

1 INTRODUÇÃO

As bombas centrífugas tem papel preponderante nas embarcações, pois são responsáveis pela transferência de diversos fluidos a bordo. Elas possuem peças móveis que sofrem desgaste natural, dessa forma falhas de operação e manutenção podem provocar desgastes prematuros, parada do equipamento e aumento dos custos de manutenção. A observância dos procedimentos de operação indicadas no manual do fabricante e uma correta manutenção e acompanhamento dos equipamentos em operação irão reduzir os gastos com a manutenção. Importante, também, fazer uma análise de falhas durante a manutenção para criar histórico de falhas e aperfeiçoar o processo. Além da aplicação marítima as bombas centrífugas são amplamente usadas em sistemas de irrigação, drenagem, termoelétricas, centrais de refrigeração, indústria têxtil, petrolífera, química, petroquímica, mineração, combate a incêndio entre outras aplicações.

2 CONCEITOS INICIAIS

Bomba é um equipamento que transfere energia de uma determinada fonte para um líquido, em consequência este líquido pode deslocar-se de um ponto para outro e vencer desnível. São máquinas que transformam o trabalho mecânico recebido de fonte externa em energia de pressão ou em energias de pressão e velocidade, transferindo-as para um líquido, a fim de promover o seu escoamento. As bombas de uma maneira geral devem apresentar as seguintes características principais: 1) Resistência: estruturalmente adequadas para resistir aos esforços provenientes da operação (pressão, erosão, mecânicos). 2) Facilidade de operação: adaptáveis as mais usuais fontes de energia e que apresentem manutenção simplificada. 3) Alto rendimento: transforme a energia com o mínimo de perdas. 4) Economia: custos de aquisição e operação compatíveis com as condições de mercado.

2.1 Bombas centrífugas

É aquela que desenvolve a transformação de energia através do emprego de forças centrífugas promovendo o escoamento do líquido. Elas transformam o trabalho mecânico proveniente de fonte externa em energia cinética e de pressão, que são cedidas ao líquido. Seu emprego é cada vez mais aumentado devido sua flexibilidade operacional, baixo custo de manutenção e os mais altos progressos técnicos alcançados na sua fabricação. Além disso, são as mais adequadas para trabalhar com grandes vazões e pressões moderadas.

2.2 Classificações das bombas centrífugas

Podem ser classificadas segundo diversos critérios:

1) Segundo a posição do eixo: Bomba centrífuga horizontal, vertical ou inclinada. 2) Segundo ao número de rotores: Simples estágio (um rotor) e multiestágios (vários rotores). 3) Segundo a localização: Submersa e não-submersa. 4) Segundo o sentido do fluxo: Radial, axial ou misto.

2.3 Princípios de funcionamento

O líquido é direcionado para a parte central do rotor, entra em movimento de rotação e é impelido para a periferia do rotor pela ação da força centrífuga, adquirindo grande velocidade (figura 2.1 e 2.2). A seguir, percorre o contorno da carcaça onde parte dessa energia de velocidade é transformada em energia de pressão e é lançado para fora da bomba pelo bocal de descarga.

Figura2.1-Funcionamento

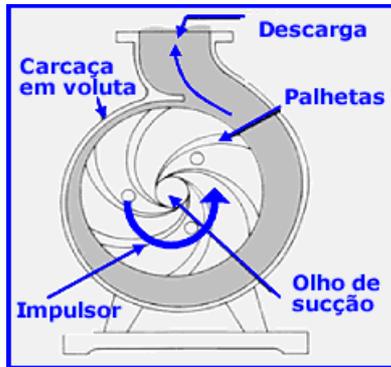
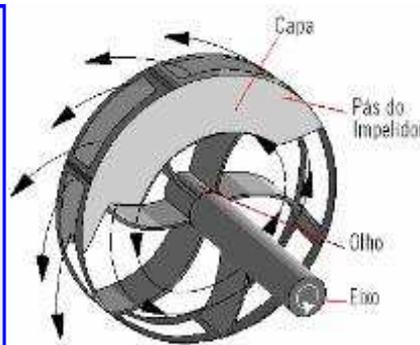


Figura2.2-Funcionamento



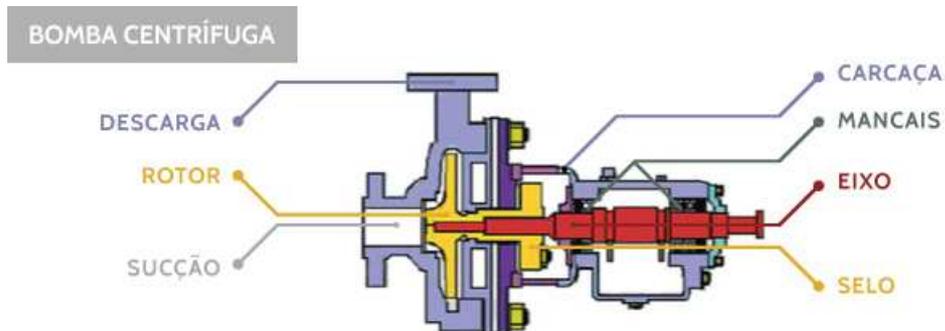
Fonte:www.ufrnet.brFonte:www.ebah.com.br

É criada uma zona de baixa pressão e uma zona de alta pressão devido à rotação do rotor, acoplado a uma fonte externa de energia (geralmente um motor elétrico), o líquido que se encontra entre as palhetas no interior do rotor é arrastado do centro para a periferia pelo efeito da força centrífuga. Produz-se assim uma depressão interna ao rotor, o que acarreta um fluxo vindo através da conexão de sucção.

3 PARTES DAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Para facilitar o conhecimento de uma máquina, pode-se adotar o recurso didático de dividi-la em partes. Faremos a seguir um estudo das principais partes da bomba centrífuga e da função de cada parte na bomba. Abaixo temos a figura 3.1 que mostra uma visão geral das partes de uma bomba centrífuga.

Figura 3-Visão geral



Fonte: <http://du-o-lap.com.br/noticias/?p=4>

3.1 Impelidor ou rotor

O impelidor proporciona alta velocidade na sucção, que se transforma em alta pressão na descarga e a vazão é dependente da pressão na descarga da bomba. Ao girar, por meio de um acionamento mecânico, o rotor cria uma depressão em sua região central provocando a aspiração do líquido, o impelidor tem a função básica de fornecer energia cinética e de pressão ao líquido. Os rotores podem se classificar quanto: A admissão de líquido: simples sucção e dupla sucção. Nos de simples sucção (figura 3.1) o líquido é admitido por apenas um lado, e nos de dupla sucção (figura 3.2) a admissão do líquido se processa por dois lados opostos.

