou ação do pistão, desloca-se um volume fixo de produto, **independentemente** das condições de pressão na saída, o que não é conseguido nas bombas centrífugas. Entretanto, no bombeamento de líquidos pouco viscosos e a pressões elevadas, mesmo nas bombas de deslocamento positivo, observa-se uma pequena redução na vazão por rotação do eixo, de aproximadamente 10%.

Estas Bombas possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando seu escoamento. Nas bombas de deslocamento positivo existe uma relação constante entre a capacidade de descarga da bomba (em termos de vazão e pressão) e a velocidade do órgão propulsor da bomba. As bombas de deslocamento positivo podem ser alternativas ou rotativas.



# BOMBAS

## 3.1.2- Bombas rotativas

Nas bombas rotativas (ou rotatórias) o líquido retido no espaço entre os dentes ou entre palhetas deslizantes é deslocado de modo contínuo pelo movimento de rotação desde a entrada até a saída da bomba.

As bombas rotativas são usadas com líquidos de quaisquer viscosidades, desde que não contenham sólidos abrasivos. Entre os líquidos que são bombeados por bombas rotatórias estão os óleos minerais, vegetais e animais, gorduras, glicose, melação, tintas, vernizes, maionese, bronzeadores.

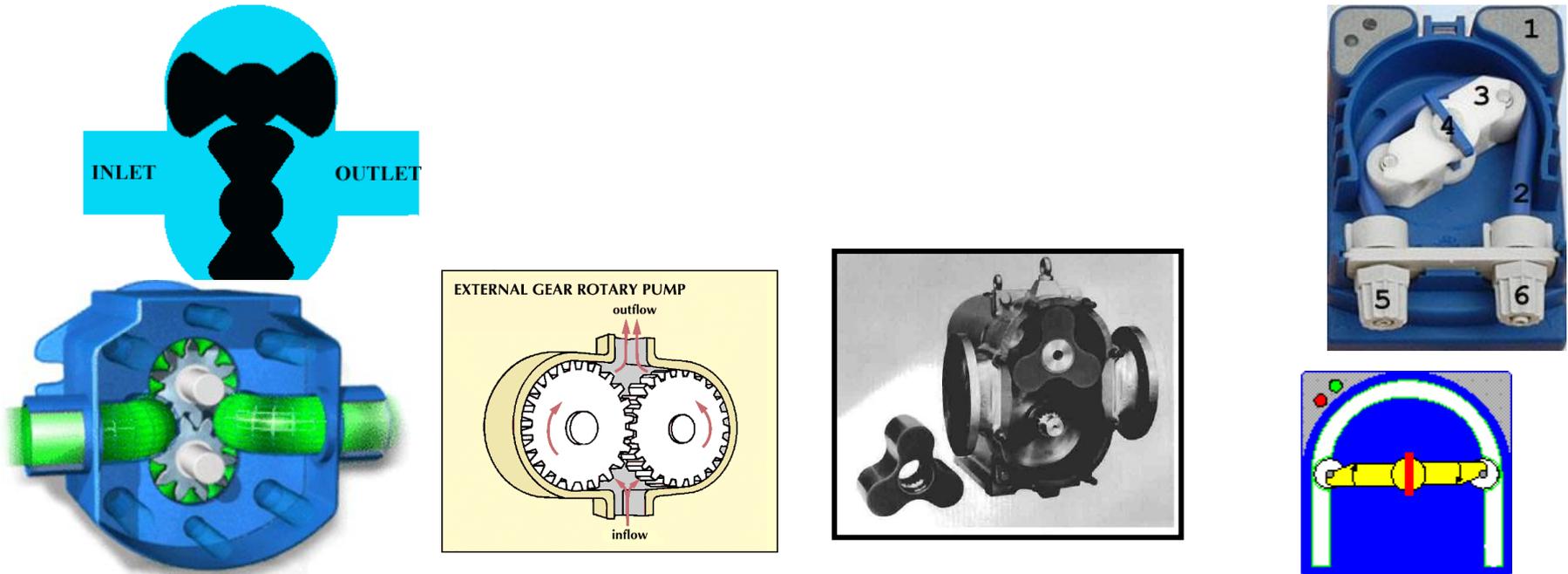
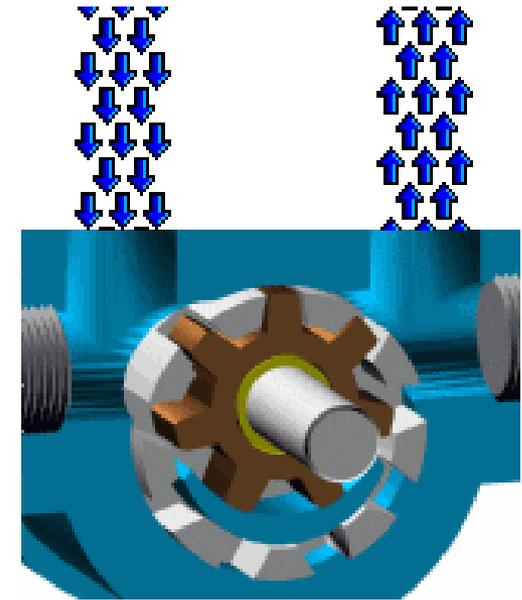
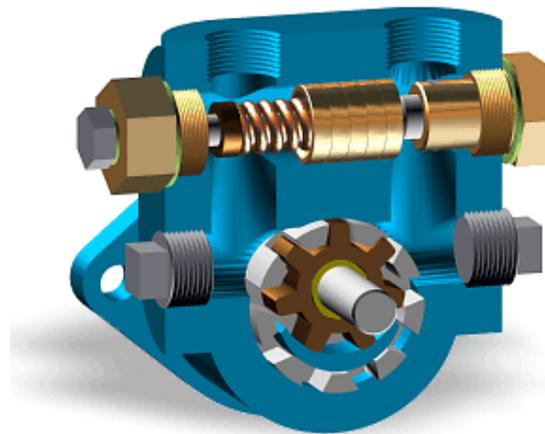
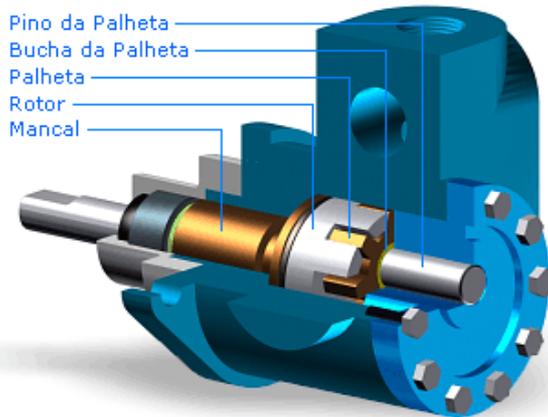


Figura 3 - Esquema de uma bomba rotativa (engrenagem)



# BOMBAS

## 3.1.3- Bombas Rotativas de Deslocamento Positivo



(Fonte: <http://www.rzrbombas.com.br/tecnologia.htm#bdesloc> -25/02/08)

O princípio de funcionamento das bombas RZR acima baseia-se no deslocamento da engrenagem interna (palheta) em relação à engrenagem externa (rotor), isto é, a engrenagem interna gira excentricamente ao eixo da bomba.

Na entrada da bomba são formadas câmaras de sucção, entre os dentes da palheta e os dentes do rotor, que puxam o líquido para dentro da bomba.

Logo após, o fluxo de líquido é dividido pela meia-lua, que é fixa.

Parte do fluxo é conduzida entre os dentes da palheta e a outra parte é conduzida entre os dentes do rotor. A meia-lua funciona como vedação entre a saída e a entrada da bomba.

Na etapa final, a palheta e o rotor voltam a se engrenar, reduzindo os espaços entre os dentes das engrenagens e expulsando o líquido pela conexão de saída da bomba.



# BOMBAS

## 3.2 - Bombas Centrífugas

As bombas centrífugas são sem dúvida, as mais usadas na indústria de processos, em virtude da simplicidade do modelo, do pequeno custo, da manutenção barata e da flexibilidade de aplicação (ampla faixa de vazão e queda de pressão).

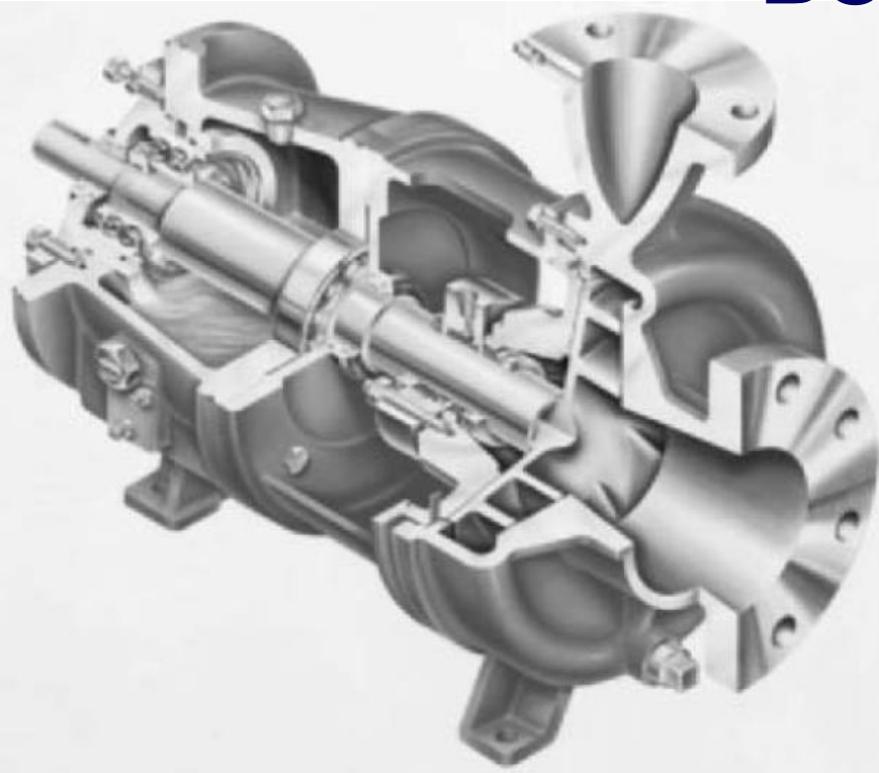
As bombas centrífugas são caracterizadas por possuírem um órgão rotatório dotado de pás, chamado rotor (ou impulsor), que comunica aceleração a massa líquida transformando a energia mecânica de que está dotado, em energia cinética. Essa aceleração, ao contrário do que se verifica nas bombas de deslocamento positivo, não possui a mesma direção e o mesmo sentido do movimento líquido em contacto com as pás.

A energia suprida por uma fonte externa se aplica ao eixo fazendo girar o rotor dentro de uma carcaça fixa. As pás do rotor ao girarem produzem uma redução de pressão na entrada ou centro do rotor. O líquido então escoar do cano de sucção para dentro do rotor, que o descarrega com um acréscimo de energia cinética.

Portanto, o funcionamento da bomba centrífuga se baseia na criação de uma zona de baixa pressão e de uma zona de alta pressão. O líquido submetido ao movimento das pás do rotor fica sujeito à força centrífuga que faz com que as partículas do líquido se desloquem em direção à periferia do rotor. Este deslocamento provoca a criação de um vazio (baixa pressão) na região central do rotor e este vazio é preenchido por igual quantidade de líquido proveniente da alimentação. A criação da zona de alta pressão ocorre na periferia do rotor. O líquido que chega às extremidades do rotor sob a ação da força centrífuga vai encontrar um aumento progressivo na área de escoamento, o que provoca uma transformação de energia cinética em pressão. Resumindo, o rotor fornece energia cinética para o líquido, sendo que em seguida parte desta energia é transformada em pressão devido ao aumento progressivo da área de escoamento.(Daleff)



# BOMBAS



Máquina de lavar

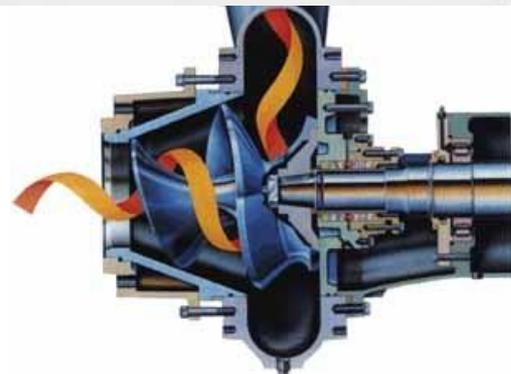
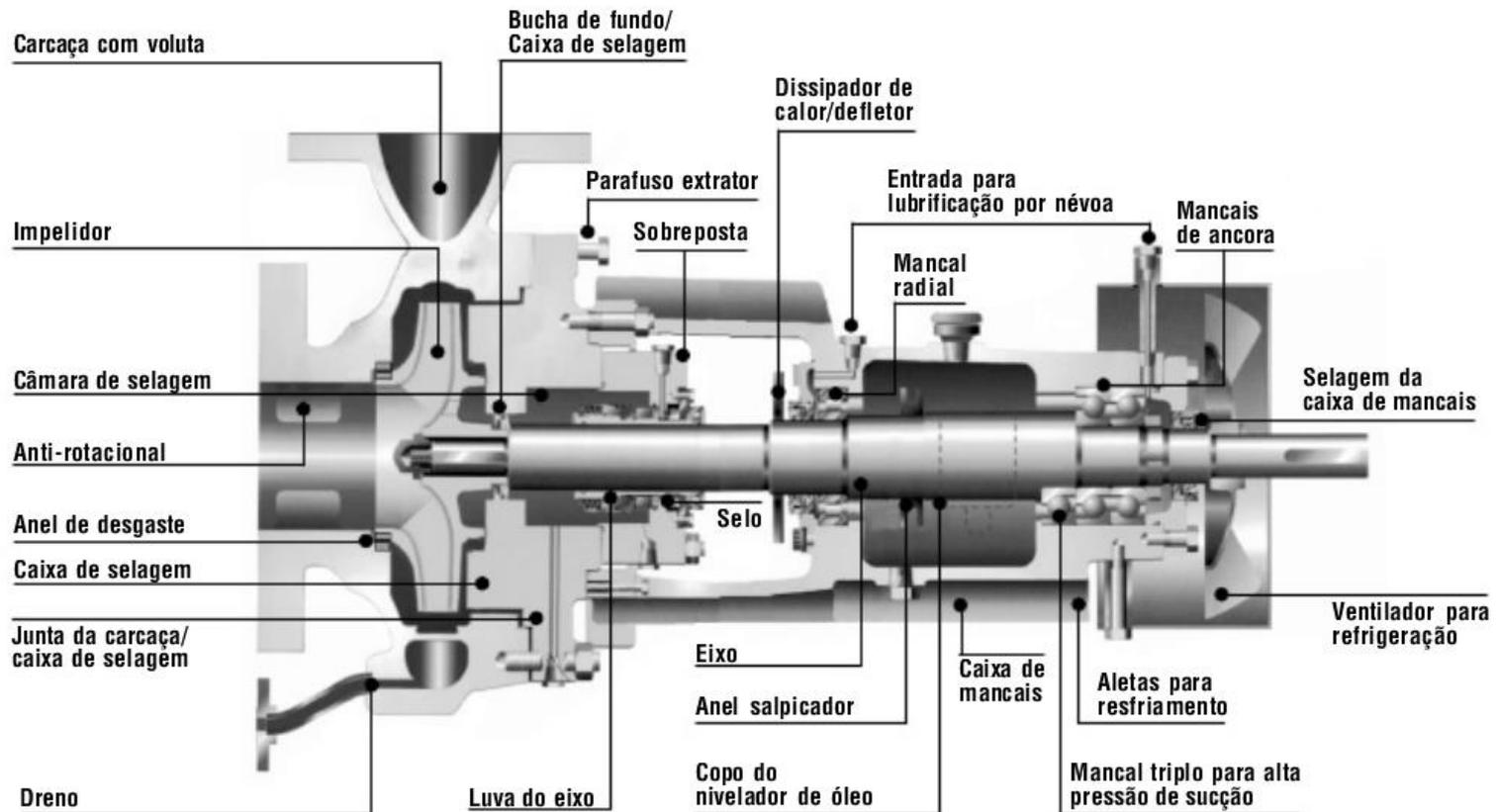


Figura 4 – Esquema de uma bomba centrífuga





# BOMBAS

## a) carcaça tipo voluta

A voluta de uma bomba centrífuga aumenta em área de seu ponto inicial até a abertura da descarga, cuja função principal é a de converter a energia cinética impressa ao fluido pelo rotor em uma energia de pressão.