Figura 3.1-Simples sucção

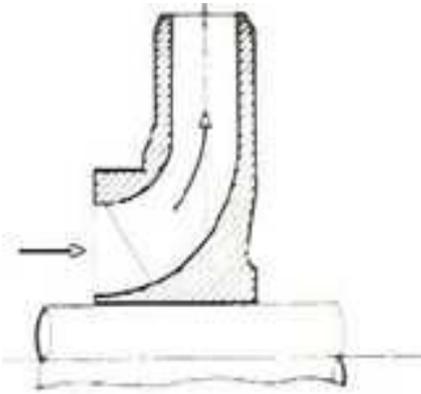
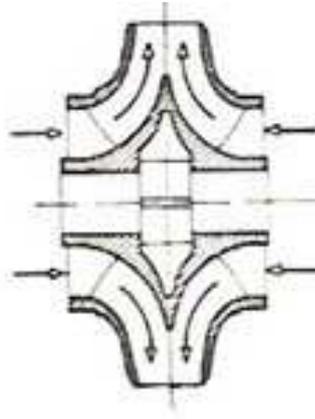


Figura 3.2-Dupla sucção



Fonte:<http://slideplayer.com.br/slide/1269012/>Fonte:<http://slideplayer.com.br/slide/1269012/>

Quanto as paredes do rotor: aberto(figura 3.3), semi-aberto(figura3.4) e fechado(figura3.5).

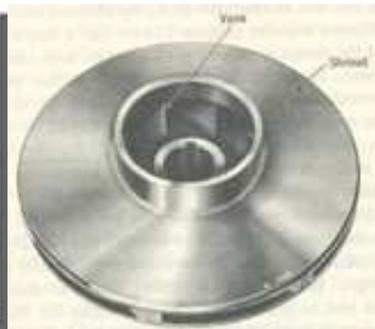
Figura 3.3-Aberto



Figura 3.4-Semi-aberto



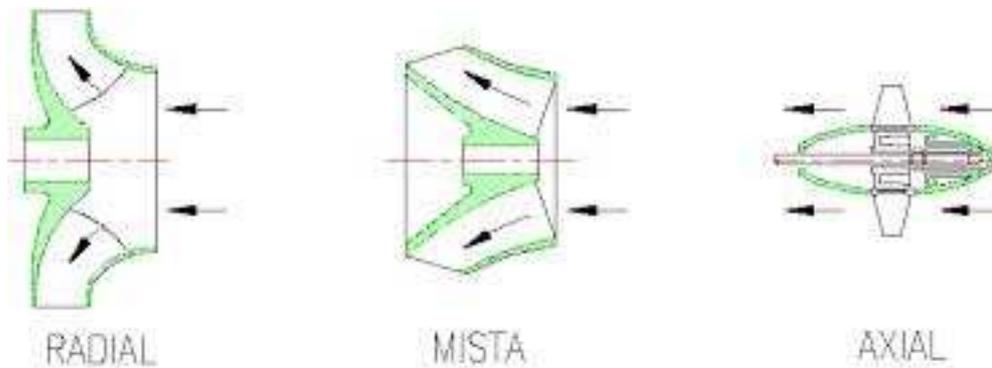
Figura 3.5-Fechado



Fonte:<http://slideplayer.com.br/slide/1269012/>

Quanto à direção de saída do líquido: axial, radial e misto (figura 3.6).

Figura 3.6-Direção do líquido



Fonte:http://dc147.4shared.com/doc/g_ajkMoH/preview.html

Existe um componente chamado indutor que pode ser instalado na parte frontal do impelidor e preso no eixo da bomba com a finalidade de melhorar a sucção da bomba centrífuga. É muito útil em casos de baixa pressão de sucção ou alta temperatura do líquido.

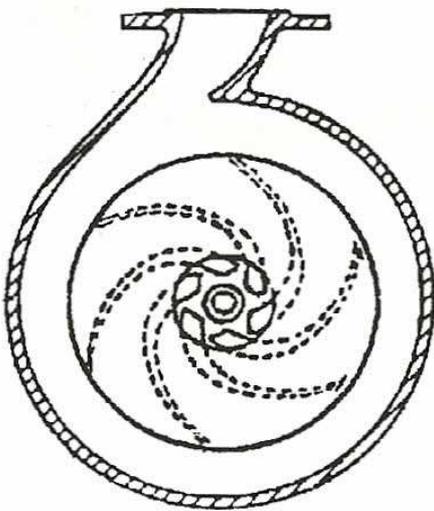
3.2 Carcaça

A carcaça é a parte da bomba onde, no seu interior, a energia de velocidade é transformada em energia de pressão, o que possibilita o líquido alcançar o ponto final do recalque. É no seu interior que está instalado o conjunto girante (eixo-rotor) que torna possível o bombeamento do líquido. A carcaça pode ser concêntrica, voluta, dupla voluta ou difusora.

3.2.1 Carcaça concêntrica

Possui forma circular com centro coincidente com o centro do rotor, apresenta seções iguais em quase toda a periferia do rotor. A figura 3.7 mostra um exemplo de carcaça concêntrica.

Figura 3.7- Carcaça concêntrica

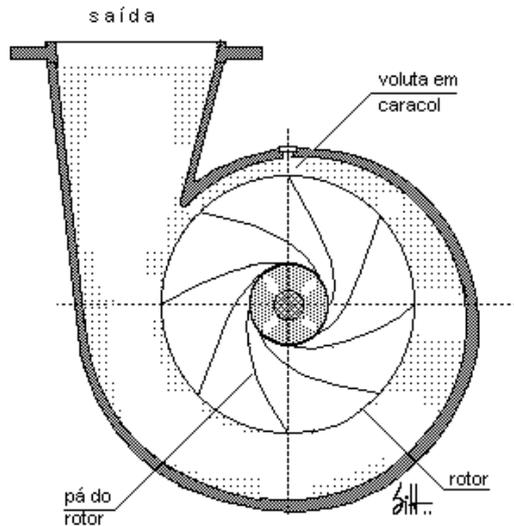


Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/361336/>

3.2.2 Carcaça Voluta

Possui formato de espiral e suas seções são crescentes em volta do rotor, é o tipo de carcaça mais usado para bombas de simples estágio devido seu baixo custo de fabricação e simplicidade. A figura 3.8 exemplifica uma carcaça tipo voluta.

Figura 3.8-Carcaça Voluta

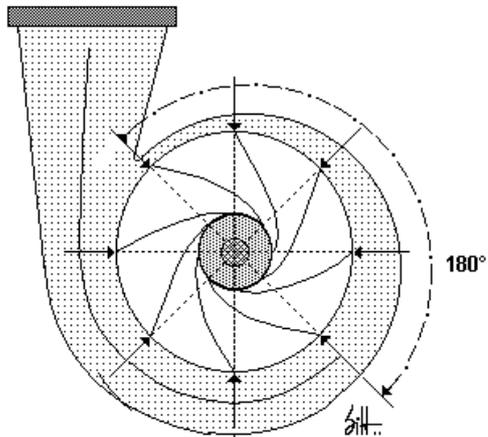


Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/361336/>

3.2.3 Carcaça dupla voluta

Apresenta como vantagem um pequeno empuxo radial, pois consiste de duas volutas simples defasadas 180° com parte do líquido passando externamente e a uma delas e se juntando no trecho da descarga da bomba. Podemos observar uma carcaça dupla voluta na figura 3.9.

Figura 3.9- Carcaça dupla voluta

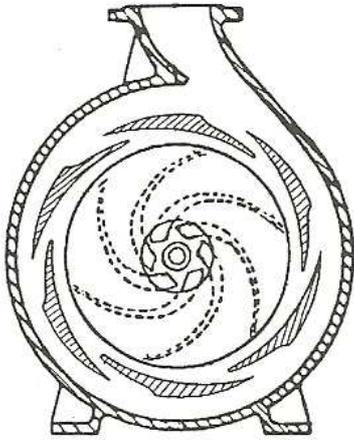


Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/361336/>

3.2.4 Carcaça difusora

Dotada de pás diretrizes estacionárias em seu interior recebe e direciona o líquido que abandona o rotor. O difusor pode ser comparado a diversas volutas de pequeno comprimento em volta do rotor. Esse tipo de carcaça não apresenta empuxo radial e normalmente é empregada em bombas de multiestágios para escoar o líquido de um rotor para o outro com velocidade reduzida e pouca perda de energia. Temos um exemplo de carcaça difusora na figura 3.10.

Figura 3.10-Carcaça difusora



CARCAÇA DIFUSORA

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

4 EIXO DA BOMBA

A função do eixo de uma bomba centrífuga é transmitir o torque de partida e durante a operação, enquanto apoia o impulsor e outras partes giratórias. Ele tem que fazer este trabalho com a menor deflexão possível.

Figura 3.11- Eixo da Bomba



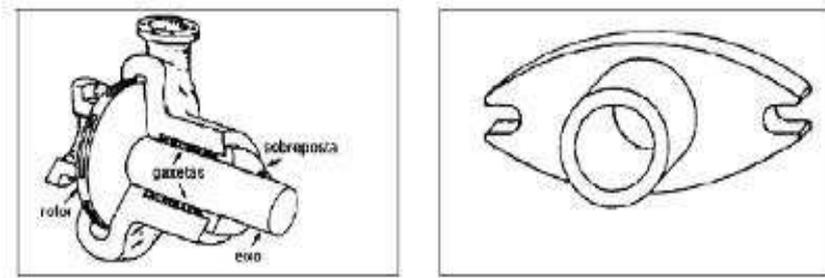
Fonte:<http://www.henrisold.com.br/site/galeria.php?pagina=galeria>

5 GAXETA E SELO MECÂNICO

Gaxetas são construídas de fios trançados de fibras vegetais (juta, rami, algodão), ou fibras sintéticas. De acordo com o fluido a ser bombeado, temperatura, pressão, ataque químico, etc., determina-se um ou outro tipo de gaxeta. A função das gaxetas varia com o desempenho da bomba, ou seja, se uma bomba opera com sucção negativa, sua função é prevenir a entrada de ar para dentro da bomba. Entretanto, se a pressão é acima da atmosférica, sua função é evitar vazamento para fora da bomba. Para bombas de serviços gerais, a caixa de gaxetas usualmente tem a forma de uma caixa cilíndrica que acomoda certo número de anéis de gaxeta em volta do eixo ou da luva protetora do eixo.

A gaxeta é comprimida para dar o ajuste desejado no eixo ou na luva protetora do eixo por um aperto na sobreposta. Vedações de eixo por gaxetas necessitam de um pequeno vazamento para garantir a lubrificação e a refrigeração na área de atrito das gaxetas como eixo ou coma luva protetora do eixo. Geralmente entre os anéis de gaxetas, faz-se a utilização de um anel lanterna. Sua utilização se faz necessária, quando, por exemplo, o líquido bombeado contiver sólidos em suspensão, que poderão se acumular e impedir a livre passagem de líquido e impedindo a lubrificação da gaxeta. Com isto, ocorrerá o desgaste excessivo no eixo e na gaxeta por atrito. Este sistema consiste na injeção de um líquido limpo na caixa de gaxetas. Este líquido chega até os anéis de gaxetas através de um anel perfurado chamado de anel de lanterna. Este líquido pode ser o próprio fluido bombeado injetado sobre o anel de lanterna por meio de furações internas ou por meio de uma derivação retirada da boca de descarga da bomba. A figura 5.1 ilustra a gaxeta montada no eixo da bomba e a sobreposta para aperto na gaxeta.

Figura 5.1-Gaxeta e sobreposta



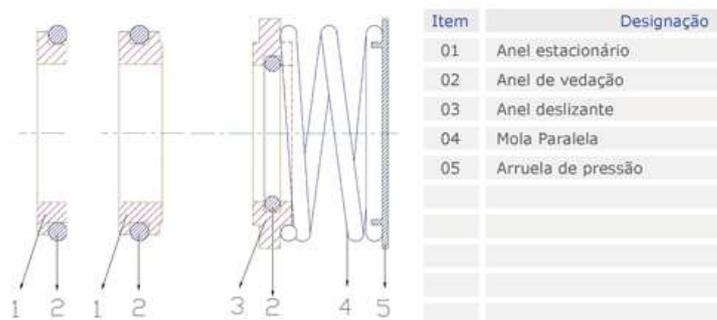
Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1269012/>

O selo mecânico tem a função de promover a selagem, com o propósito de evitar que o fluido seja emitido para o meio externo (atmosfera). Os selos mecânicos podem ser aplicados na maioria dos casos, pois possuem muitas vantagens em relação às gaxetas. Além disso, são indicados para casos onde os retentores convencionais (gaxetas) não podem ser aplicados, especialmente em casos de alta pressão, temperatura, velocidade e presenças de sólidos em suspensão. O selo mecânico consiste basicamente de um conjunto rotativo que é solidário ao movimento do eixo do equipamento e um conjunto estacionário. Nestes conjuntos sempre devem existir respectivamente as faces rotativa e estacionária juntamente com suas respectivas vedações secundárias. Outras peças do conjunto são mutáveis e variam de acordo com a concepção do projeto do selo mecânico.

As faces rotativa e estacionária encontram-se perpendiculares ao eixo e uma das faces é “empurrada” contra a outra através de mola única ou múltiplas molas. O contato axial estabelecido pela força exercida pela mola e a pressão do fluido atuante na caixa de selagem determinam o fechamento das faces realizando o que chamamos de vedação primária ou dinâmica, bloqueando a passagem do fluido para o eixo do equipamento. Já a vedação secundária ou estática é feita normalmente por anéis “O”, foles de borracha, cunhas em P.T.F.E., impedindo a passagem do fluido pelos interstícios do selo mecânico. Como o selo trabalha realizando um trabalho de vedação, grande parte dele encontra-se em contato com o fluido, desta forma na região de contato das faces ocorre a formação de um “filme líquido”. Este além de promover uma lubrificação entre as faces, diminuindo sensivelmente o atrito, ainda é responsável por obstruir a passagem do fluido. Devido ao movimento da face

rotativa em relação a estacionária o filme líquido tende a evaporar por efeito do aquecimento e com a sua evaporação outro filme líquido se forma e assim sucessivamente propiciando sempre uma lubrificação e vedação ao sistema. As figuras 5.2 e 5.3 ilustram o selo mecânico e suas partes.

Figura 5.2-Selo mecânico



Fonte: www.ultraseal.com.br

Figura5.3-Selo mecânico



Fonte: <http://www.vedacert.com.br/produto/selo-mecanico-vdj.html>

6 MANCAIS

Os mancais tem afunção primária de suportar o peso do conjunto girante, forças radiais e axiais que ocorrem durante a operação e função secundária de manter o conjunto rotativo na posição correta em relação às partes estacionárias das bombas. Os rolamentos são mancais que têm como princípio básico o movimento rolante de um elemento sobre o outro e possuem baixo coeficiente de atrito. São elementos de máquinas já padronizados que o construtor de bomba não projeta, mas apenas escolhe o tipo mais adequado.