De acordo com o movimento geral do líquido e o do eixo do rotor:

- Centrífuga pura - Fluido desloca na direção do raio do rotor;
- Centrífuga axial - Fluido desloca paralelamente à direção do eixo de rotação;

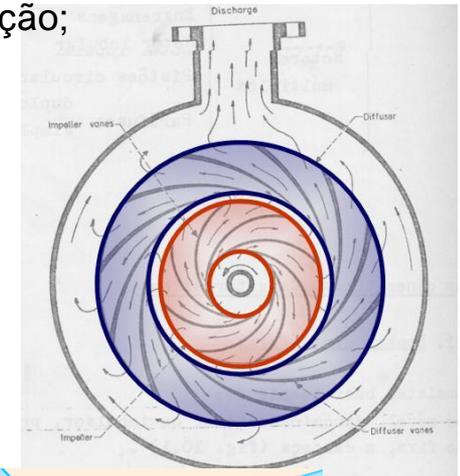
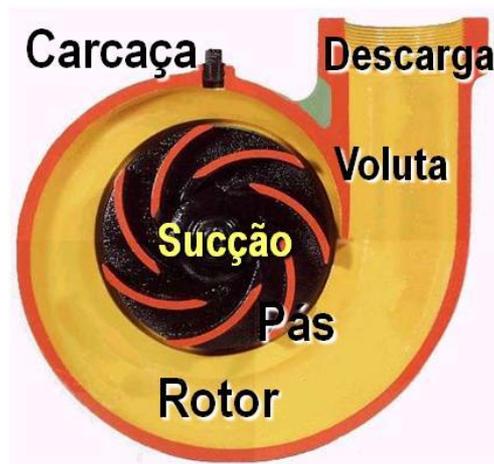
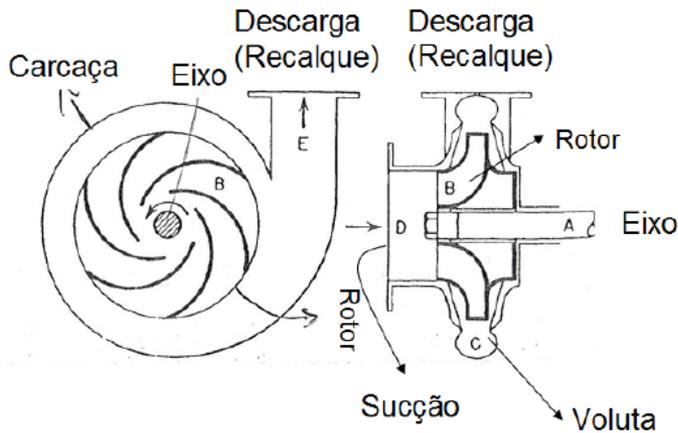
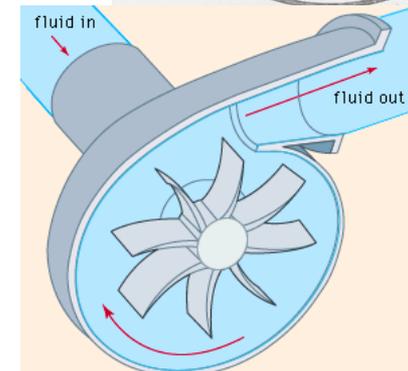


Figura 5 – Carcaça da Bomba Centrífuga



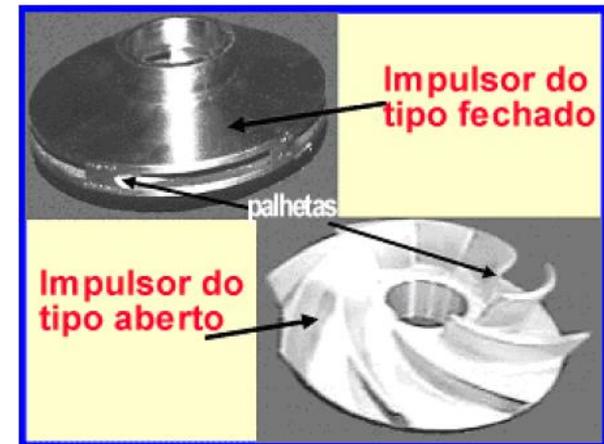
**A energia cinética é convertida em energia de pressão. Quanto maior é o número de palhetas menor é a perda por turbulência.**



# BOMBAS

## b) Rotor

O rotor pode ser aberto ou fechado. O rotor fechado ( mais eficientes, mais usados ) é indicado para o escoamento de líquidos sem substâncias em suspensão. Quando o material a ser deslocado é composto por pastas, lamas, esgoto sanitário, o rotor aberto ( rendimento baixo, usado para fluidos abrasivos) é usado. A carcaça é a parte (fixa) estacionária que envolve o rotor. Possui duas aberturas para a entrada e saída de líquido, respectivamente a sucção e o recalque. Para o funcionamento da *bomba centrífuga é necessário que a carcaça esteja completamente cheia de líquido* e portanto que o rotor esteja mergulhado no líquido.





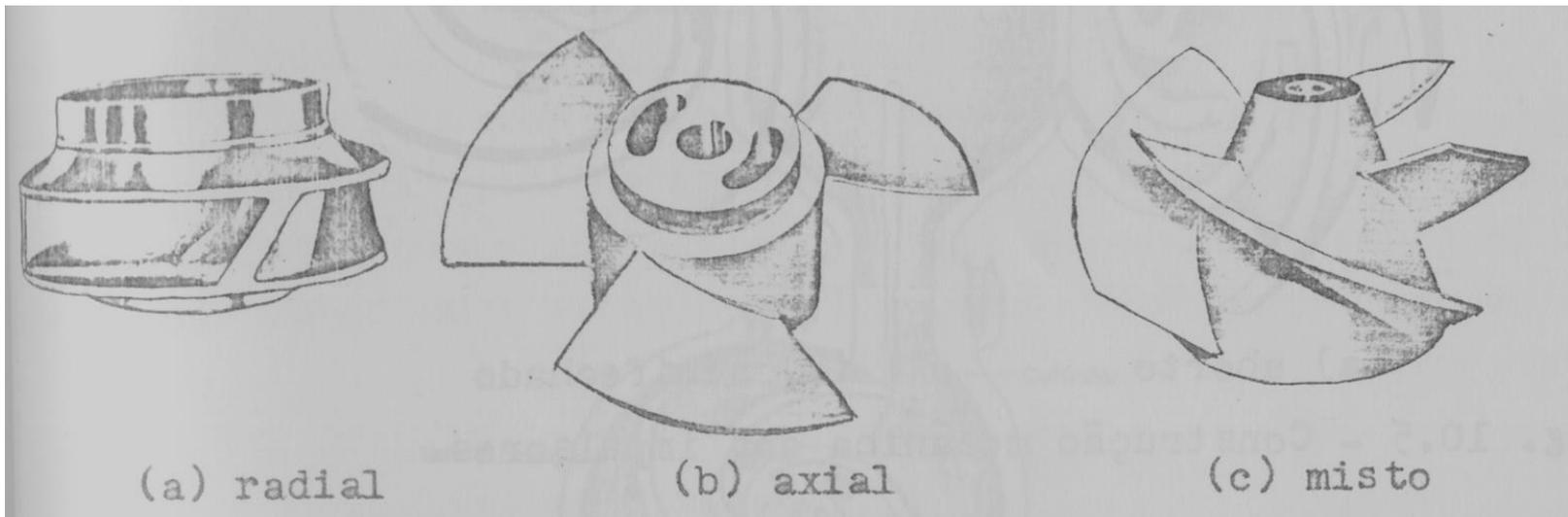
# BOMBAS

O tipo de rotor poderá definir os tipos de escoamento:

**Axial:** Descarrega o fluido na periferia axialmente (adequado para altas vazões, mas desenvolve baixas pressões)

**Radial:** Descarrega o fluido na periferia radialmente (desenvolve altas pressões, mas só é adequado para baixas vazões)

**Misto**





# BOMBAS

## c) Anéis de desgaste

Os anéis de desgaste são montados na carcaça, no rotor ou em ambos, fazem a separação entre as regiões de descarga e sucção, impedindo o retorno de líquido. São peças de pequeno custo, que evitam o desgaste e a necessidade de substituição de peças mais caras, como o rotor e a carcaça.

Os anéis podem ser feitos de bronze, sendo que a substituição das peças deve ser feita quando a folga diametral seja o dobro da inicial. Este procedimento evita a redução da eficiência da bomba.

## d) Eixo

Transmite o torque do motor ao rotor, deve ser construído com material que suporte variações de temperatura e fadiga.

## e) Caixa de gaxetas

Sua função é vedar e impedir o vazamento de líquido para fora da bomba. Este vazamento pode ocorrer no lugar que o eixo atravessa a carcaça. Geralmente são feitas de amianto grafitado.

## f) Rolamentos (Macais)

Suportam o eixo, mantendo-o alinhado com as peças estacionárias. Existem forças não equilibradas atuando sobre o rotor em movimento e por isso são necessários mancais convenientes para que o eixo possa girar maciamente com o mínimo de tensões e vibrações.

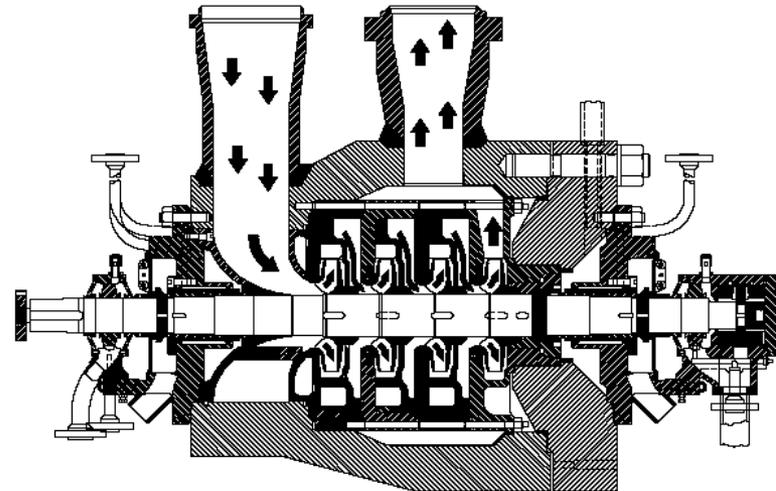
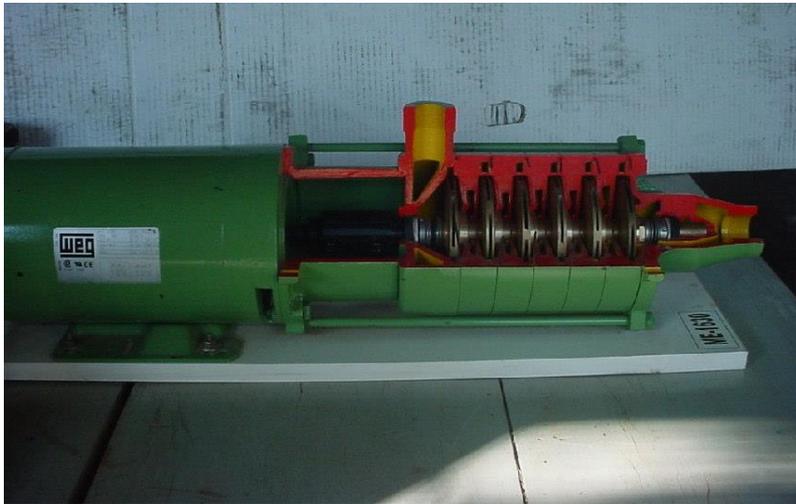


# BOMBAS



## b) BOMBA DE MÚLTIPLO ESTÁGIO OU MULTICELULAR:

- A bomba possui **DOIS ou MAIS rotores dentro da carcaça.**
- É o resultado da **associação de rotores em SÉRIE dentro da carcaça.**
- Essa associação permite a elevação do líquido a alturas maiores do que 100 metros, sendo o **rotor radial ou diagonal usado para tal associação.**
- Muito usada para **poços profundos de água ou de petróleo ou para alimentação de caldeiras com pressões superiores a  $250 \text{ kgf/cm}^2$  (2.500 m).**





# BOMBAS

## 4.2.2- Seleção de bombas centrífugas

A escolha do modelo de bombas centrífugas é feita através de catálogos com figuras que fornecem as principais características das bombas. Esses catálogos de seleção apresentam, em geral, um gráfico de altura manométrica em função da vazão, que permite "enquadrar" a bomba em um modelo padronizado. Após a escolha do modelo deve-se recorrer as curvas características correspondentes a esse modelo, que fornecem as demais especificações, como: diâmetro de rotor, eficiência, potência do motor, rotação e o NPSH requerido.

Para o completo entendimento da seleção de bombas centrífugas, alguns conceitos importantes devem ser mencionados, tais como NPSH requerido e disponível, cavitação, entre outros.



# BOMBAS

**Conservação da energia mecânica por unidade de massa (para um fluido ideal) ao longo de uma linha de corrente (rever conceito em Fenômenos de Transporte).**

Equação de Bernoulli: representa o balanço de energia por unidade de massa do fluido, num dado ponto de massa do fluido.

$$\frac{\Delta v^2}{2} + \frac{\Delta P}{\rho} + g\Delta Z = 0$$

$\frac{\Delta v^2}{2} \Rightarrow$  energia cinética por unidade de massa, representa a energia necessária para variar a velocidade da unidade de massa do fluido.

$\frac{\Delta P}{\rho} \Rightarrow$  energia de pressão por unidade de massa, representa a energia necessária para mover a unidade de massa do fluido de um nível de pressão à outro.

$g\Delta Z \Rightarrow$  energia potencial por unidade de massa, representa a energia necessária para elevar a unidade de massa numa diferença de altura  $\Delta Z$ .

Para o fluido ideal temos:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2$$

Para o fluido real temos:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 + W \text{ (Energia dissipada por atrito - perda de carga por atrito)}$$

se  $\div g$  teremos  $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$



# BOMBAS

## 5- NPSH ( Net Positive Suction Head), Cavitação e Escorva.

### 5.1- NPSHr (requerido)

É a energia requerida pelo líquido para a partir do flange de sucção vencer as perdas de carga dentro da bomba e chegar ao ponto onde vai ganhar energia e ser recalcado.

O NPSHr é uma característica da bomba, sendo portanto um dado fornecido pelo fabricante. O valor do NPSHr é determinado por testes de laboratório e é dado geralmente, em metros de coluna de fluido.

### 5.2- NPSHd (disponível)

A redução da pressão na tubulação de sucção de uma bomba, abaixo da pressão de vapor do líquido bombeado, pode causar vaporização. O vapor formado pode fazer com que interrompa parcialmente o escoamento da bomba. O procedimento utilizado para evitar esta condição é fazer com que a pressão no tubo de sucção seja sempre superior a pressão de vapor do líquido bombeado.

Baseado no que foi exposto, o NPSHd é definido como:

$$NPSH_d = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma}$$
$$\gamma = \rho g$$

Onde:

P2 - pressão na entrada da bomba

Pv - pressão de vapor do líquido na temperatura de bombeamento

V2 - velocidade na entrada da bomba

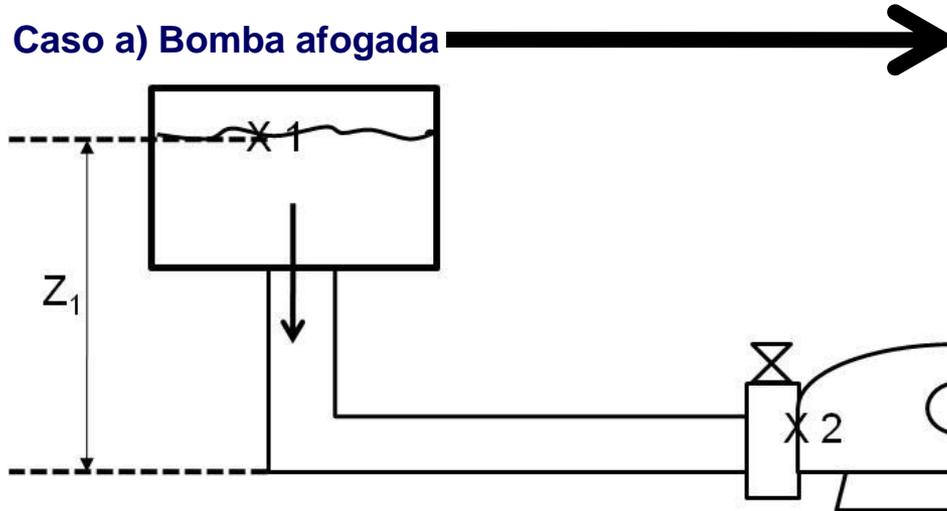
A condição imprescindível para o bom funcionamento de uma bomba é que o NPSH<sub>d</sub> seja maior que o NPSH<sub>r</sub>.



# BOMBAS

Cálculo do NPSH disponível:

Caso a) Bomba afogada



Vimos que:  $NPSH_d = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma}$

Equação de Bernoulli

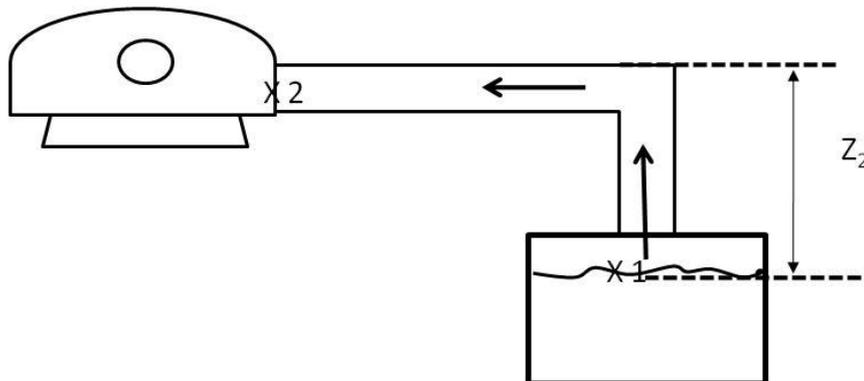
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2^0 + h_t$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 - h_t$$

$$NPSH_d = \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 - h_t \right) - \frac{P_v}{\gamma} \quad \text{sendo: } \gamma = \rho g$$

Condição imprescindível de bom funcionamento da bomba:  $NPSH_d > NPSH_r$

Caso b) Bomba não afogada



Vimos que:  $NPSH_d = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma}$

Equação de Bernoulli

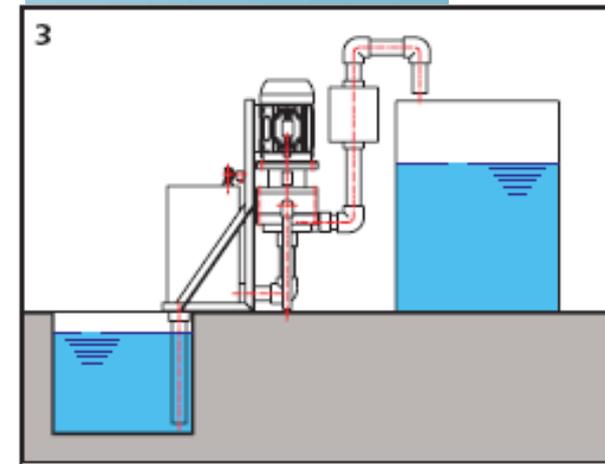
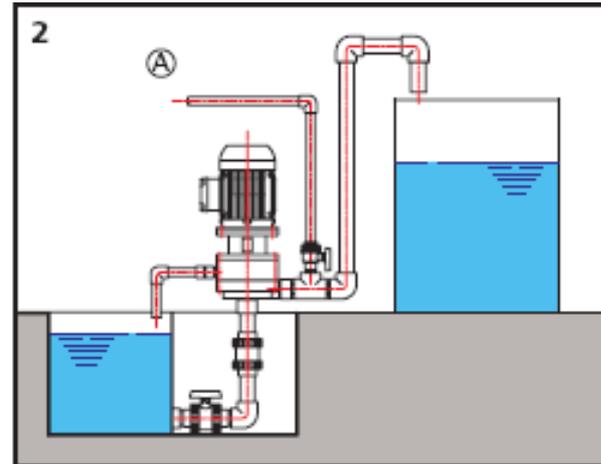
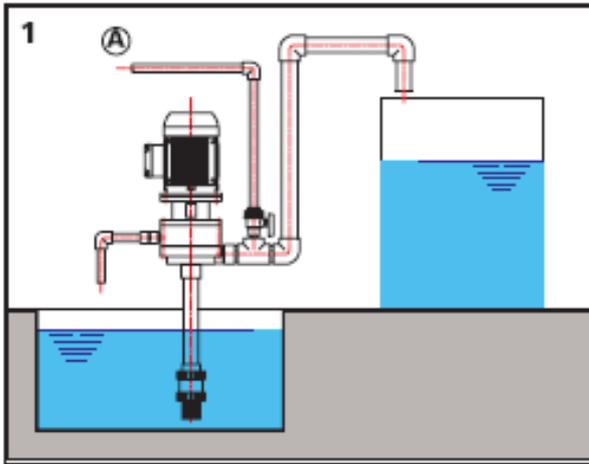
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1^0 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_t$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 - h_t$$

$$NPSH_d = \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - Z_2 - h_t \right) - \frac{P_v}{\gamma} \quad \text{sendo: } \gamma = \rho g$$



# BOMBAS



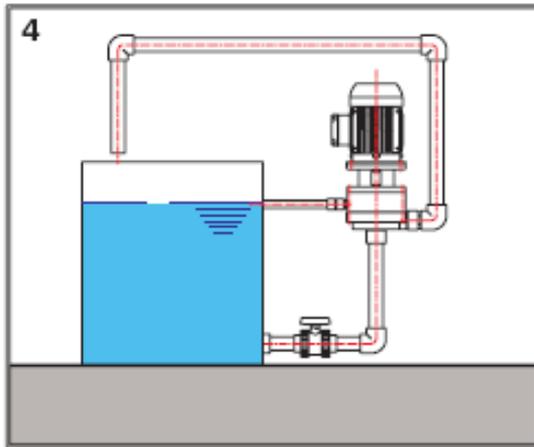
O esquema 1 mostra o reservatório aterrado com a bomba instalada acima do nível do líquido, usando uma válvula de pé para permitir que o rotor da bomba permaneça afogado. Para a primeira partida e após paradas prolongadas, eventualmente a bomba precisará ser abastecida, o que pode ser feito através da **tubulação A (opcional)**.

O esquema 2 mostra o reservatório aterrado com a bomba instalada acima do nível do líquido, sendo que o tubo de sucção possui uma válvula de retenção para manter o rotor da bomba afogado. Para a primeira partida e após paradas prolongadas, eventualmente a bomba precisará ser abastecida, o que pode ser feito através da **tubulação A (opcional)**.

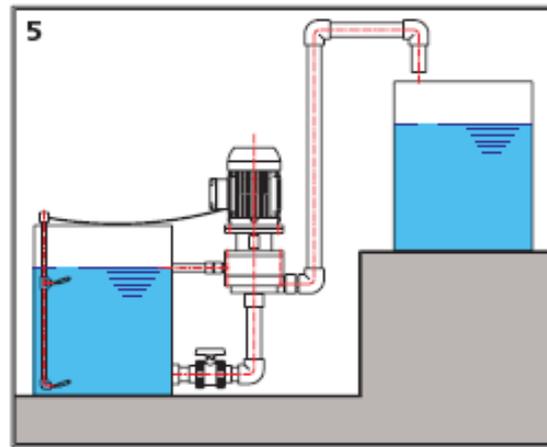
O esquema 3 mostra a bomba instalada acima do nível de líquido com um "sistema auto-escorvante BOMAX" o que permite à bomba operar com **sucção a seco de até 4 metros**, sem falhas ou necessidade de escorvamento.



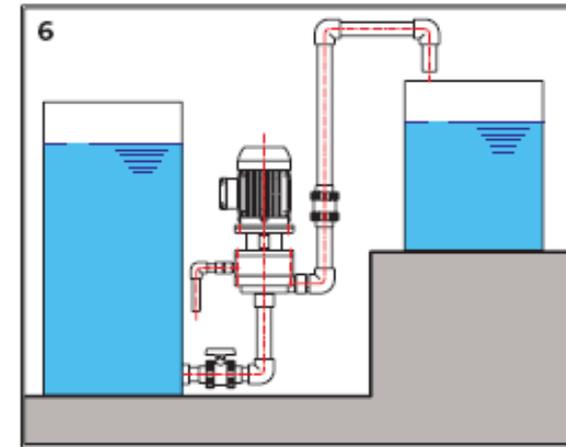
# BOMBAS



O esquema 4 mostra um processo de recirculação onde o nível do reservatório é constante. Nesta situação, instalar a bomba de forma que o rotor fique permanentemente afogado. Assim, dispensa-se o manuseio de válvulas durante a operação. Aplicado em torres de resfriamento, lavadores de gases, filtragens, etc.



O esquema 5 mostra a bomba instalada de transferência, onde a bomba só parte com o tanque cheio. O acionamento é automatizado através de sensores de níveis. Instalação simples e totalmente segura quanto a falhas na partida. Grande aplicação em tanques de coleta para posterior tratamento, drinques, etc.



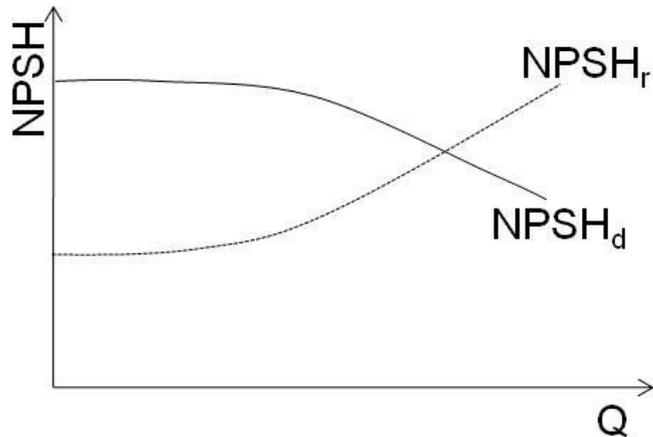
O esquema 6 mostra a bomba **afogada**, ou seja, abaixo do nível do líquido na sucção. Neste caso o bombeamento necessita ser acompanhado por um operador, já que as bombas com selagem hidrodinâmica não possuem vedação estática. Assim sugerimos os seguintes procedimentos:



# BOMBAS

Obs: Convém prever no dimensionamento de uma linha de sucção uma certa margem de segurança levando em conta, oscilações de temperatura do fluido e da pressão no lado da sucção.

Varição do NPSH requerido e disponível com a capacidade



O  $NPSH_d$  diminui com a vazão devido as perdas por atrito aumentarem com o incremento de vazão.

O  $NPSH_r$  é uma função da velocidade nos condutos da seção da bomba e na entrada da bomba, portanto aumenta com a capacidade.



# BOMBAS

## **5.3 – Cavitação - O nome de cavitação vem de cavidade, que significa vazio. No caso das bombas, a cavitação se deve ao vazio formado na implosão das bolhas de vapor.**

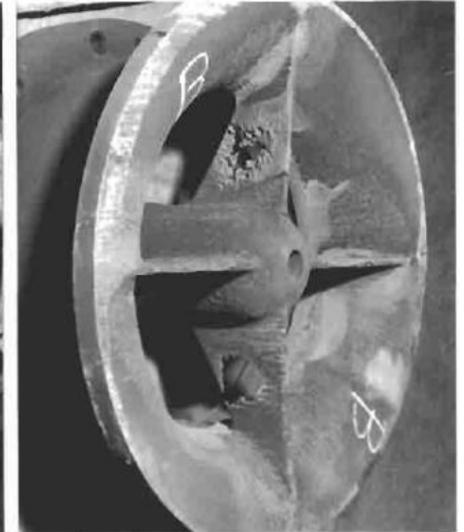
Quando uma bomba centrífuga opera com elevadas capacidades é possível ocorrerem regiões de baixas pressões, não só no olho do rotor, mas também nas pontas das palhetas. Quando esta pressão fica abaixo da pressão de vapor do líquido é possível a ocorrência de vaporização nestes pontos. As bolhas de vapor deslocam-se e quando atingem uma região de maior pressão desaparecem (condensam). Esta formação e desaparecimento das bolhas constituem o fenómeno da cavitação. Os efeitos mais evidentes da cavitação são ruído e vibração. Este processo (formação e colapso das bolhas) pode provocar verdadeiros buracos nas pás do rotor, a vibração pode causar danos nos rolamentos.

Em uma instalação já montada e com problemas de cavitação algumas medidas podem ser tomadas:

- diminuir a vazão estrangulando a(s) válvula(s) de recalque (se possível);
- diminuir a rotação do motor (se possível);
- retirar acessórios com alta perda de carga que muitas vezes são desnecessários na sucção;
- substituir alguns acessórios da tubulação de sucção por outros de menor perda de carga;  
por exemplo substituir um cotovelo de 90° de raio curto por outro de raio longo;
- aumentar o diâmetro da linha de sucção;
- diminuir a temperatura do fluido (se possível).



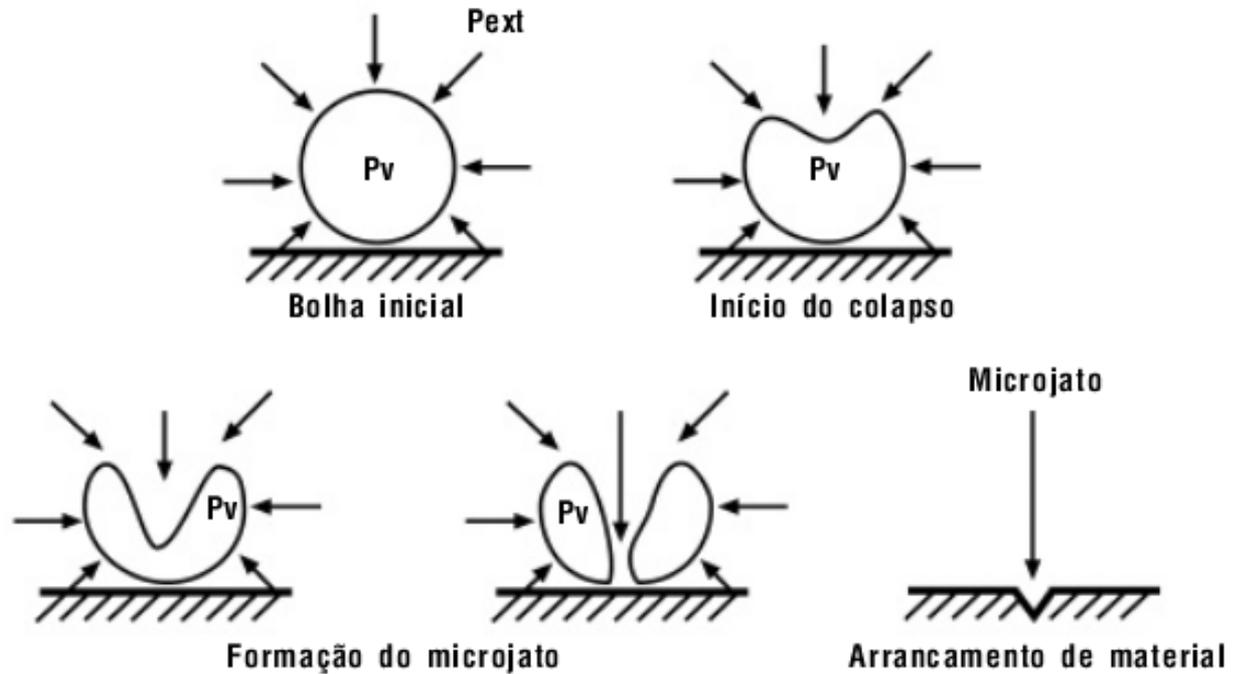
# Cavitação





## IMPLOÇÃO DAS BOLHAS DE VAPOR COM ARRANCAMENTO DO MATERIAL

### Implosão das bolhas



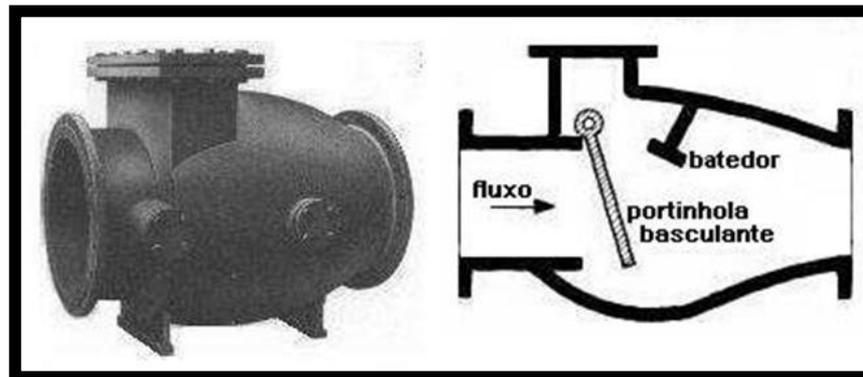


# BOMBAS

## 5.4- Escorva

Para iniciar o funcionamento de uma bomba centrífuga é necessário que tanto a bomba quanto o tubo de aspiração sejam previamente enchidos com o líquido. Este procedimento deve-se ao fato deste equipamento não ser auto-aspirante ou auto escorvante, isto é, não é capaz de expulsar o ar, criando o vácuo que permitiria a entrada do líquido, no início do funcionamento. A presença do ar no interior da bomba é denunciada por ruídos e trepidações características.

Para realização da escorva é comum o uso de válvula de retenção (tipo pé) que impede o escoamento do líquido do tubo para o reservatório, quando a bomba está parada ou pára de funcionar (impede o esvaziamento da tubulação). Outros procedimentos utilizados são a instalação de sucção tipo "bomba afogada" ( reservatório de sucção em uma altura superior à bomba) e a colocação de reservatório para a escorva.





# BOMBAS

Exercício: Deseja-se alimentar com uma bomba alternativa, a uma vazão de  $800 \text{ cm}^3/\text{h}$ , um pequeno reator pressurizado que trabalha a  $98 \text{ kgf/cm}^2$ . Especifique o modelo da bomba. O fabricante indica que há um decréscimo de 1% à 1,5% na capacidade para cada aumento de pressão da ordem de  $6,8 \text{ kgf/cm}^2$  devido a tolerâncias de fabricação e vedação das válvulas.

SOLUÇÃO: aparentemente o modelo  $M_4$  atende as necessidades uma vez que a pressão necessária ( $98 \text{ kgf/cm}^2$ ) é inferior à máxima fornecida pela bomba ( $136 \text{ kgf/cm}^2$ ) e a vazão desejada ( $800 \text{ cm}^3/\text{h}$ ) é inferior à máxima conseguida por esse modelo ( $1040 \text{ cm}^3/\text{h}$ ), entretanto deve-se calcular o decréscimo de vazão.

$$\text{número de aumentos de pressão } n_{\text{auP}} = \frac{98}{6,8} = 14,4$$

Pior situação: decréscimo de 1,5%

$$1,5\% \times n_{\text{auP}} = 1,5\% \times 14,4 = 21,6\%. \text{ (% de decréscimo de capacidade)}$$

$$\text{capacidade: } 1040 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} (1 - 0,216) = 815,36 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}$$

Modelo	Capacidade Máxima ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )	Pressão Máxima ( $\text{kgf/cm}^2$ )
M-5	780	204
M-4	1040	136
M-3	2300	68
M-2	4200	34
M-1	6500	20



# BOMBAS



## Alguns termos usuais no estudo de bombas:

ALTURA DE SUCÇÃO - Desnível geométrico (altura em metros), entre o nível dinâmico da captação e o bocal de sucção da bomba. OBS.: Em bombas centrífugas normais, instaladas ao nível do mar e com fluído bombeado a temperatura ambiente, esta altura não pode exceder 8 metros de coluna d'água (8 mca).

ALTURA DE RECALQUE (AR)- Desnível geométrico (altura em metros), entre o bocal de sucção da bomba e o ponto de maior elevação do fluído até o destino final da instalação (reservatório, etc.).

ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (AMT) - Altura total exigida pelo sistema, a qual a bomba deverá ceder energia suficiente ao fluído para vencê-la. Leva-se em consideração os desníveis geométricos de sucção e recalque e as perdas de carga por atrito em conexões e tubulações.  $AMT = \text{Altura Sucção} + \text{Altura Recalque} + \text{Perdas de Carga Totais (Tubulações/Conexões e Acessórios)}$ .

PERDA DE CARGA NAS TUBULAÇÕES - Atrito exercido na parede interna do tubo quando da passagem do fluído pelo seu interior. É mensurada obtendo-se, através de coeficientes, um valor percentual sobre o comprimento total da tubulação, em função do diâmetro interno da tubulação e da vazão desejada.

PERDA DE CARGA LOCALIZADA NAS CONEXÕES - Atrito exercido na parede interna das conexões, registros, válvulas, dentre outros, quando da passagem do fluído. É mensurada obtendo-se, através de coeficientes, um comprimento equivalente em metros de tubulação, definido em função do diâmetro nominal e do material da conexão.



# BOMBAS



## Alguns termos usuais no estudo de bombas:

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DE SUCCÃO - Extensão linear em metros de tubo utilizados na instalação, desde o injetor ou válvula de pé até o bocal de entrada da bomba.

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DE RECALQUE - Extensão linear em metros de tubo utilizados na instalação, desde a saída da bomba até o ponto final da instalação.

GOLPE DE ARÍETE - Impacto sobre todo o sistema hidráulico causado pelo retomo da água existente na tubulação de recalque, quando da parada da bomba. Este impacto, quando não amortecido por válvula(s) de retenção, danifica tubos, conexões e os componentes da bomba.

NIVEL ESTÁTICO - Distância vertical em metros, entre a borda do reservatório de sucção e o nível (lâmina) da água, antes do início do bombeamento.

NIVEL DINÂMICO - Distância vertical em metros, entre a borda do reservatório de sucção e o nível (lâmina) mínimo da água, durante o bombeamento da vazão desejada.

SUBMERGÊNCIA - Distância vertical em metros, entre o nível dinâmico e o injetor (Bombas Injetoras), a válvula de pé (Bombas Centrifugas Normais), ou filtro da sucção (Bombas Submersas).

ESCORVA DA BOMBA - Eliminação do ar existente no interior da bomba e da tubulação de sucção. Esta operação consiste em preencher com o fluído a ser bombeado todo o interior da bomba e da tubulação de sucção, antes do acionamento da mesma. Nas bombas autoaspirantes basta eliminar o ar do interior da mesma. Até 8 mca de sucção a bomba eliminará o ar da tubulação automaticamente.