7 FUNDAMENTOS HIDRÁULICOS

7.1 Cavitação e recirculação

A pressão absoluta ao longo de um filete líquido em escoamento decresce progressivamente devido às perdas de energia que ocorrem durante o percurso. Se a pressão de vapor for alcançada, surgirão nesses locais diversas bolhas provenientes do processo de vaporização. Essas bolhas, cheias de vapor do próprio líquido ou de gases nele dissolvidos, são arrastadas pelo fluxo para uma região de maior pressão onde se condensam bruscamente. Esse fenômeno chama-se cavitação. A palavra cavitação é derivada de "cavidade", cavidade formada no interior do líquido. O desaparecimento das bolhas devido à condensação brusca provoca sobrepressão elevada e ruído característico. A onda de sobrepressão propaga-se rapidamente indo atingir de forma violenta as paredes metálicas mais próximas. Devido ao choque nas paredes, partículas metálicas são desagregadas e arrancadas da superfície, deixando-a com um aspecto poroso. Tem-se uma erosão causada pela cavitação.

Os principais fatores que influenciam o surgimento da cavitação são: a) a temperatura do líquido; b) a concentração de gases dissolvidos no líquido; c) as impurezas sólidas em suspensão no líquido. Convém observar que as bolhas gasosas tanto surgem na cavitação como na vaporização convencional.

Entretanto há uma diferença fundamental das condições do líquido. Na cavitação, as bolhas nascem devido à redução de pressão, mantida a temperatura constante. Na vaporização convencional, as bolhas aparecem por causa do aumento da temperatura, enquanto a pressão permanece constante.

Recirculação nas bombas centrífugas é uma inversão do escoamento na entrada (sucção) ou na saída (descarga) das palhetas do rotor. Através de análises e testes, é possível determinar o tipo de escoamento que deve existir para que se produzam os resultados observados e prever o ponto de recirculação. Todos os rotores apresentam um ponto de recirculação na sucção e outro ponto de recirculação na descarga, ambos bem definidos e, dependendo do tamanho da velocidade da bomba, os efeitos de recirculação podem ser bastante danificadores não só com respeito à operação como também para a vida do rotor e da carcaça.

Durante a recirculação, o escoamento fica instável devido às turbulências e à formação de vórtices. A alta velocidade dos vórtices pode gerar nos seus núcleos pressões inferiores à pressão de vapor do líquido na temperatura de bombeamento. Se isso ocorrer, o líquido localizado no núcleo do vórtice irá vaporizar, entretanto se condensará mais adiante após ser arrastado pelo fluxo para uma região de maior pressão. Dessa forma, teremos uma cavitação provocada pelo fenômeno da recirculação e não pela insuficiência de NPSH disponível.

7.2 Altura manométrica

Altura manométrica total é a energia por unidade de peso que o sistema solicita para transportar o fluido do reservatório de sucção para o reservatório de descarga, com uma determinada vazão. Essa energia será fornecida por uma bomba, que será o parâmetro fundamental para o selecionamento da mesma. É importante notar que em um sistema de bombeamento, a condição requerida é a vazão, enquanto que a altura manométrica total é uma consequência da instalação.

7.3 NPSH

A sigla NPSH, vem da expressão Net Positive Suction Head. É de vital importância para fabricantes e usuários de bombas o conhecimento do comportamento desta variável, para que a bomba tenha um desempenho satisfatório, principalmente em sistemas onde coexistam as duas situações: Bomba trabalhando no início da faixa, com baixa pressão e alta vazão e existência de altura negativa de sucção. Quanto maior for a vazão da bomba e a altura de sucção negativa, maior será a possibilidade da bomba cavitarem em função do NPSH.

Em termos técnicos, o NPSH define-se como a altura total de sucção referida a pressão atmosférica local existente no centro da conexão de sucção, menos a pressão de vapor do líquido.

$$\text{NPSH} = (H_o - h - h_s - R) - H_v$$

Onde:

H_o = Pressão atmosférica total, em mca (tabela 1);

h = Altura de sucção, em metros (dado da instalação);

h_s = Perdas de carga no escoamento pela tubulação de sucção, em metros;

R = Perdas de carga no escoamento interno da bomba, em metros (dados do fabricante);

H_v = Pressão de vapor do fluido escoado, em metros (tabela 2);

Para que o NPSH proporcione uma sucção satisfatória à bomba, é necessário que a pressão em qualquer ponto da linha nunca venha reduzir-se à pressão de vapor do fluido bombeado. Isto é evitado tomando-se providências na instalação de sucção para que a pressão realmente útil para a movimentação do fluido, seja

sempre maior que a soma das perdas de carga na tubulação com a altura de sucção, mais as perdas internas na bomba, portanto:

$$H_o - H_v > h_s + h + R$$

7.4 NPSH DA BOMBA E NPSH DA INSTALAÇÃO

Para que se possa estabelecer, comparar e alterar os dados da instalação, se necessário, é usual desmembrar-se os termos da fórmula anterior, a fim de obterem-se os dois valores característicos (instalação e bomba), sendo: $H_o - H_v - h - h_s = \text{NPSHd}$ (disponível), que é uma característica da instalação hidráulica. É a energia que o fluido possui, num ponto imediatamente anterior ao flange de sucção da bomba, acima da sua pressão de vapor. Esta variável deve ser calculada por quem dimensionar o sistema, utilizando-se de coeficientes tabelados e dados da instalação;

$R = \text{NPSHr}$ (requerido), é uma característica da bomba, determinada em seu projeto de fábrica, através de cálculos e ensaios de laboratório. Tecnicamente, é a energia necessária para vencer as perdas de carga entre a conexão de sucção da bomba e as pás do rotor, bem como criar a velocidade desejada no fluido nestas pás. Este dado deve ser obrigatoriamente fornecido pelo fabricante através das curvas características das bombas (curva de NPSH);

Assim, para um bom desempenho da bomba, deve-se sempre garantir a seguinte situação:

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$$

TABELA 1

DADOS DE PRESSÃO ATMOSFÉRICA PARA DETERMINADAS ALTITUDES LOCAIS										
Altitude em Relação ao Mar (metros)	0	150	300	450	600	750	1.000	1.250	1.500	2.000
Pressão Atmosférica (mca)	10,33	10,16	9,98	9,79	9,58	9,35	9,12	8,83	8,64	8,08

TABELA 2

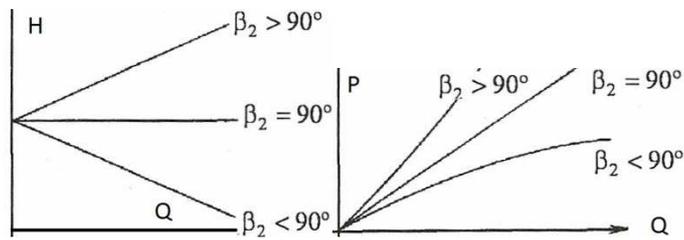
PRESSÃO DE VAPOR DA ÁGUA PARA DETERMINADAS TEMPERATURAS										
Temperatura da água (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
Pressão de Vapor da água (mca)	0,062	0,083	0,125	0,239	0,433	0,753	1,258	2,31	4,831	10,33

Fonte: www.cesarnatal.com.br

8 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Uma bomba é projetada para funcionar em condições operacionais pré-fixadas de vazão, altura manométrica e rotação. Nessas condições, espera-se que ela consuma a potência P e opere com a melhor eficiência. Acontece que, na prática, a bomba pode ser utilizada para operar numa faixa de condições diferentes daquela pré-fixada no projeto. Ocorrerá queda de eficiência, mas dentro de limites economicamente aceitáveis. Por esse motivo, é do maior interesse prático saber como se comportam a altura manométrica H , a potência P e a eficiência η para uma mesma rotação n , em função da variação da vazão Q . As representações gráficas desses valores num diagrama cartesiano são chamadas de curvas características da bomba. A figura 8.1 mostra dois gráficos de curvas características teóricas de bomba centrífugas. Em cada gráfico, estão lançadas 3 curvas para 3 tipos de rotores. Cada rotor tem um ângulo de saída de palheta β_2 diferente.