# BOMBAS



## Alguns termos usuais no estudo de bombas:

AUTOASPIRANTE - O mesmo que Autoescorvante, isto é, bomba centrífuga que elimina o ar da tubulação de sucção, não sendo necessário o uso de válvula de pé na sucção da mesma, desde que, a altura de sucção não exceda 8 mca.

CAVITAÇÃO - Fenômeno físico que ocorre em bombas centrífugas no momento em que o fluido succionado pela mesma tem sua pressão reduzida, atingindo valores iguais ou inferiores a sua pressão de vapor. Com isso, formam-se bolhas que são conduzidas pelo deslocamento do fluido até o rotor onde implodem ao atingirem novamente pressões elevadas.

Este fenômeno ocorre no interior da bomba quando o NPSHd (sistema), é menor que o NPSHr (bomba). A cavitação causa ruídos, danos e queda no desempenho hidráulico das bombas.

NPSH - Sigla da expressão inglesa -Net Positive Suction Head a qual divide-se em:

NPSH disponível - Pressão absoluta por unidade de peso existente na sucção da bomba (entrada do rotor), a qual deve ser superior a pressão de vapor do fluido bombeado, e cujo valor depende das características do sistema e do fluido;

NPSH requerido - Pressão absoluta mínima por unidade de peso, a qual deverá ser superior a pressão de vapor do fluido bombeado na sucção da bomba (entrada de rotor) para que não haja cavitação. Este valor depende das características da bomba e deve ser fornecido pelo fabricante da mesma;

O  $NPSH_{\text{disponível}}$  deve ser sempre maior que o  $NPSH_{\text{req}}$  (  $NPSHd > NPSHr$  )



# BOMBAS



## **Alguns termos usuais no estudo de bombas:**

VÁLVULA DE PÉ OU DE FUNDO DE POÇO - Válvula de retenção colocada na extremidade inferior da tubulação de sucção para impedir que a água succionada retorne à fonte quando da parada do funcionamento da bomba, evitando que esta trabalhe a seco (perda da escorva).

VÁLVULA DE RETENÇÃO - Válvula(s) de sentido único colocada(s) na tubulação de recalque para evitar o golpe de aríete. Utilizar uma válvula de retenção a cada 20 mca de AMT.



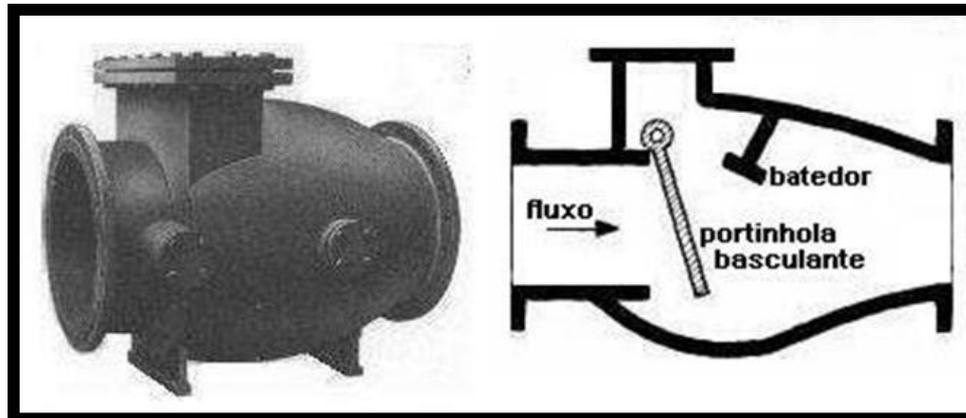
# BOMBAS

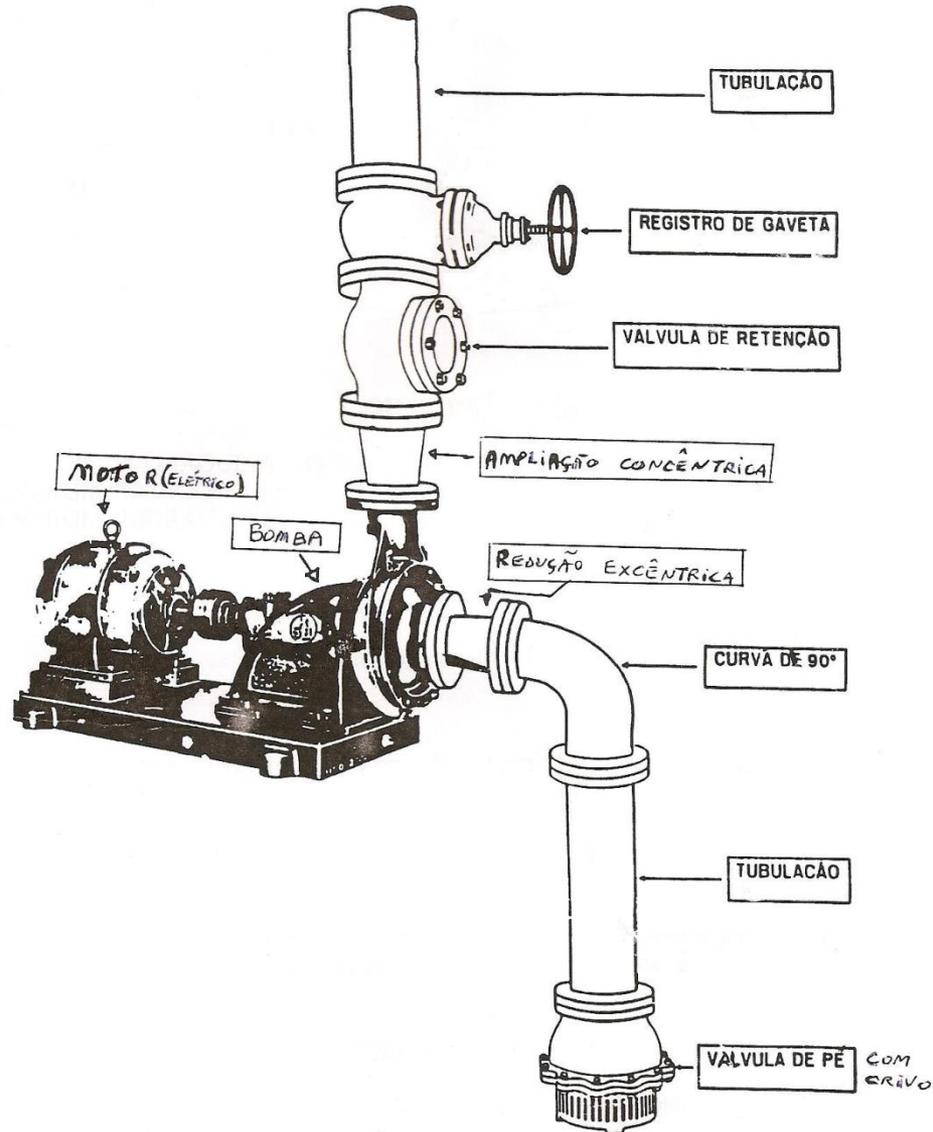
**Válvula de Retenção:** As válvulas de retenção são equipamentos de proteção instaladas visando proteger as instalações hidráulicas do refluxo de água quando do paralisação das bombas. Como função secundária, são importantes para a manutenção da coluna da água durante a paralisação.

Existem diversos tipos de válvula de retenção e a sua escolha deverá ser feita de acordo com a sua finalidade específica. Por exemplo, em uma instalação com reservatório hidropneumático, o seu fechamento deverá ser o mais rápido possível para evitar perda de água do reservatório, bem como evitar o choque mais violento da portinhola contra o seu anteparo. Esses tipos de válvulas são providas de molas para o seu fechamento e o conjunto móvel possui baixa inércia. Os outros tipos são os de portinhola articulada, dupla portinhola etc.

Geralmente são instaladas no início das tubulações de recalque, entre a saída das bombas e antes dos registros (válvulas de gaveta), para proteção das bombas contra os golpes, resultantes da cessação brusca do escoamento, especialmente por falta de energia elétrica. Esse posicionamento é o mais adequado, pois facilita inspeções e consertos eventuais.

Em função do tipo de válvula que possuem permitem o deslocamento da água num só sentido (Veja Figura). É necessário observar que a instalação deve ser feita de modo a que a portinhola abra no sentido do fluxo. Convencionalmente este sentido é indicado por uma seta gravada em relevo no corpo da válvula.







# Seleção de Bombas Centrífugas

Para escolha de uma bomba deve-se conhecer a altura manométrica e o primeiro passo será consultar os gráficos de seleção relativos à linha de produção de cada fabricante. Estes gráficos são diagramas cartesianos que especificam o campo de cada uma das bombas pertencentes a uma série do mesmo tipo.

Escolhida a bomba no gráfico de seleção, procura-se no catálogo a respectiva curva característica que fornece o diâmetro do rotor, o rendimento e outros dados úteis.



# Seleção de Bombas Centrífugas

Passos – tipo de bomba → Curva do modelo → curva característica.

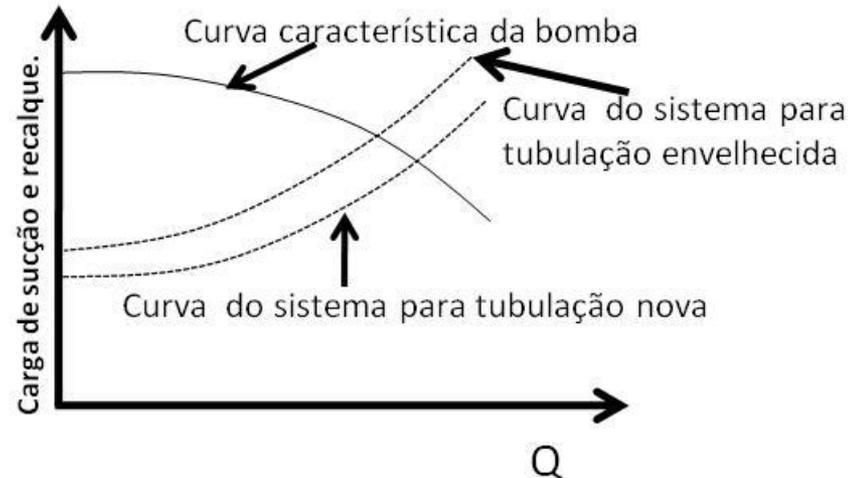
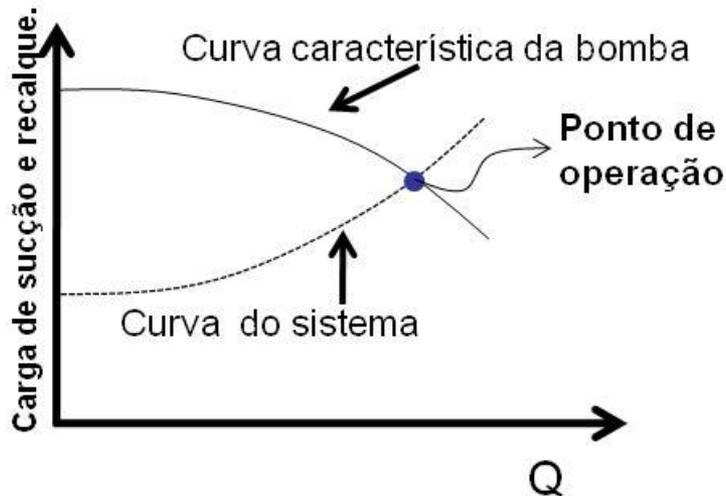
**Curvas Características:** relacionam a vazão, carga total fornecida ao fluido, rendimento, potência do motor e NPSH requerido. As bombas centrífugas, normalmente são projetadas para uma pequena e bem definida faixa de vazões e cargas totais, onde o seu rendimento é máximo. A sua utilização, porém, ultrapassa aqueles limites, deslocando-se o ponto de trabalho para a direita, a potência consumida aumenta; deslocando-se para a esquerda, a potência consumida diminui. (Por isso o fabricante apresenta vários rotores para a mesma carcaça). **Convêm ao aluno consultar diferentes catálogos através de sites dos fabricantes, existem catálogos com formatos variados, mas as informações relevantes e necessárias para se fazer a leitura são as mesmas.**



# BOMBAS



## O conceito de curva característica e curva de operação (curva do sistema)



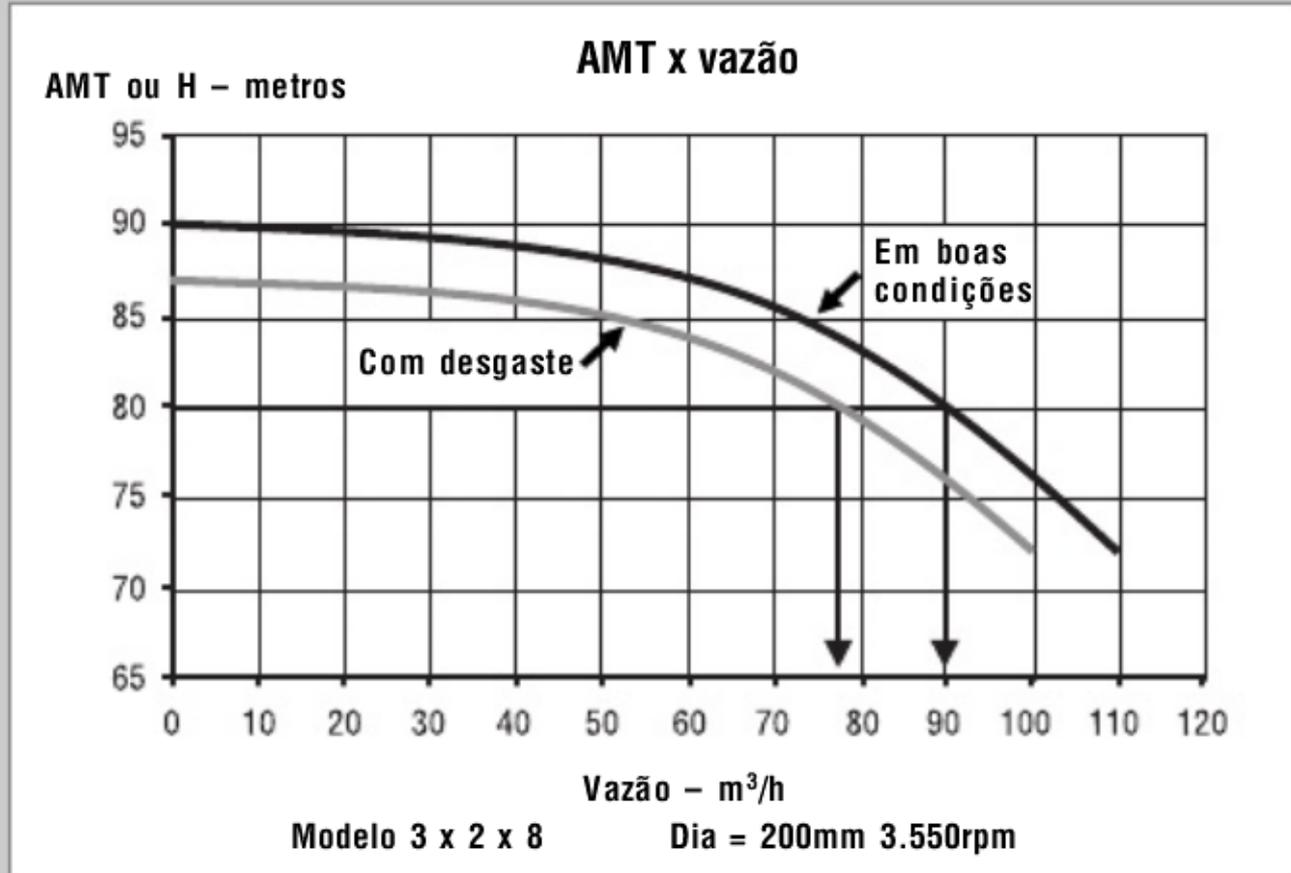
## 6- Associações de Bombas Centrífugas

### 6.1- Associação em paralelo

Em uma associação em paralelo, para uma mesma altura monométrica as vazões se somam.



## PERDA DE AMT DEVIDO AO DESGASTE INTERNO DA BOMBA



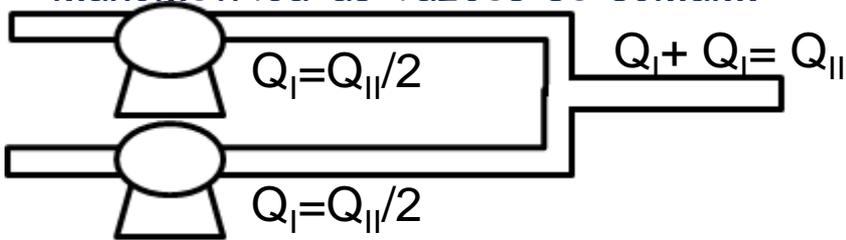


# BOMBAS

## Associação de Bombas



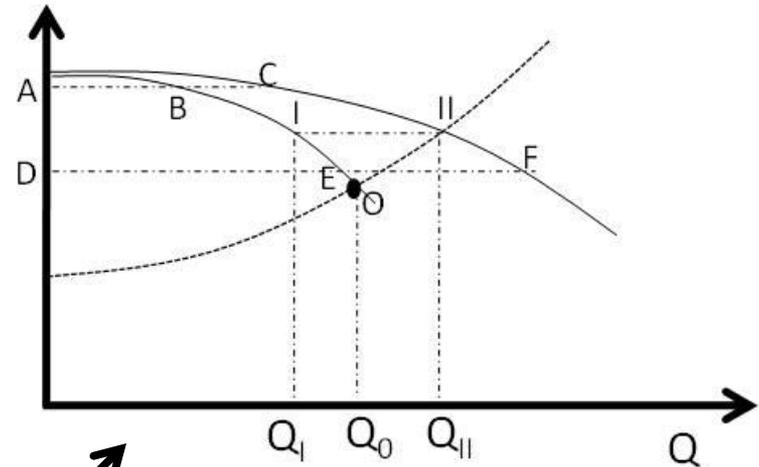
a) Em paralelo: Em uma associação em paralelo para uma mesma altura manométrica as vazões se somam.