Figura 8.1-Gráfico



Altura manométrica

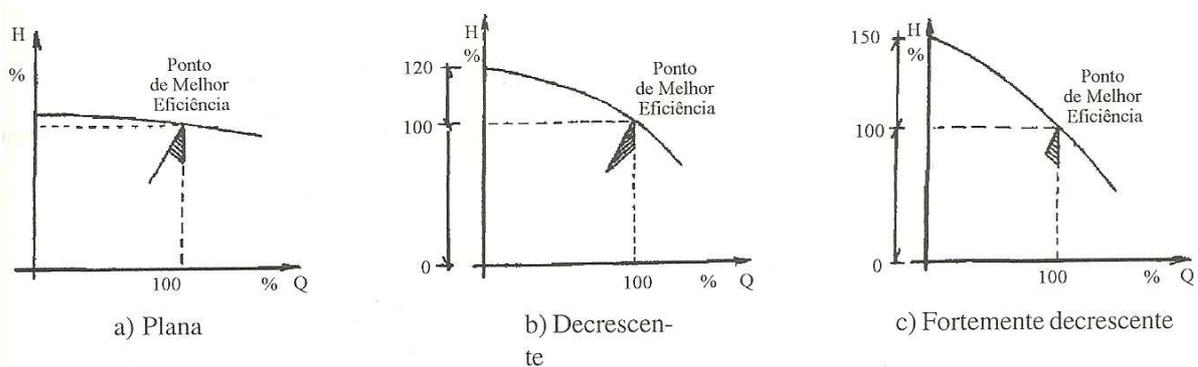
Potência

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

As curvas características reais são bem diferentes das teóricas porque são afetadas pelas seguintes perdas de energia: a) perdas de carga devido às turbulências, choques e correntes circulatorias do líquido no rotor; b) perdas de carga devido às turbulências do líquido na carcaça; c) perdas volumétricas devido às fugas de líquido pelas folgas existentes entre o rotor e a carcaça d) perdas mecânicas devido ao atrito (do eixo nos mancais; dos elementos de vedação; do rotor no líquido.) As curvas características reais são obtidas em ensaios experimentais realizados nas bancadas de teste do fabricante. A bomba é testada com água e a rotação constante. A variação da vazão é obtida atuando-se numa válvula de bloqueio localizada na tubulação de descarga da bomba.

Para várias condições de vazão, medem-se as pressões de sucção e descarga, a temperatura do líquido, a tensão e a corrente elétrica do motor. Com esses dados e mais os valores dos diâmetros da tubulação, densidade e viscosidade do líquido calcula-se a altura manométrica total, a potência e a eficiência da bomba. Os resultados dos cálculos são transferidos para um diagrama cartesiano e traçadas as respectivas curvas. A figura 8.2 apresenta três formatos usuais de curvas de altura manométrica. São curvas estáveis porque para cada valor da vazão só existe um valor da altura manométrica.

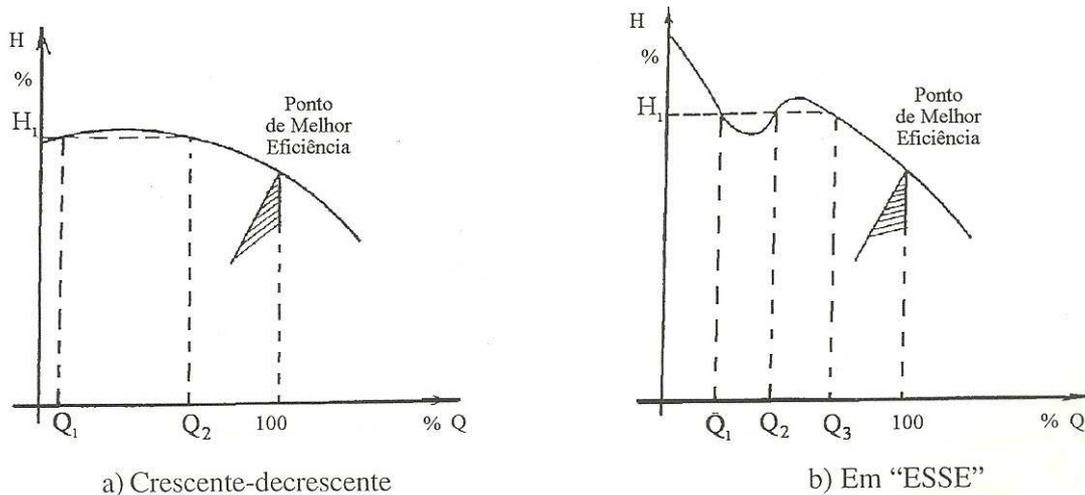
Figura 8.2-Curva da altura manométrica



Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Na curva plana, a altura manométrica varia pouco com a vazão. Na curva decrescente, a altura manométrica diminui continuamente com o aumento da vazão. Para a vazão zero, a altura manométrica atinge 10 a 20% mais que seu valor no ponto de melhor eficiência (PME). A curva fortemente decrescente é semelhante à curva decrescente, porém com inclinação mais acentuada. Para vazão zero, a altura manométrica atinge 40 a 50% mais que seu valor no ponto de melhor eficiência. É uma curva típica de rotores de fluxo misto. Quanto maior o ângulo β_2 da pá do rotor, maior a largura do rotor e maior o número de palhetas, mais tendência para o tipo plana terá a curva de altura manométrica. A figura 8.3 mostra dois tipos de curvas instáveis de altura manométrica. Nestes tipos de curva existe uma faixa em que pode ocorrer duas ou mais vazões diferentes para uma única altura manométrica. A bomba não deve operar nessa faixa devido à instabilidade da vazão.

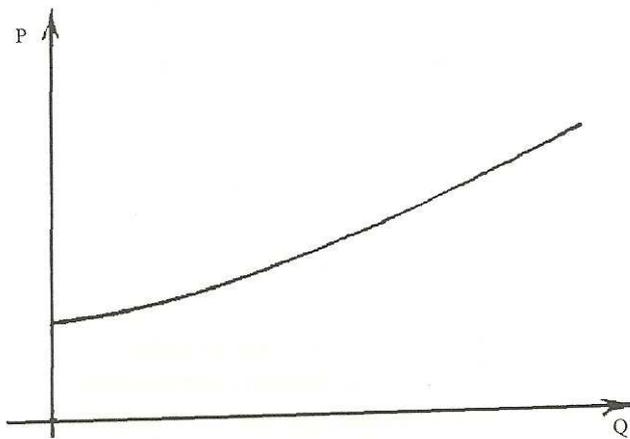
Figura 8.3: Curva instável de altura manométrica



Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Na curva crescente-decrescente, inicialmente, a altura manométrica cresce com o aumento da vazão, atinge um valor máximo e depois decresce. Esta curva é típica de rotores com palhetas curvadas para frente ($\beta_2 > 90^\circ$). Na curva em esse, inicialmente a altura manométrica decresce, depois cresce e mais adiante volta a decrescer. Esta curva é típica de rotores de fluxo axial. No estudo das bombas, consideram-se duas modalidades de potência: a) potência hidráulica (PH) - que é a energia por unidade de tempo cedida ao líquido. b) potência no eixo (P) - que representa a energia por unidade de tempo que o acionador transmite para o eixo da bomba. Normalmente, os gráficos dos fabricantes apresentam a curva de potência no eixo. Na prática, há três formatos típicos de curva de potência em função do tipo do rotor. No caso de rotores de fluxo radial, a potência consumida pela bomba aumenta continuamente com o aumento da vazão. Veja a figura 8.4.