A bomba operando isolada entra em equilíbrio com o sistema no ponto O, o qual corresponde a vazão  $Q_0$ . Associando-lhe em paralelo, uma segunda bomba (igual), o equilíbrio é deslocado para o ponto II. Com vazão  $Q_{II} > Q_0$ , mas que nunca chega ao dobro, pois se a vazão aumenta, aumenta a perda de carga do sistema. Nesta situação as bombas dividem entre si a vazão total e cada uma contribui com a vazão  $Q_I = (Q_{II}/2)$ . Em condições normais cada bomba vai operar no ponto I, logo ao verificar a potência consumida e o  $NPSH_r$  devemos fazê-lo para o ponto I, da curva característica individual.

## Bombas iguais.

$Q_{II} > Q_0$ , mas não é o dobro, pois se a vazão aumenta a perda de carga do sistema também aumenta.





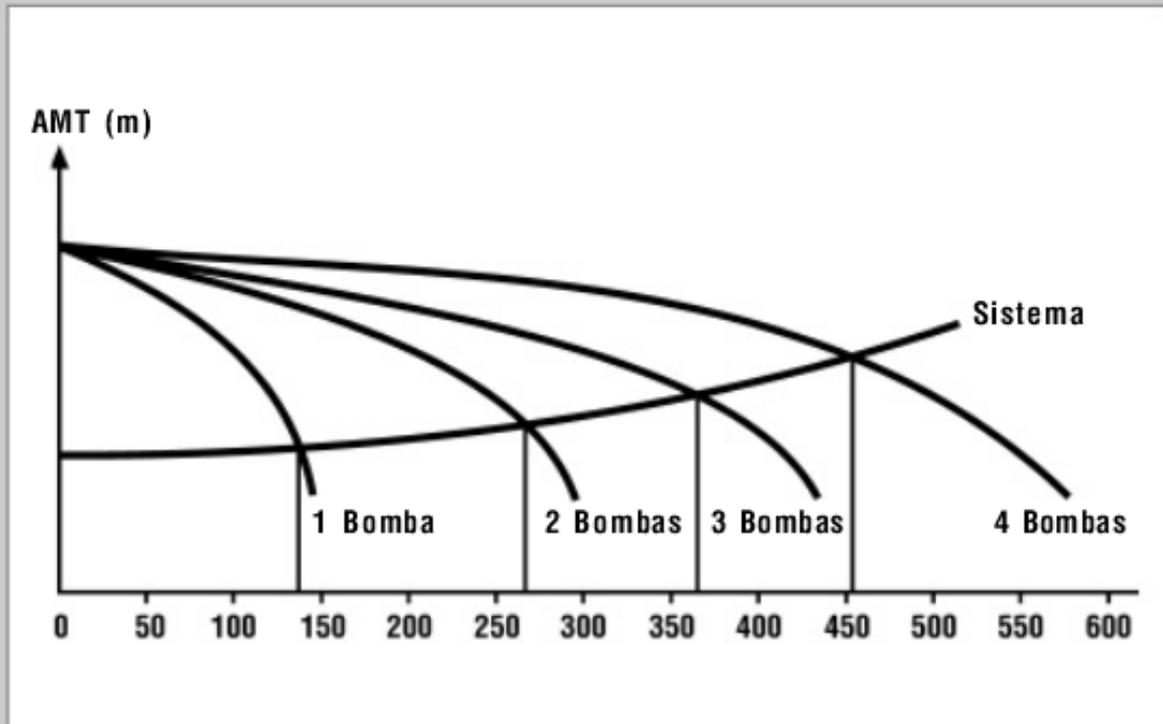


# BOMBAS

Associação de Bombas



## VARIAÇÃO DE VAZÃO LIGANDO E DESLIGANDO BOMBAS



140m<sup>3</sup>/h – 1 bomba funcionando  
265m<sup>3</sup>/h – 2 bombas funcionando  
370m<sup>3</sup>/h – 3 bombas funcionando  
460m<sup>3</sup>/h – 4 bombas funcionando

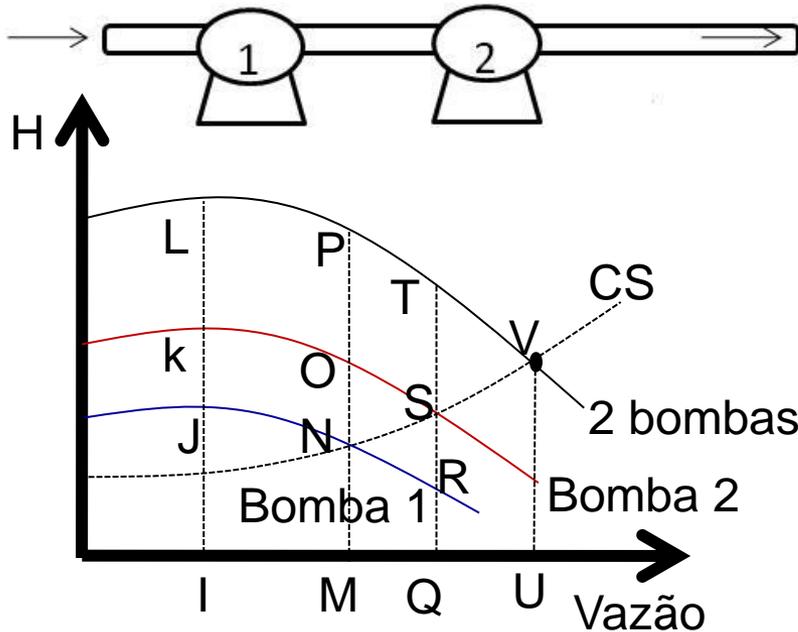


# BOMBAS

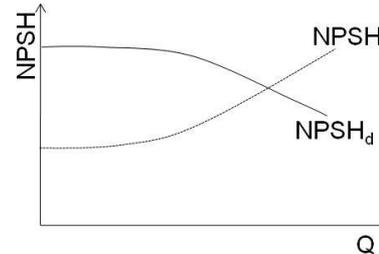


## Associação de Bombas DIFERENTES

a) **Em série:** quando duas bombas estão em série, as vazões se mantêm e as alturas manométricas totais se somam.



Cuidado não confunda o gráfico de Altura manométrica x Vazão com o gráfico de  $NPH_r$  x  $NPSH_d$



Ao obter a condição de operação do conjunto de bombas é preciso verificar se nessa nova condição, o  $NPSH_d$  é suficiente.

$$IL = IJ + IK$$

$$MP = MN + MO$$

$$QT = QR + QS$$

$UV < QS + MN$  já que as bombas irão operar a vazões diferentes de M e Q, o incremento de vazão aumenta a perda de carga e a altura H fornecida pela bomba cai. Esse aumento de perda de carga é nitidamente visualizado pela inclinação da curva CS.

Se adotarmos 2 bombas iguais as curvas se sobrepõem e teremos a situação mostrada no slide a seguir

Ao inserir a segunda bomba, essa alterará a condição onde o conjunto das bombas fornecerão a altura necessária. Não é possível operar fora da condição V, já que a bomba deverá fornecer a altura exigida pelo sistema e para isso deverá operar em U.



# BOMBAS

## Associação de Bombas

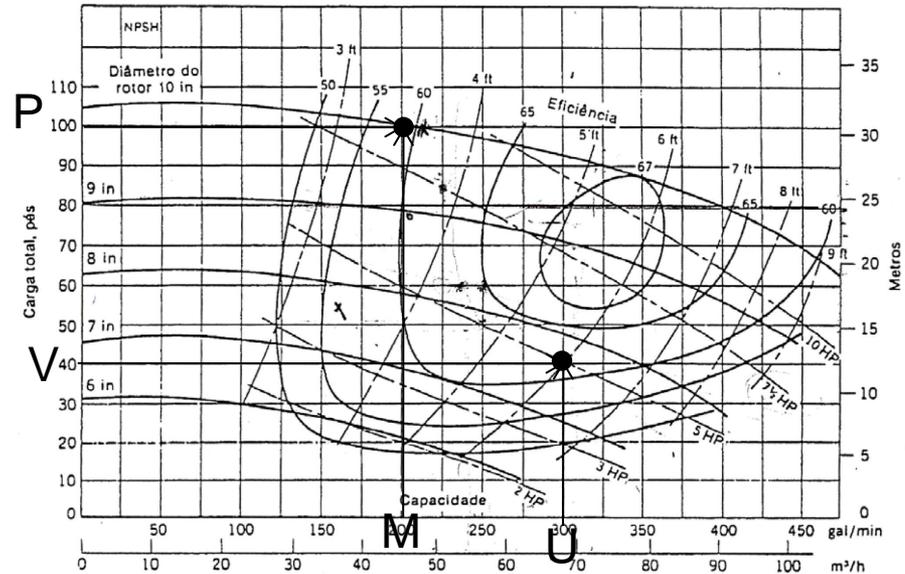
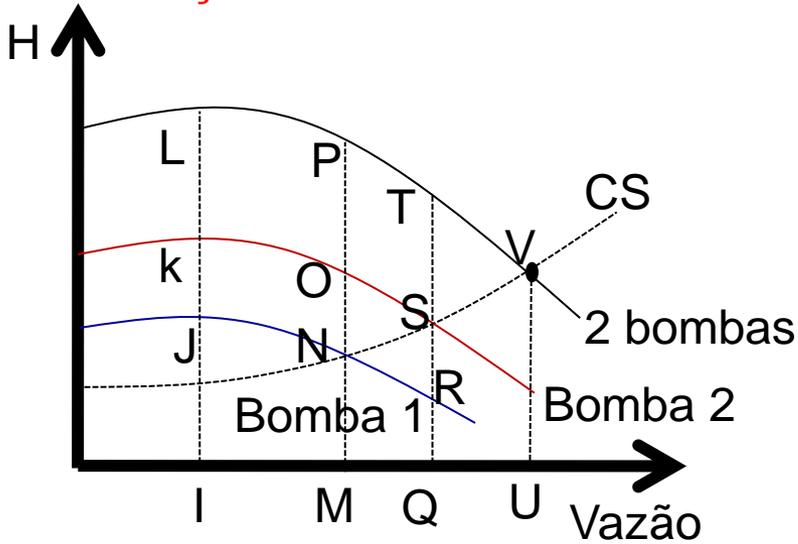


Figura A.16.2 - Modelo (tamanho) 3 x 4-10, da Goulds Pumps, Inc. a 1750 rpm<sup>2</sup>

Perceba que se o sistema diz que você precisa trabalhar com uma vazão U, para fornecer a altura manométrica V e você insiste em trabalhar com uma vazão menor M para a mesmo modelo, a especificação da bomba muda. Assim você estaria projetando uma bomba com capacidade P muito acima da necessária V. Cuidado a exigência do sistema é fixa, mas a alteração na posição da curva muda a dimensão e configuração da bomba. Cuidado a energia fornecida pela bomba deve garantir, vazão e altura. Lembre-se da mecânica dos fluidos "Bernoulli" uma forma de energia se convertendo em outra.

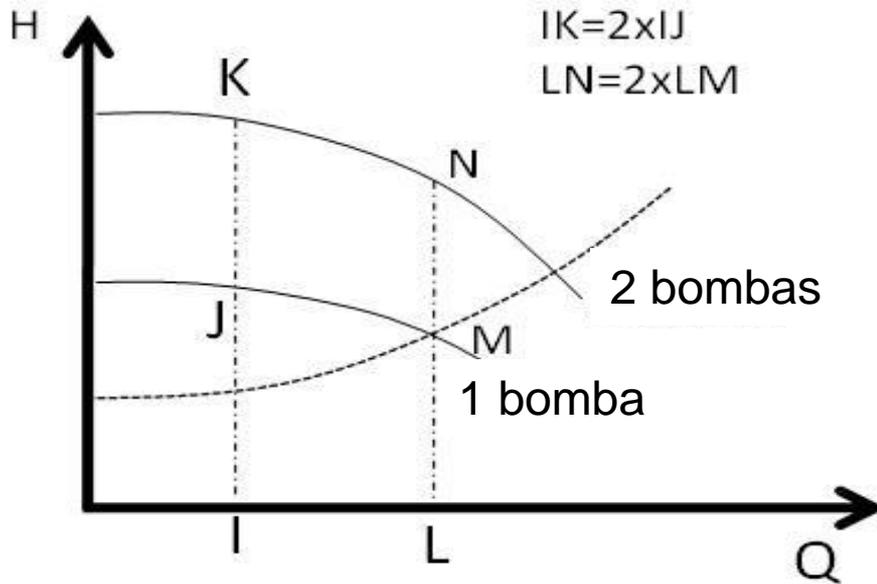
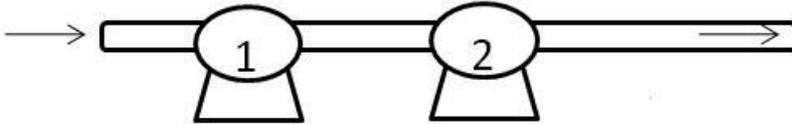


# BOMBAS



## Associação de Bombas IGUAIS ←

a) **Em série:** quando duas bombas estão em série, as vazões se mantêm e as alturas manométricas totais se somam.



A bomba 1 recalca para sucção da bomba 2, na qual a água recebe nova transferência de energia.

No caso de bombas diferentes as curvas características se somam.

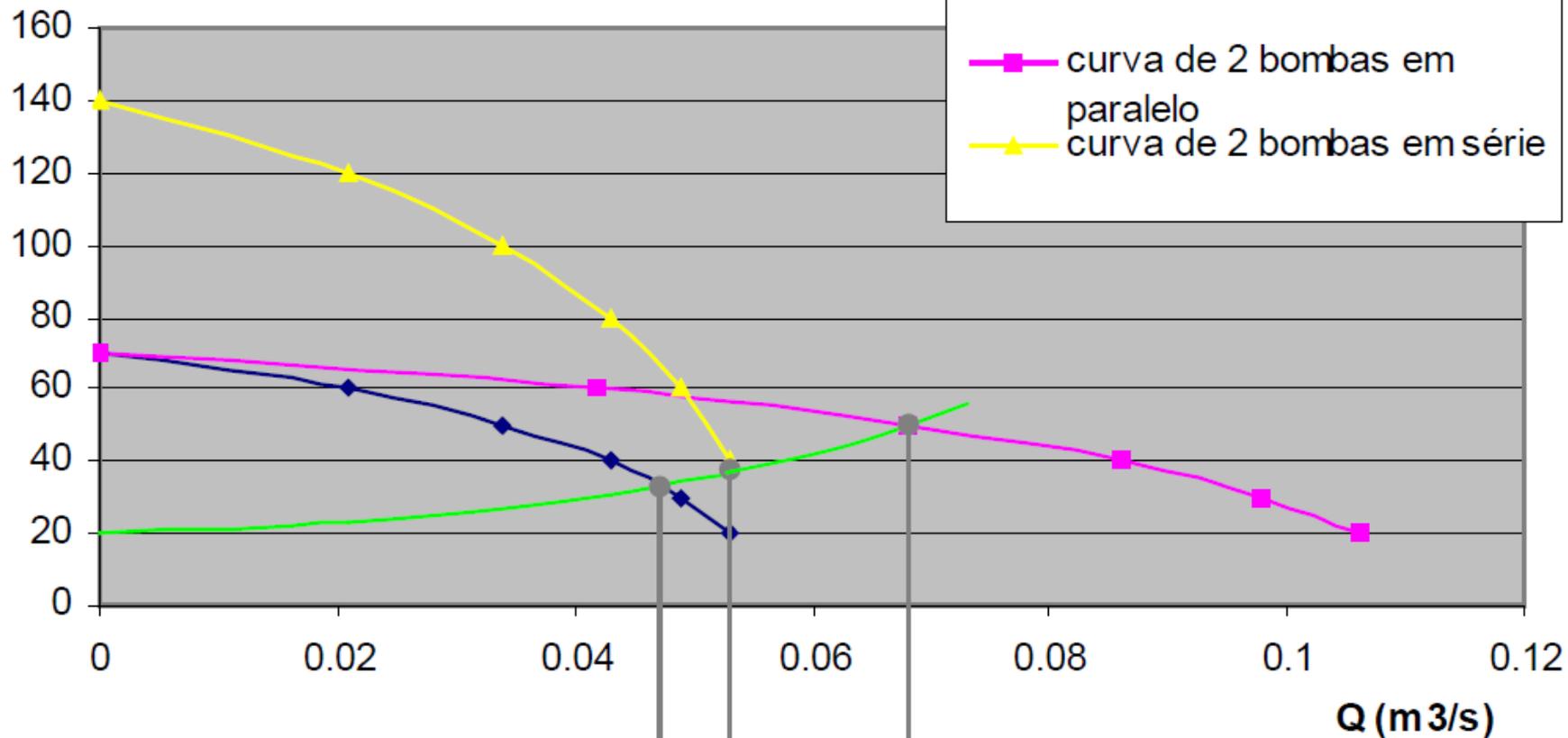
Aqui é preciso ter o cuidado de verificar se o flange da sucção da segunda bomba suporta a pressão de descarga da primeira.

A instalação das bombas deve preferencialmente ser feita em local seco, bem ventilado, facilmente acessível e com inspeção periódica e se possível abaixo do nível mínimo do reservatório (escorva).