Figura 8.4-Aumento de potência x Vazão

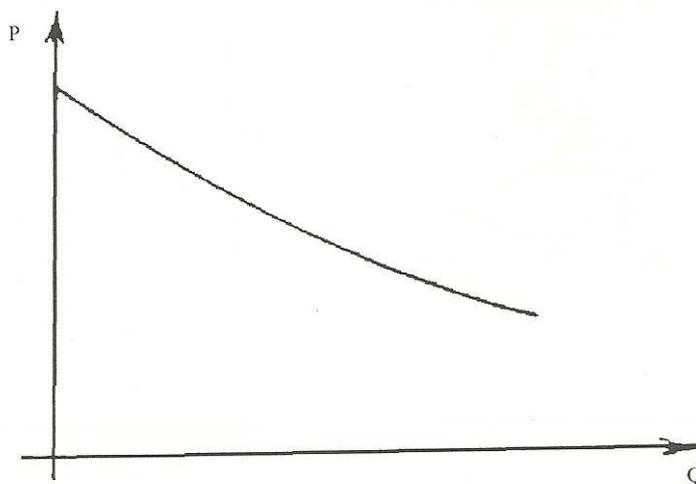


CURVA TÍPICA DE POTÊNCIA PARA
ROTOR DE FLUXO RADIAL

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Para rotores de fluxo axial, a potência consumida pela bomba diminui concomitantemente com o aumento da vazão. Conforme ilustrado na figura 8.5.

Figura 8.5-Potência em rotores de fluxo axial

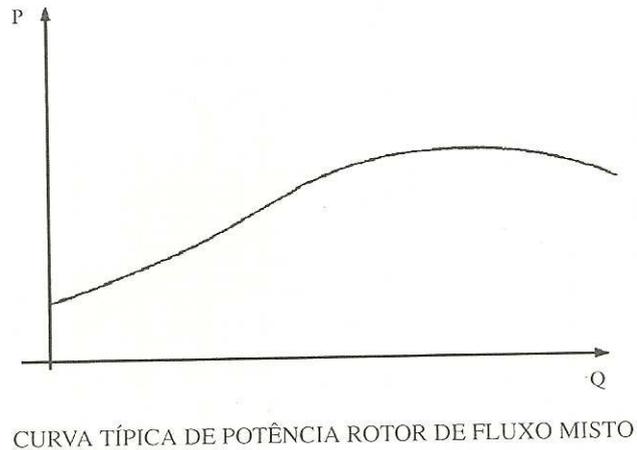


CURVA TÍPICA DE POTÊNCIA
PARA ROTOR DE FLUXO AXIAL

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Em rotores de fluxo misto, observa-se que a curva tem o formato crescente – decrescente conforme ilustra a figura 8.6.

Figura 8.6-Potência em rotores de fluxo misto



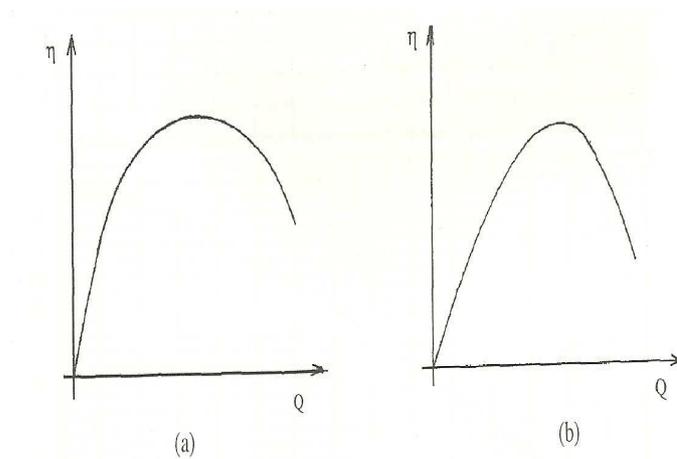
Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Convém observar que para vazão zero, isto é, com a válvula da linha de descarga fechada, a potência não é zero. Isso se explica pela necessidade de se manter o rotor girando. A energia fornecida é consumida pelas resistências passivas mecânicas e por um forte turbilhonamento no interior da bomba. Essa energia se dissipa sob a forma de calor. É por esse motivo que uma bomba não deve funcionar mais que poucos minutos com a válvula da linha de descarga totalmente fechada. Ainda no caso de vazão zero, verifica-se que a potência fornecida às bombas de fluxo radial é relativamente menor do que para as bombas de fluxo axial. O rendimento ou eficiência da bomba é obtido dividindo-se a potência hidráulica pela potência recebida do acionador.