**Lembre-se a vazão que deixa uma bomba alimenta a outra, logo, não tem como a associação aumentar a vazão e sim a carga ou altura monométrica**

## ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS

H(m)



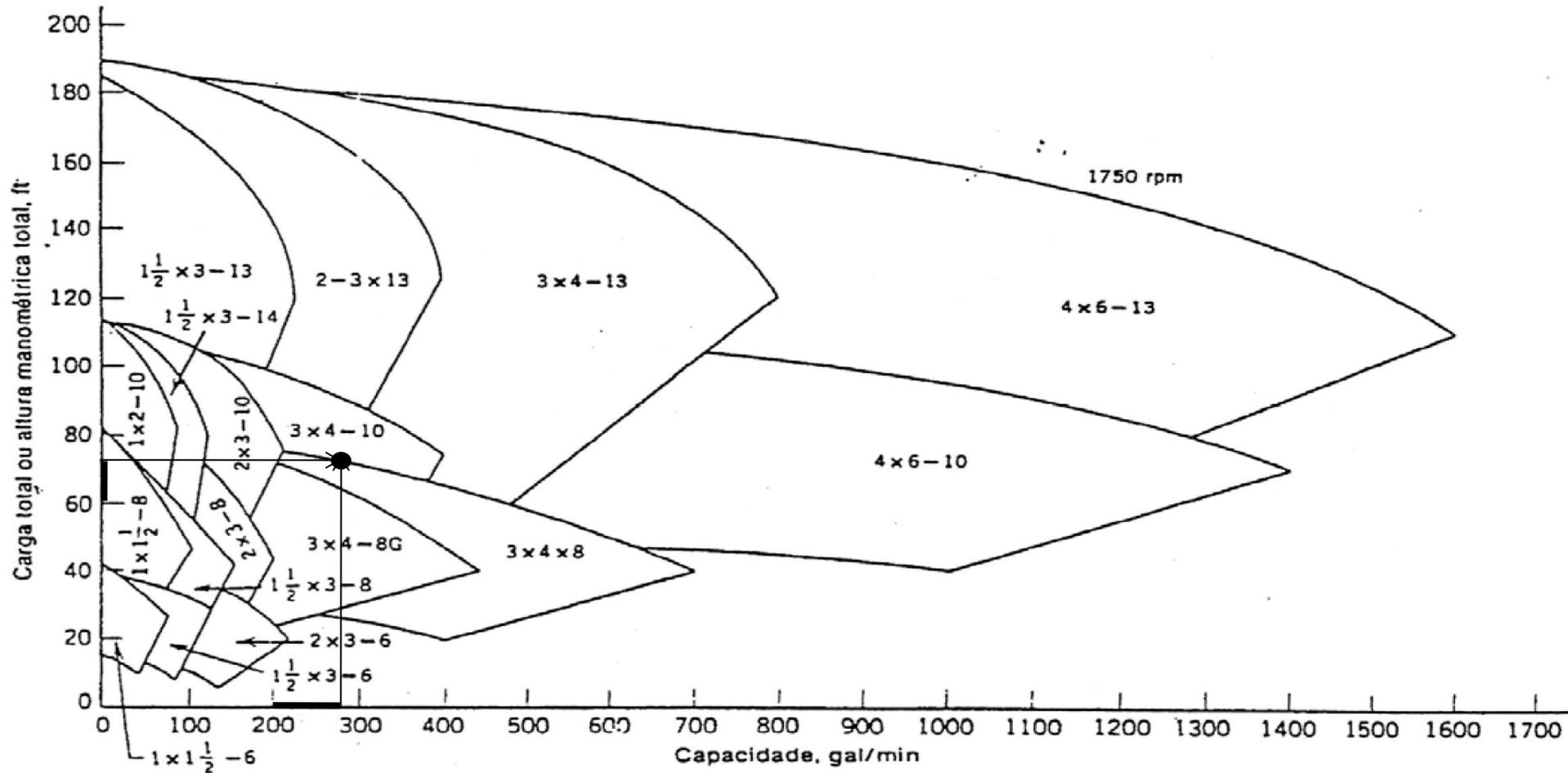
Fonte: IPH/UFRGS/DHH  
IPH01102



# BOMBAS

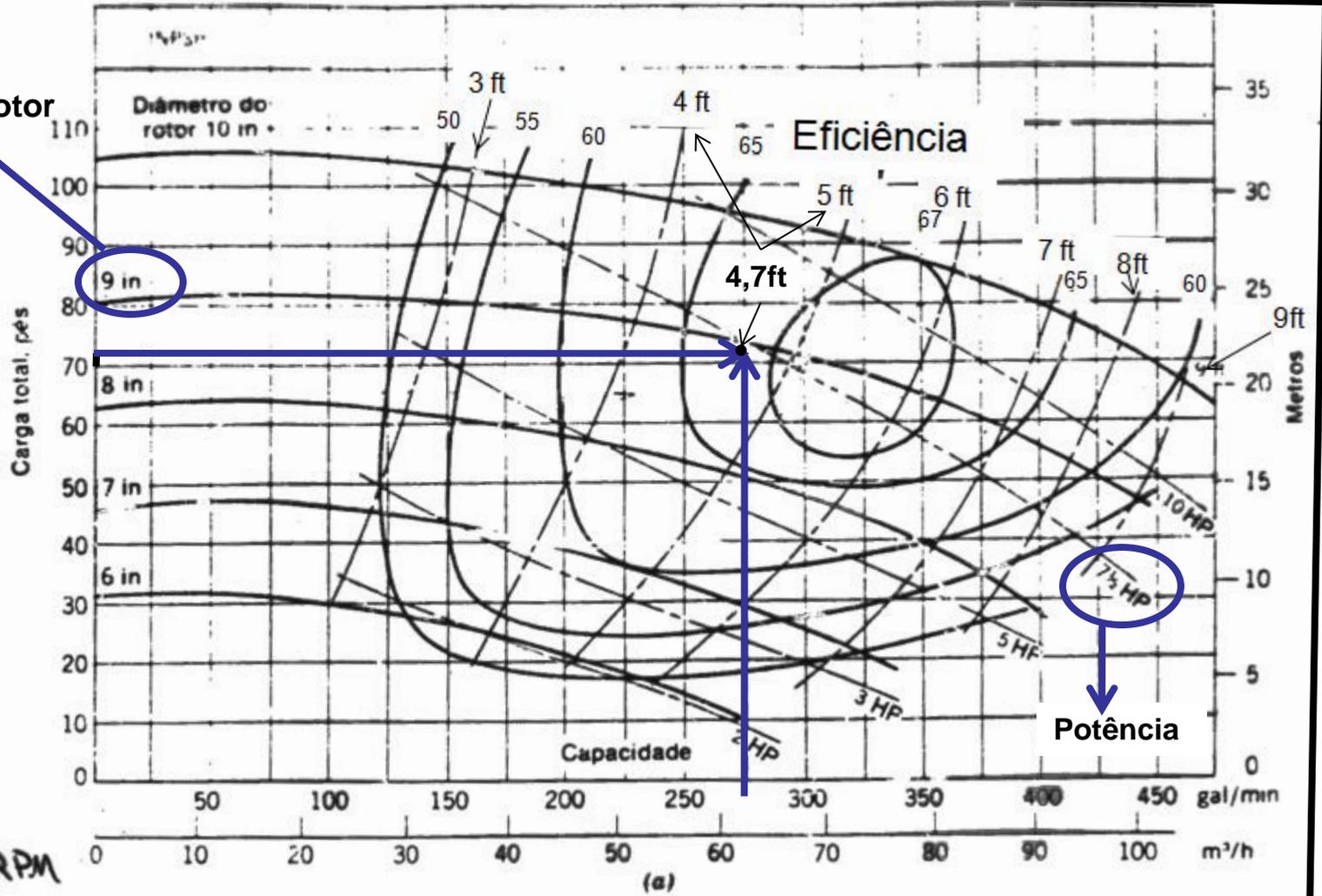


Ex: É necessário bombear um líquido com as propriedades semelhantes às da água, a uma vazão de 275 gal/min contra uma altura manométrica de 72 ft. Especificar a bomba.





Diâmetro do rotor  
Modelo  
3x4-10



1750RPM

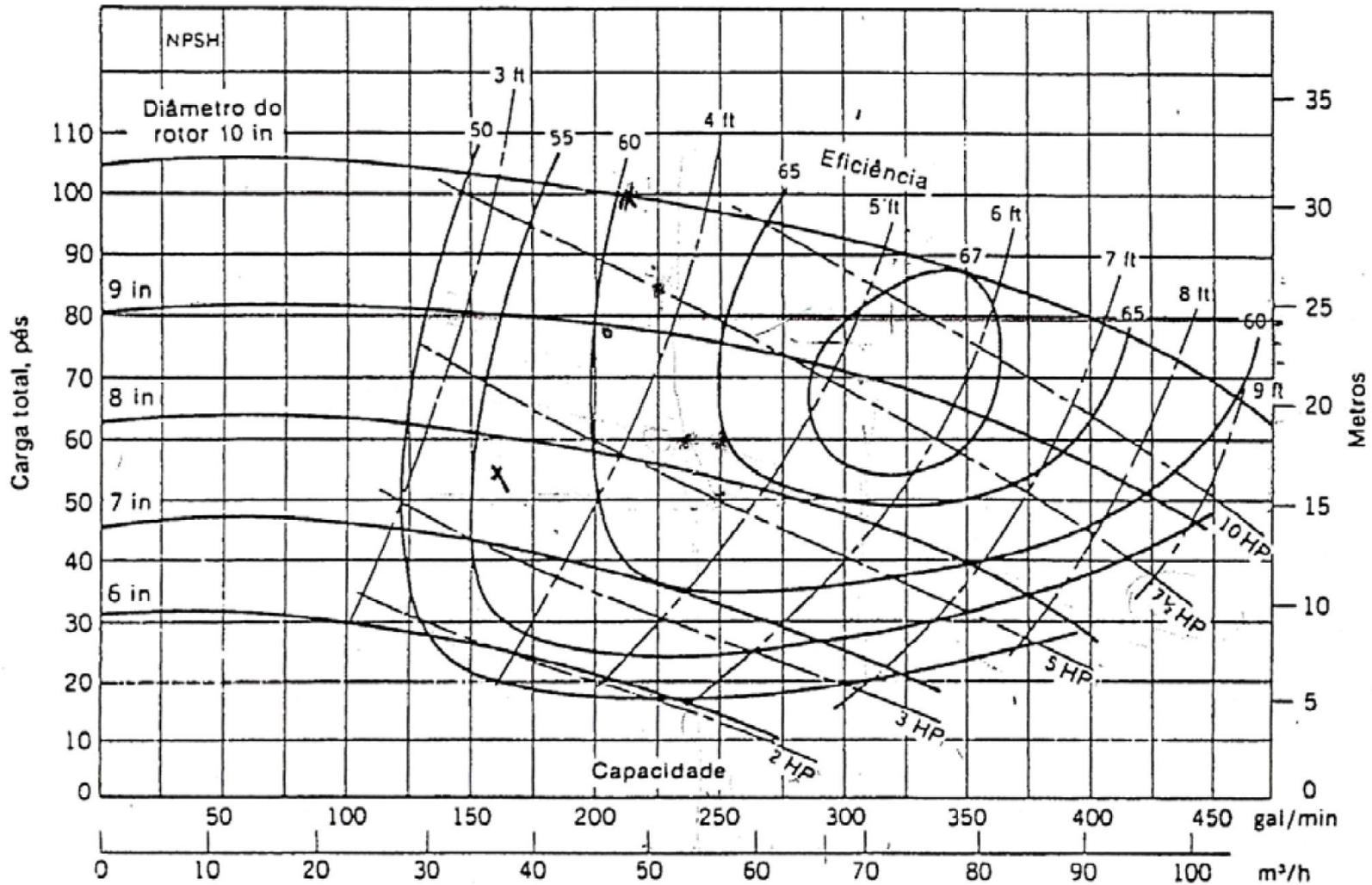


Figura A.16.2 - Modelo (tamanho) 3 x 4-10, da Goulds Pumps, Inc. a 1750 rpm<sup>9</sup>



# OPERAÇÕES UNITÁRIAS-1

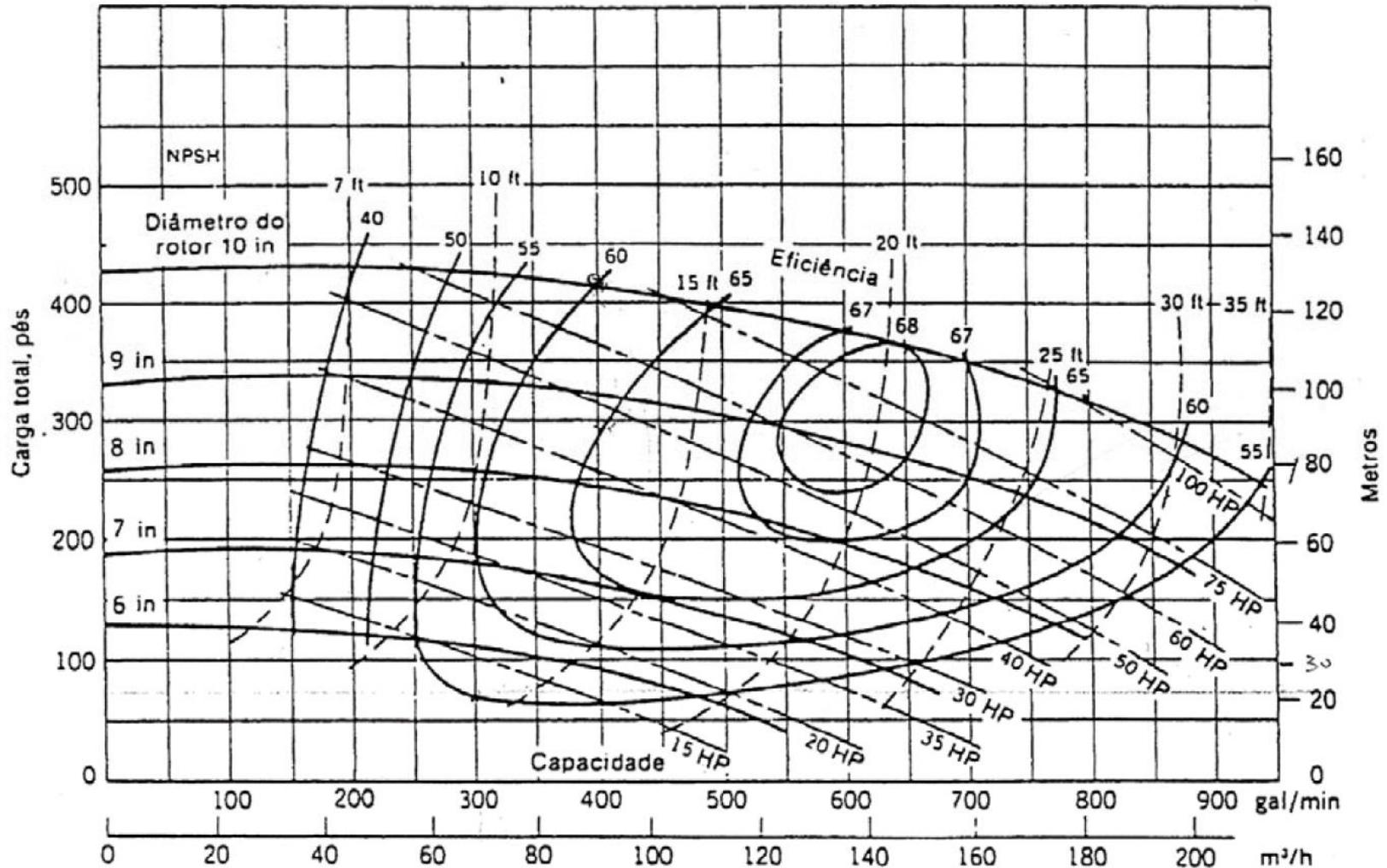


Figura A.16.3 - Modelo (tamanho) 3 x 4-10, da Goulds Pumps, Inc. a 3550 rpm<sup>9</sup>.



# BOMBAS

## Resposta:

Modelo de bomba: 3x4 -10

O 1º número é o diâmetro da linha de descarga: 3 in

O 2º número é o diâmetro da linha de sucção: 4 in

O 3º número é o diâmetro máximo do rotor: 10 in

Diâmetro do rotor lido na curva característica da bomba: 9 in

Eficiência 66%

$NPSH_r = 4,7$  ft

Potência =  $7 \frac{1}{2}$  hp    mostre que a potência vale 7,5 hp → use as informações dadas para calcular.