$$\eta = \frac{P_H}{P}$$

A figura 8.7 mostra duas curvas típicas de eficiência

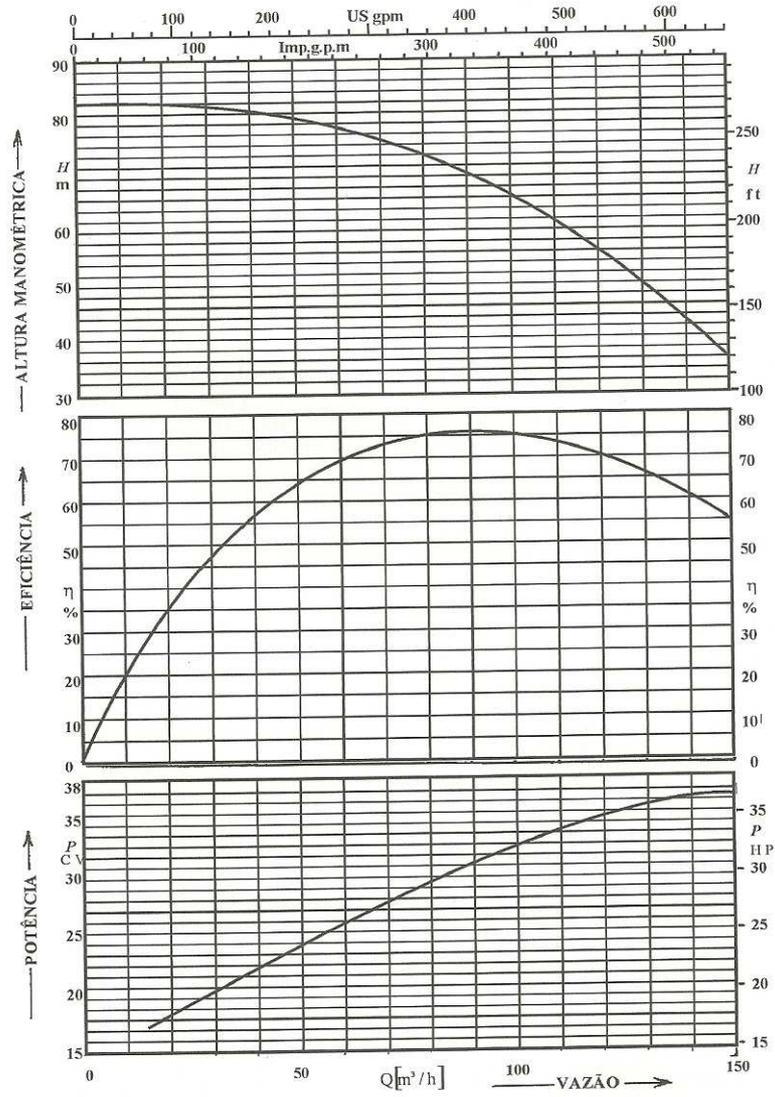
Figura 8.7- Curvas de eficiência



Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

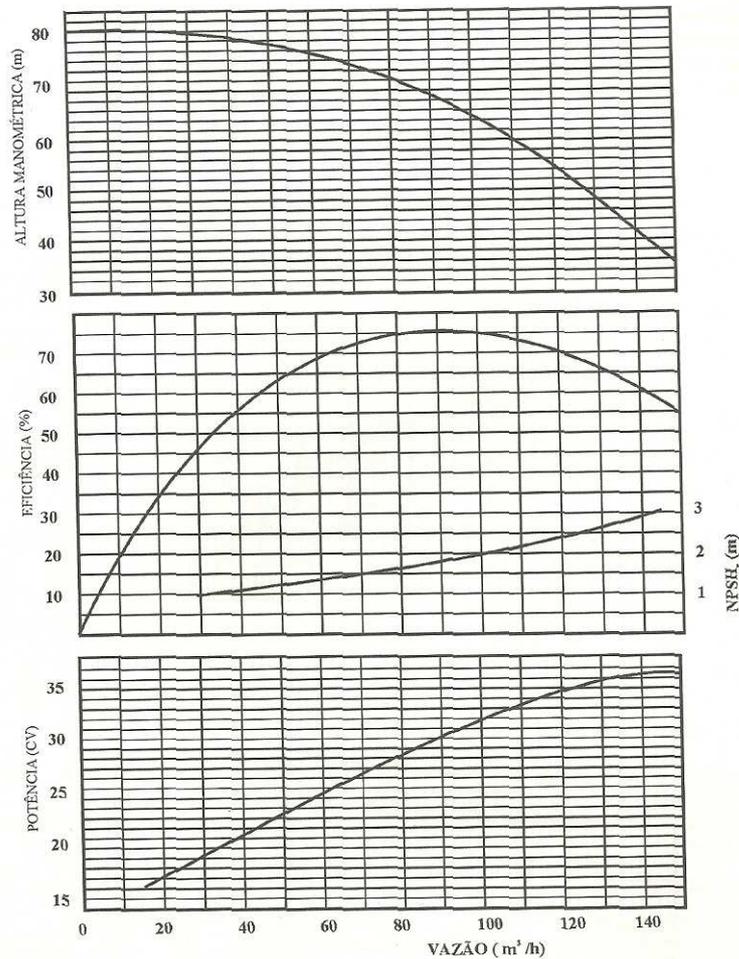
A curva mais achatada (a) é típica dos rotores de fluxo radial, enquanto que a mais pontuda (b) é típica de rotores de fluxo axial ou fluxo misto. Na prática, os fabricantes costumam reunir num único gráfico as diversas curvas levantadas na bancada de teste, em vez de apresentá-las separadamente. Aqui, por questão didática, a exposição foi progressiva a fim de facilitar a compreensão do assunto. Veja as curvas característica de teste apresentadas nas figuras 8.8 e 8.9. Observe que na figura 8.9 há uma curva a mais: a curva de NPSH requerido.

Figura 8.7-Curva característica de teste



Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Figura 8.8-Curva de teste com NPSH

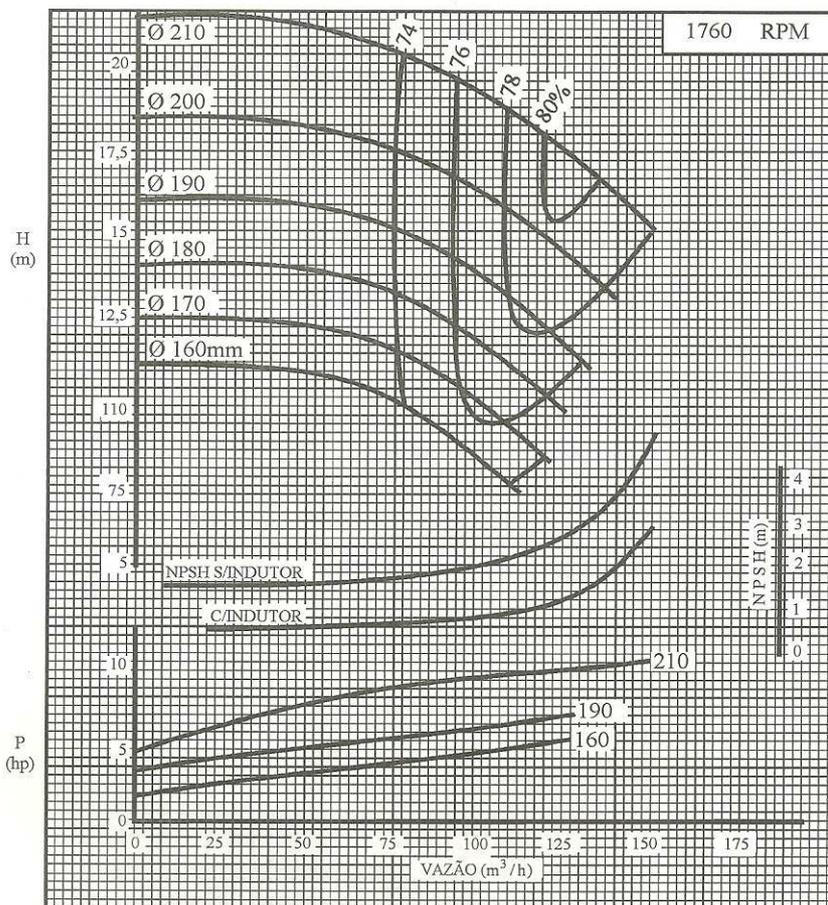


Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Não confundir curvas características de teste com curvas características comerciais. As curvas característica de teste refletem os resultados obtidos num ensaio realizado com uma determinada bomba, para um dado diâmetro de rotor, rotação constante, feitas as devidas correções de densidade e viscosidade. As curvas características comerciais (figura 8.10) mostram os resultados médios obtidos com um número relativamente grande de ensaio de um mesmo modelo de bomba, funcionando na mesma rotação e com diversos diâmetros de rotor. Essas curvas valem somente para água e cobrem toda a faixa operacional da bomba, desde o

rotor de diâmetro máximo até o diâmetro mínimo curvas de eficiência têm uma configuração diferente daquela desenhada para um rotor de diâmetro fixo. Aquela representação é impraticável quando se agrupam num único gráfico as curvas para diversos diâmetros do rotor. Os fabricantes preferem marcar sobre a curva Q-H de cada rotor todos os pontos de igual eficiência e uni-los posteriormente. Essas curvas assim construídas são chamadas de curvas de isoeffiência e têm o formato aproximado de semi-elipses concêntricas. No diagrama da figura 8.9 há duas curvas de NPSH requerido. Observe que a bomba que tem indutor apresenta menor NPSH requerido.