# BOMBAS



**Necessita-se de uma bomba para operar nas seguintes condições de serviços.**

**Vazão: 300 gal/min**

**Carga= 70ft**

**$NPSH_d=7ft$**

**No almoxarifado existe uma bomba em estoque, sem uso, com os seguintes dados da placa:**

**Modelo: 3x4-10**

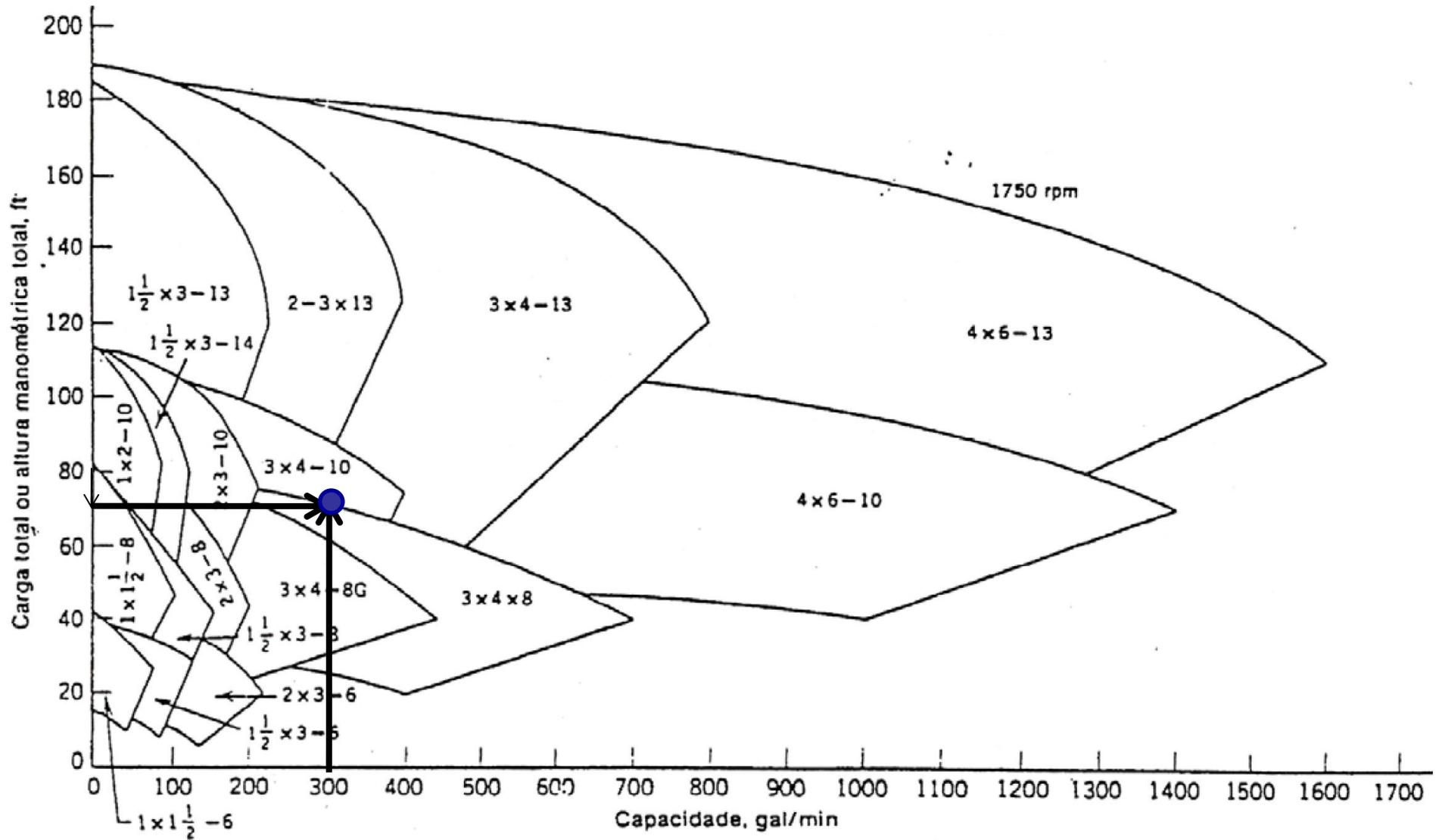
**Vazão: 175 gal/min**

**$D_{rotor}$ : 8 in**

**Potência: 5 hp**

**1750 rpm**

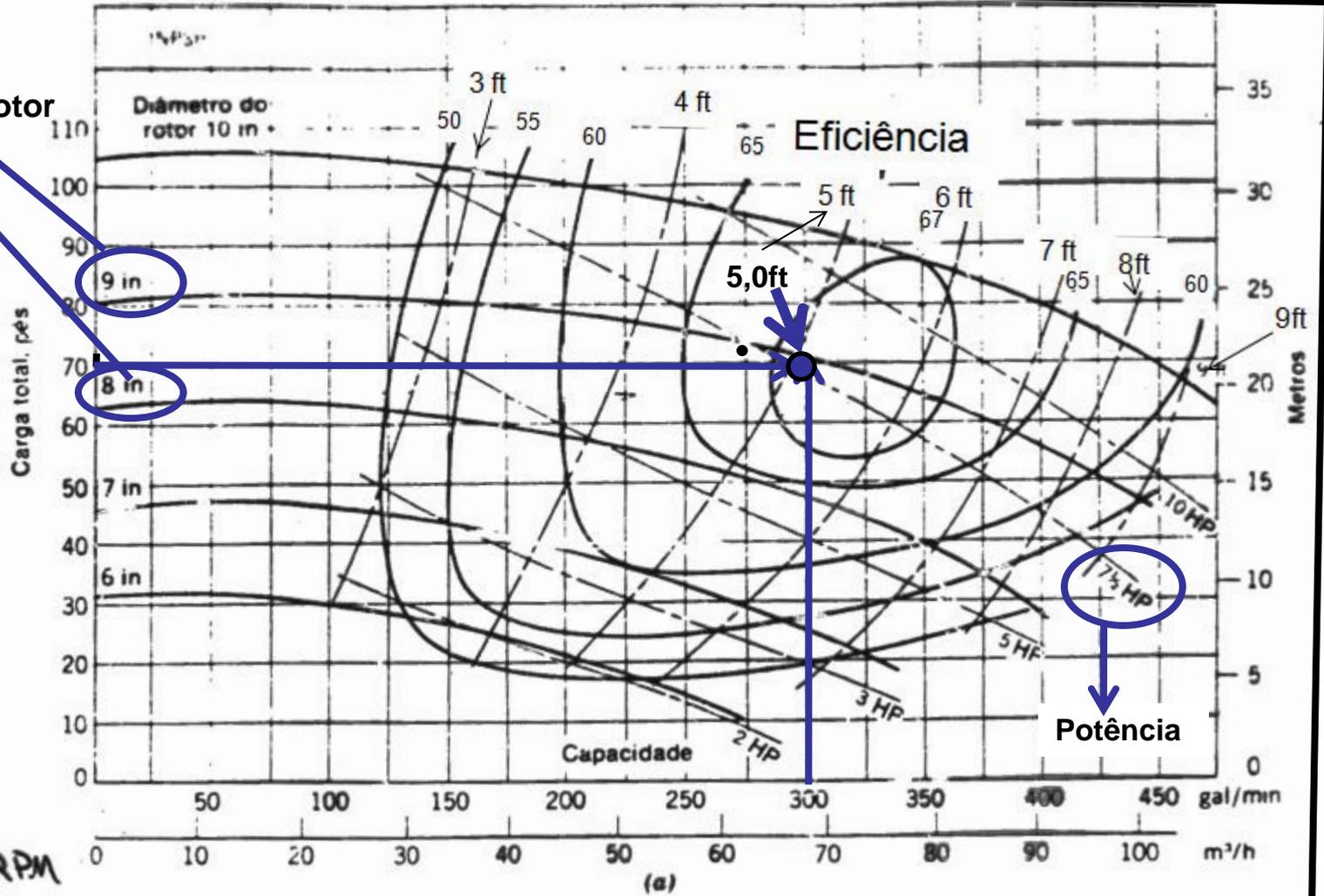
**Pergunta-se esta bomba poderá ser usada nesta nova condição de serviço?**





Diâmetro do rotor  
Modelo  
3x4-10

1750RPM





# BOMBAS



Necessita-se de uma bomba para operar nas seguintes condições de serviços.

Vazão: 300 gal/min

Carga= 70ft

$NPSH_d=7ft$

No almoxarifado existe uma bomba em estoque, sem uso, com os seguintes dados da placa:

Modelo: 3x4-10

Vazão: 175 gal/min

$D_{rotor}$ : 8 in

Potência: 5 hp

1750 rpm

Pergunta-se esta bomba poderá ser usada nesta nova condição de serviço?

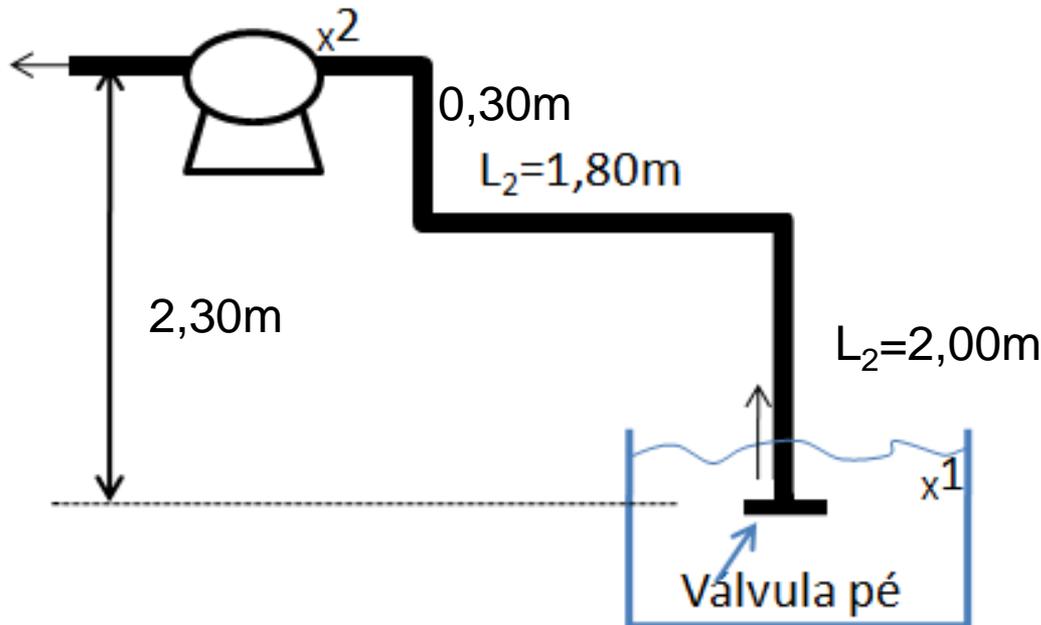
Na curva característica para 300 gal/min e 70 ft, a bomba precisaria de um rotor de diâmetro com 9 in, um motor de 10 hp (por pouco poderia-se optar pela bomba de  $7 \frac{1}{2}$  hp) e um  $NPSH_r=5ft$ .  $NPSH_d=7ft > NPSH_r=5ft$  para este requisito ok! Porém, seria necessário adquirir um novo rotor e motor.



# Capítulo VII – Dimensionamento de Tubulações

## 1 - Cálculo de uma linha de sucção .

Ex: Dimensionar o diâmetro da tubulação de sucção (aço-galvanizado) de uma bomba como mostra a Figura abaixo:



Vazão máxima=540 L/min  
Bocal de sucção da bomba=2,5in  
Líquido bombeado: gasolina  
Peso específico=790 kgf/m<sup>3</sup>  
Viscosidade cinemática=  $6 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s  
Pressão de vapor= 3520 kgf/m<sup>2</sup>  
NPSH<sub>r</sub>=1,9m (tirado da curva característica da bomba)  
Tubulação aço galvanizado ( $\epsilon/D=0,0015$ )

Obs: arbitrar um diâmetro de 4 in, posteriormente avaliar a escolha e se necessário sugerir outro diâmetro.



# Dimensionamento de Tubulações

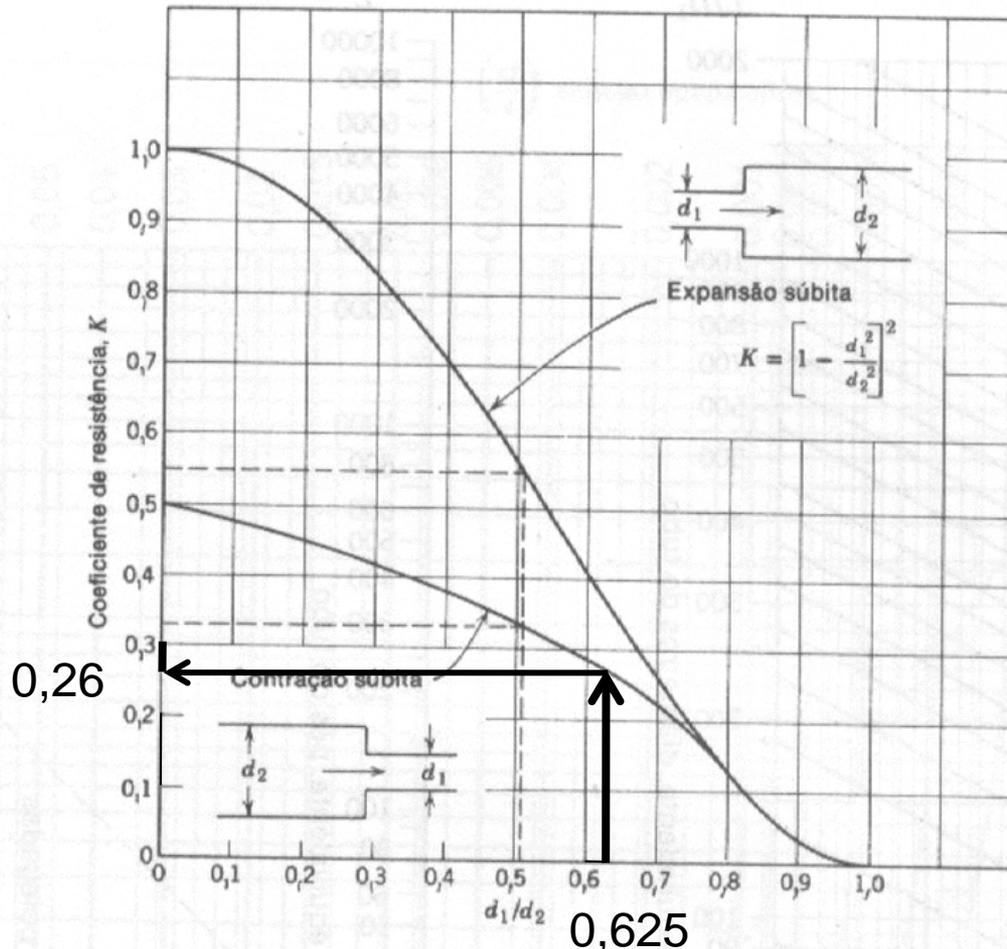
APÊNDICE C

**Solução - Perda nos acessórios**

Apêndice C-2b Resistência provocada por expansões ou contrações súbitas

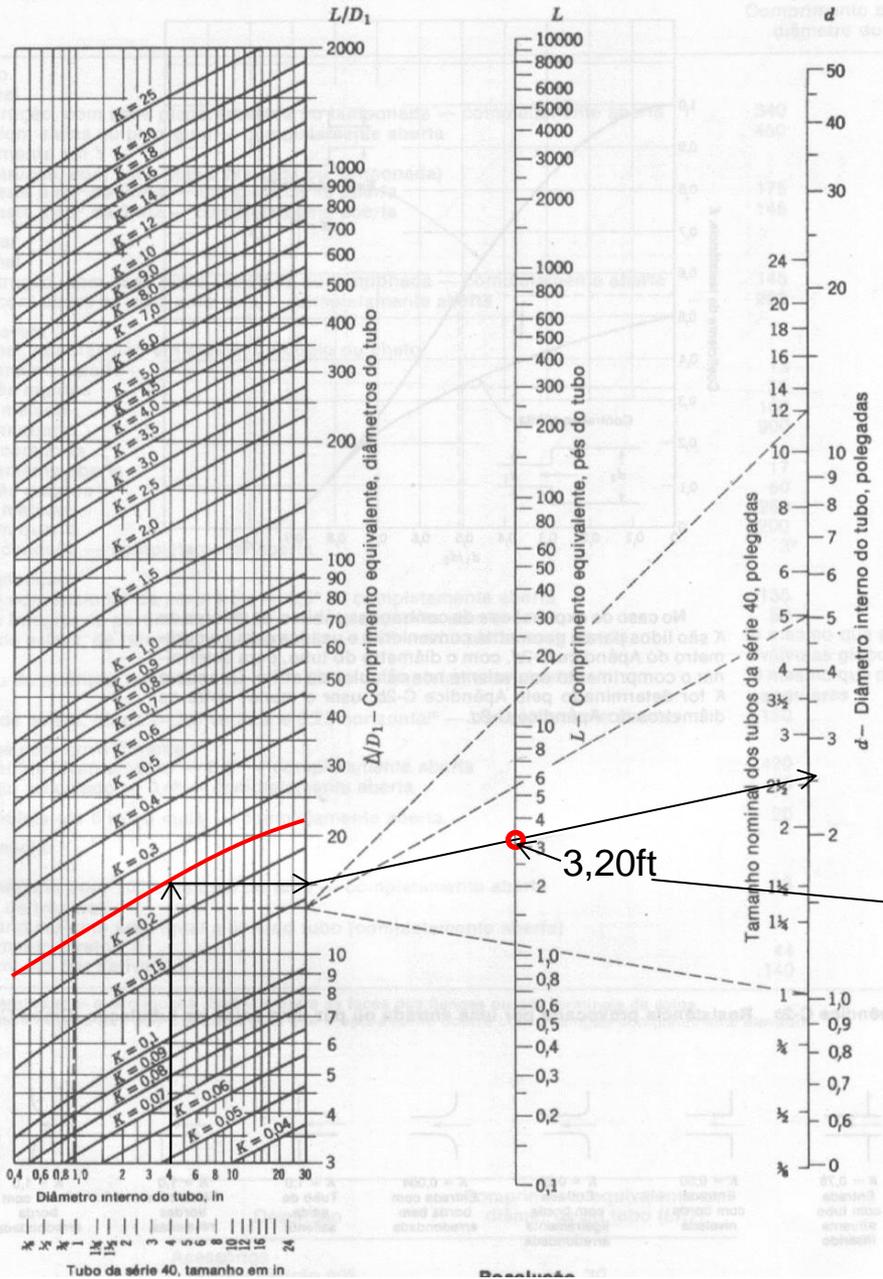
Foust *et al* ; Princípios das Operações Unitárias; Guanabara Dois, 1982, 670 p.

Redução de 4in para 2,5 in



No caso de expansões e de contrações súbitas, os valores de  $K$  são lidos para a geometria conveniente e usados como o parâmetro do Apêndice C-2d, com o diâmetro do tubo, para determinar o comprimento equivalente nos cálculos de atrito. Quando o  $K$  for determinado pelo Apêndice C-2b, usar o menor entre os diâmetros do Apêndice C-2d.

$$2,5/4=0,625$$



## Solução - Perda nos acessórios

Foust *et all* ; Princípios das Operações Unitárias; Guanabara Dois, 1982, 670 p.

Tubo da série 40, tamanho em in

Resolução				
Tamanho da válvula	1 in	5 in	12 in	Ver
Comprimento equivalente, diâmetro do tubo	13	13	13	Ap. C-2a
Comprimento equivalente, pés de tubo série 40	1,1	5,5	13	Retas tracejadas no nomograma
Fator de resistência $K$ , com base no tubo série 40	0,30	0,20	0,17	

**PROBLEMA**

Calcular o comprimento equivalente, em diâmetros do tubo e em pés, para o tubo da série 40, e o fator de resistência  $K$  para tubos de 1,5 e 12 in e válvulas de gaveta inteiramente abertas.

Aprox: 1m

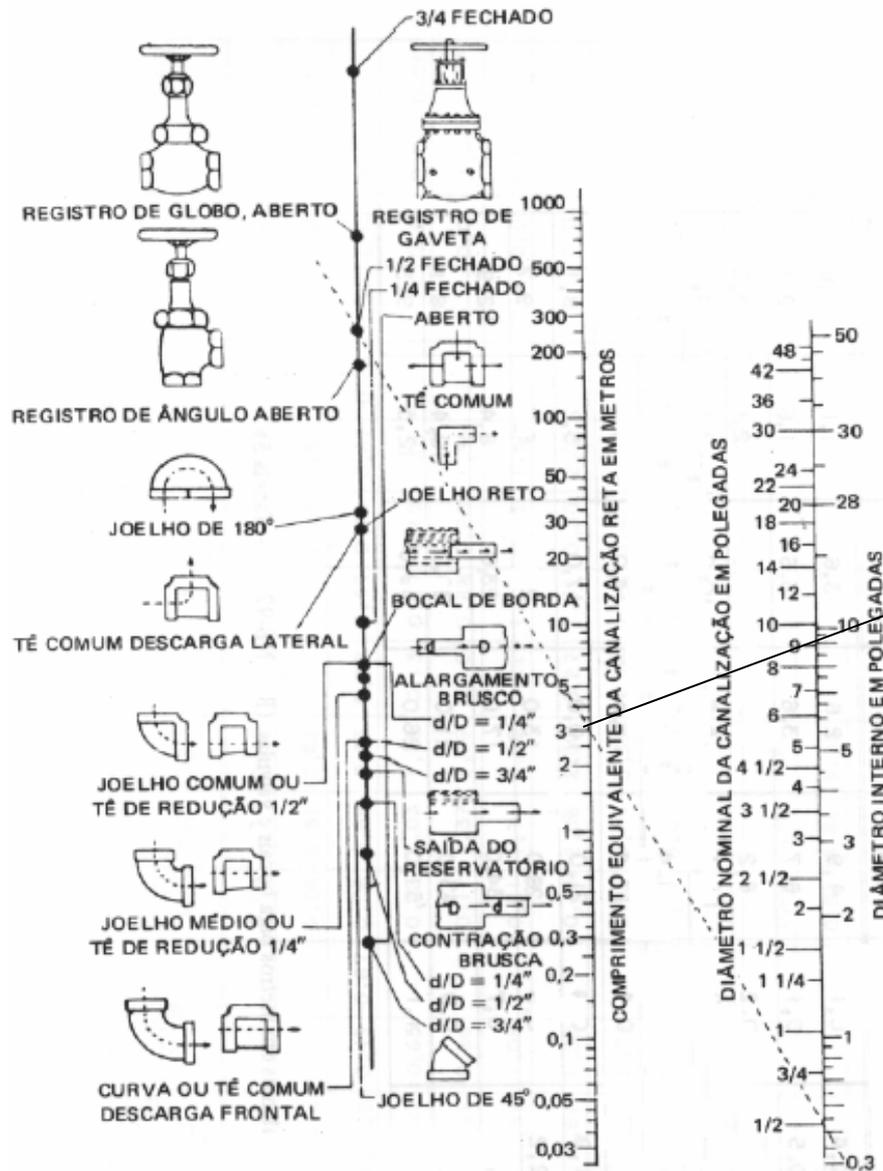
**Apêndice C-2a Comprimentos equivalentes representativos, em diâmetros do tubo,  
de diversas válvulas e acessórios (Crane Co.)**

Descrição	Comprimento equivalente em diâmetro do tubo (L/D)
<b>Válvulas globo</b>	
Convencional	
Sem obstrução, com sede plana, biselada ou tamponada — completamente aberta	340
Tampão com aletas ou pino guia — completamente aberta	450
Com escoamento em Y	
(Sem obstrução, com sede plana, biselada ou tamponada)	
Com haste a 60° da linha — completamente aberta	175
Com haste a 45° da linha — completamente aberta	145
<b>Válvula angular</b>	
Convencional	
Sem obstrução, com sede plana, biselada ou tamponada — completamente aberta	145
Tampão com aletas ou com pino guia — completamente aberta	200
<b>Válvulas de gaveta</b>	
Convencional, com tampão em cunha, ou duplo ou chato	
Completamente aberta	13
Aberta três quartos	35
Aberta a metade	160
Aberta um quarto	900
<b>Válvula de comporta</b>	
Completamente aberta	17
Aberta três quartos	50
Aberta a metade	260
Aberta um quarto	1200
Válvula de conduíte — completamente aberta	3 <sup>a</sup>
<b>Válvulas de retenção</b>	
Articulação convencional da portinhola — 0,5 <sup>b</sup> — completamente aberta	135
Articulação integral da portinhola — 0,5 <sup>b</sup> — completamente aberta	50
Retenção, de esfera, de retenção e fechamento — 2,0 <sup>b</sup> — completamente aberta	O mesmo que para as válvulas globo
Angular, ou de retenção e fechamento — 2,0 <sup>b</sup> — completamente aberta	O mesmo que para as válvulas angulares
Retenção, de esfera, direta — 2,5 vertical e 0,25 horizontal <sup>b</sup> — completamente aberta	150
<b>Válvulas de pé com crivo filtrante</b>	
Com tampão de levantamento — 0,3 <sup>o</sup> — completamente aberta	420
Com tampão articulado — 0,4 <sup>b</sup> — completamente aberta	75
Válvulas borboleta (de 6 in ou mais) — completamente aberta	20
<b>Válvulas de macho</b>	
Retilíneas	
Furo retangular com 100% da área do tubo — completamente aberta	18
<b>Válvulas de três vias</b>	
Furo retangular com área igual a 80% do tubo (completamente aberta)	
Escoamento direto	44
Escoamento por derivação	140

<sup>a</sup>Comprimento equivalente exato igual à distância entre as faces dos flanges ou dos terminais de solda.

<sup>b</sup>Queda de pressão mínima (em psi) calculada para que o escoamento ocorra com o tampão completamente elevado.

Descrição	Comprimento equivalente em diâmetros do tubo (L/D)
<b>Acessórios</b>	
Joelho padrão 90°	30
Joelho padrão 45°	16
Curva de raio grande 90°	20
Junta rosqueada 90°	50
Junta rosqueada 45°	26
Junta angular 90°	57
<b>Peça em T normal</b>	
Escoamento direto	20
Escoamento pela ramificação	60
Curva de retorno em gomos	50



*Exemplo.* A linha pontilhada determina que a resistência oposta à passagem de água por um registro de gaveta 1/2 fechado de 1/2" é equivalente a 3,00 m de canalização reta do mesmo diâmetro.

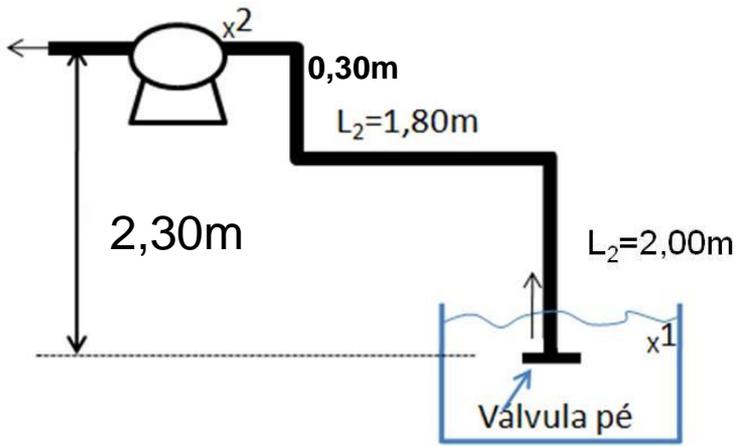
3m

*Nota.* Para alargamento de contrações bruscas, usar sempre o diâmetro menor *d* na escala dos diâmetros.



# Capítulo VII – Dimensionamento de Tubulações

## Solução - Primeiro passo: cálculo do comprimento equivalente



Arbitrar um diâmetro: 4 in

1 redução de 4in para 2,5 in	1,00m
3 joelhos de 90° (L/D=30)	9,15m
1 válvula de retenção (pé) (L/D=75)	7,60m
Soma dos trechos retos	<u>4,10m</u>
	21,85m

Vazão máxima=540 L/min

Bocal de sucção da bomba=2,5in

Líquido bombeado: gasolina

Peso específico=790 kgf/m<sup>3</sup>

Viscosidade cinemática=  $6 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

Pressão de vapor= 3520 kgf/m<sup>2</sup>

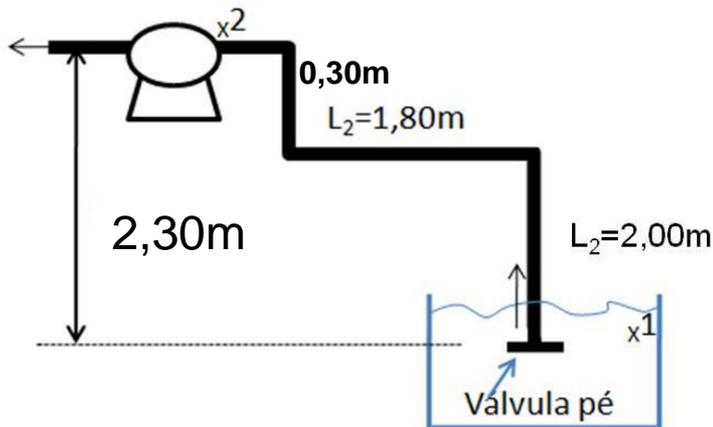
NPSH<sub>r</sub>=1,9m (tirado da curva característica da bomba)

Tubulação aço galvanizado ( $\epsilon/D=0,0015$ )



# Dimensionamento de Tubulações

## Solução - Segundo passo: cálculo do Reynolds



Arbitrar um diâmetro: 4 in

Cálculo do Reynolds:

$$D = 4 \text{ in} \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ in}} = 0,102 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{540 \frac{\text{L}}{\text{min}} \frac{\text{m}^3}{10^3 \text{ L}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}}{3,1415 \left( \frac{0,102^2}{4} \right) \text{ m}^2} = 1,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \rightarrow \frac{\mu}{\rho} = 6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \Rightarrow Re = \frac{0,102 \times 1,10}{6 \cdot 10^{-6}} = 18700$$

Vazão máxima=540 L/min

Bocal de sucção da bomba=2,5in

Líquido bombeado: gasolina

Peso específico=790 kgf/m<sup>3</sup>

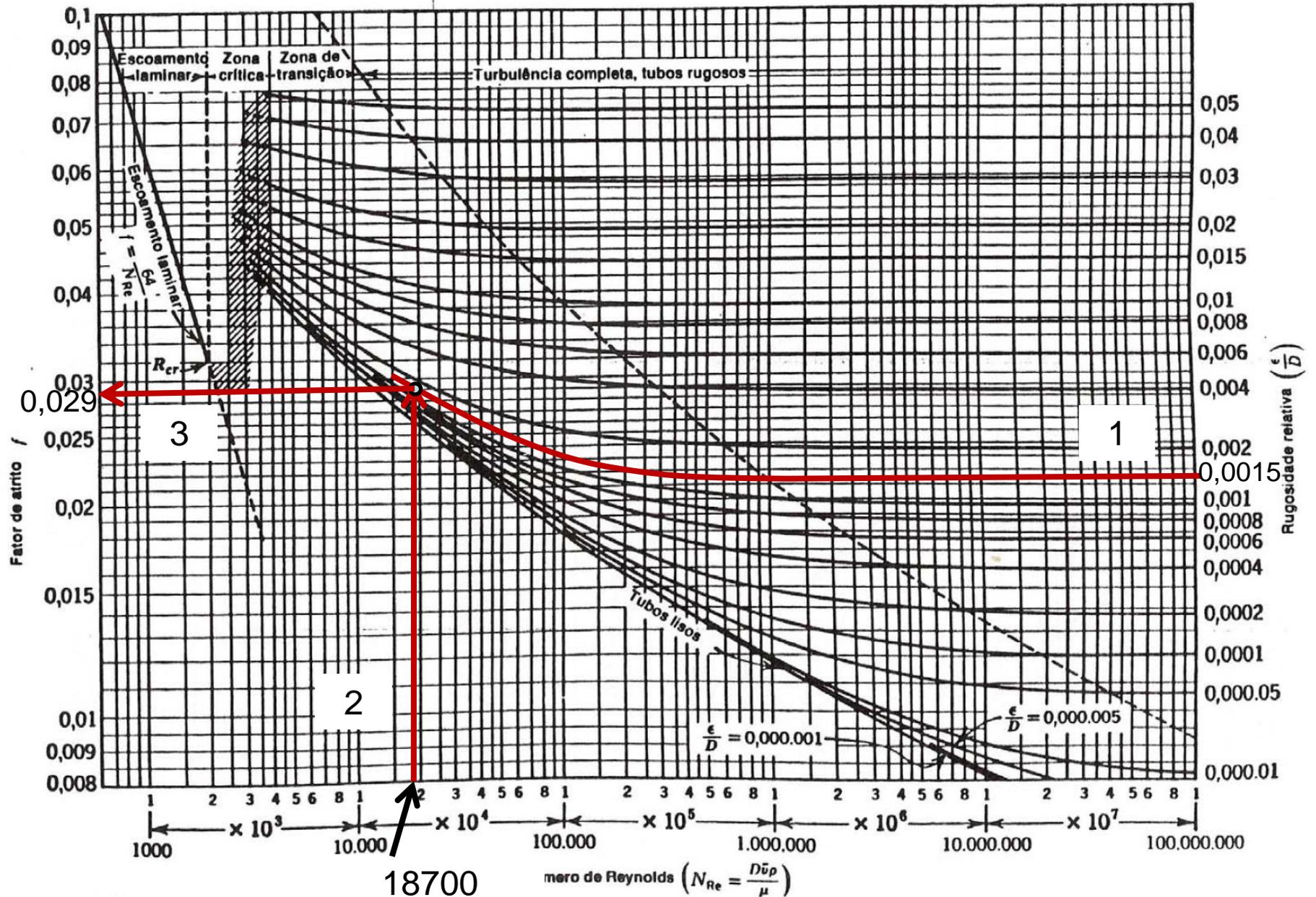
Viscosidade cinemática= 6.10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

Pressão de vapor= 3520 kgf/m<sup>2</sup>

NPSH<sub>r</sub>=1,9m (tirado da curva característica da bomba)

Tubulação aço galvanizado (ε/D=0,0015)

**O próximo passo é fazer a leitura no diagrama de moody. Neste encontraremos o valor de 0,029 para o fator de atrito *f*.**





# Dimensionamento de Tubulações

Cálculo da perda de carga:

Para tubulações industriais, a equação mais utilizada para o cálculo da perda de carga é a de Darcy (ou fórmula universal), válida para qualquer líquido.

$$h_f = \frac{fL_{eq} v^2}{2Dg} = \frac{0,029 \times 21,85 \times 1,10^2}{2 \times 0,102 \times 9,81} = 0,383m$$

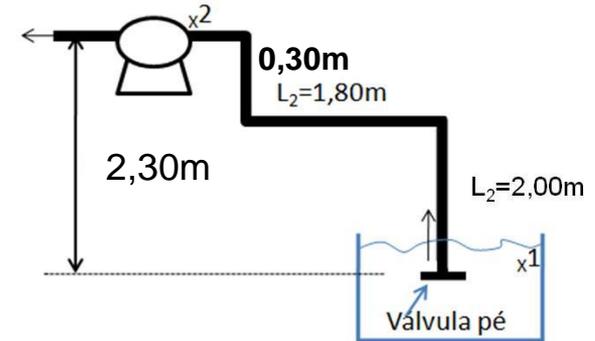
Bomba não afogada:

$$NPSH_d = \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - Z_2 - h_f \right) - \frac{P_v}{\gamma}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} \times \frac{10330 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}}{1 \text{ atm}} = 10330 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$NPSH_d = \left( \frac{10330}{790} + \frac{v_1^2}{2g} - 2,3 - 0,383 \right) - \frac{3520}{790} = 5,94m$$

Portanto:  $NPSH_d > NPSH_r$  OK!!!!!!!!!!!! - Calcular com 3in de diâmetro solução mais econômica (verificar os riscos desta escolha).



Vazão máxima=540 L/min

Bocal de sucção da bomba=2,5in

Líquido bombeado: gasolina

Peso específico=790 kgf/m<sup>3</sup>

Viscosidade cinemática= 6.10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

Pressão de vapor= 3520 kgf/m<sup>2</sup>

$NPSH_r=1,9m$  (curva característica da bomba)

Tubulação aço galvanizado ( $\epsilon/D=0,0015$ )



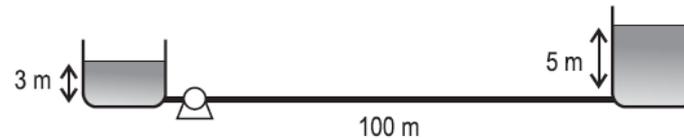
# Dimensionamento de Tubulações



**ENGENHEIRO(A) DE PROCESSAMENTO JÚNIOR**

52

Uma instalação hidráulica deve ser construída para transportar  $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$  de água (massa específica =  $1\,000 \text{ kg/m}^3$ ) entre dois tanques, distantes  $100 \text{ m}$  um do outro, através de uma tubulação com  $100 \text{ mm}$  de diâmetro, conforme a figura abaixo.



Nas condições do sistema, o fator de atrito de Darcy correspondente ao escoamento pode ser estimado como  $0,02$ . Considerando-se a aceleração da gravidade como  $10 \text{ m/s}^2$ , a relação entre o comprimento e o diâmetro da circunferência ( $\pi$ ) como  $3$  e desprezando-se as perdas de carga localizadas, a potência mínima de uma bomba, com eficiência de  $75\%$ , necessária para essa instalação é aproximadamente igual a

- (A) 6 W
- (B) 675 W
- (C) 900 W
- (D) 1 200 W
- (E) 60 000 W



# Dimensionamento de Tubulações



**ENGENHEIRO(A) DE PROCESSAMENTO JÚNIOR**

53

Em uma refinaria, uma bomba será responsável por transportar água ( $1\ 000\ \text{kg/m}^3$ ) entre duas lagoas de aeração, ao longo de uma tubulação de 90 m de comprimento e 100 mm de diâmetro. Não há diferença de elevação entre os pontos de captação e descarga da água. No escoamento, através da tubulação, o fator de atrito de Darcy pode ser estimado como 0,02. Para executar essa tarefa, está sendo avaliada a possibilidade da utilização de uma bomba com a seguinte curva característica:

$$H(q) = -5\ 000q^2 - 100q + 7$$

onde  $H$  é a carga hidráulica em metros e  $q$  é a vazão volumétrica em  $\text{m}^3/\text{s}$ . Considerando-se a aceleração da gravidade como  $10\ \text{m/s}^2$ , a relação entre o comprimento e o diâmetro da circunferência ( $\pi$ ) como 3 e desprezando-se as perdas de carga localizadas, a vazão de operação do sistema corresponderá à solução da seguinte equação algébrica:

- (A)  $-5\ 000q^2 - 100q + 23 = 0$
- (B)  $-5\ 000q^2 - 16000q + 7 = 0$
- (C)  $-5\ 000q^2 - 100q + 7 = 0$
- (D)  $-21\ 000q^2 - 100q + 7 = 0$
- (E)  $11\ 000q^2 - 100q + 7 = 0$



# Dimensionamento de Tubulações



**ENGENHEIRO(A) DE PROCESSAMENTO JÚNIOR**

**54**

Caso uma bomba em operação sofra cavitação, uma das medidas que deve ser adotada para corrigir o problema é

- (A) aumentar o nível de líquido no reservatório que alimenta a bomba.
- (B) aumentar a velocidade de rotação da bomba.
- (C) deslocar a bomba para um ponto mais distante do reservatório de alimentação.
- (D) instalar uma camada de isolamento térmico na linha de descarga da bomba.
- (E) reduzir o diâmetro da tubulação.