Figura 8.10-Curva comercial



CURVAS CARACTERÍSTICAS COMERCIAIS

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

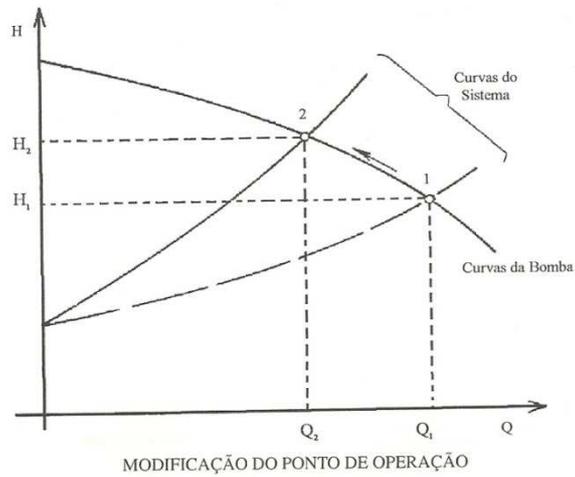
9 OPERAÇÃO DA BOMBA CENTRÍFUGA

Durante o período que a bomba estiver em funcionamento, devemos verificar constantemente: a) as pressões de sucção e de descarga; b) lubrificação dos mancais; c) a temperatura dos mancais, não deve exceder 65 °C; d) o nível de óleo no reservatório; e) o gotejamento de líquido pela gaxeta; não deve exceder 60 gotas por minuto; f) aparecimento de ruído estranho; analisar e parar a bomba se necessário.

9.1 Variações da condição de operação

Bombas centrífugas devem funcionar a maior parte do tempo nas condições de vazão e altura manométrica para as quais foram selecionadas. Alterações temporárias podem ser feitas: a) Atuando na válvula da linha de descarga; isso significa modificar a curva característica do sistema por meio de aumento ou redução da perda de carga; veja a ilustração da figura 10.1.

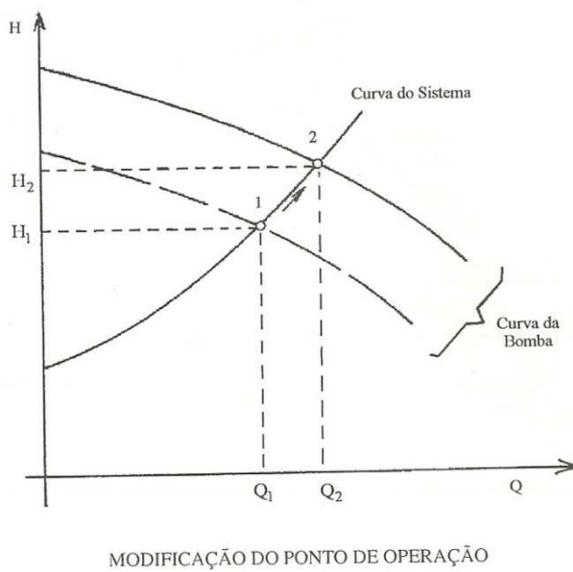
Figura 10.1 Perda de carga



Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

b) Variando a rotação do acionador, se ele permitir. Isso significa modificar a curva característica da bomba conforme mostra a figura 10.2.

Figura 10.2-Variando a rotação



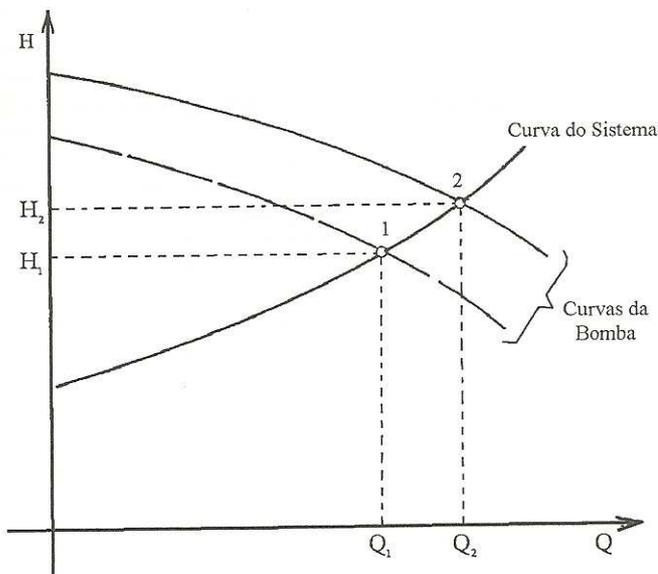
Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

A tabela mostra o que acontece com a vazão e a pressão de descarga da bomba quando se executa uma dessas manobras isoladamente.

VARIAÇÕES DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS EM BOMBAS CENTRÍFUGAS				
Local da manobra	Tipo de atuação	Efeito provocado na		Observações
		Pressão de descarga	Vazão	
Na válvula da linha de descarga	Abertura da válvula	Diminui	Aumenta	- Não operar a bomba com vazão menor que 20% da vazão no ponto de melhor eficiência
	Fechamento da válvula	Aumenta	Diminui	
No acionador	Aumento da velocidade	Aumenta	Aumenta	
	Redução da velocidade	Diminui	Diminui	

Além das manobras operacionais, o ponto de trabalho da bomba pode ser modificado mediante alteração do diâmetro do rotor. Neste caso, a bomba passa a ter nova curva característica. O ponto de trabalho será deslocado para o ponto de intercessão da curva característica do sistema com a nova curva característica da bomba. A figura 10.3 demonstra essa variação.

Figura 10.3-Ponto de trabalho



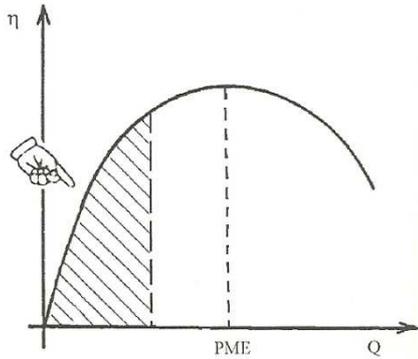
MODIFICAÇÃO DO PONTO DE OPERAÇÃO

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

Não se deve controlar a vazão de uma bomba atuando na válvula da linha de sucção. Vale ressaltar que as bombas centrífugas são projetadas para funcionar numa faixa operacional delimitada sem problemas. O fabricante tem condições de informar a amplitude dessa faixa, principalmente o ponto de vazão mínima contínua. A operação da bomba com vazão reduzida proporciona os seguintes problemas:

a) Redução da eficiência, conforme mostra a curva da figura 10.4.

Figura 10.4-Operação com vazão reduzida



QUEDA DA EFICIÊNCIA COM VAZÃO REDUZIDA

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

b) aumento do empuxo radial no rotor se a carcaça for do tipo voluta (figura 10.5); conseqüentemente, a deflexão do eixo aumentará afetando o desempenho do selo mecânico ou das gaxetas e sobrecarregando os mancais; nas carcaças tipo dupla-voluta, o empuxo radial varia pouco com a redução da vazão, conforme mostra a figura 10.5; a tabela 10.1 mostra valores orientativos de limites de redução de vazão (em % do PME) para bombas de simples estágio com rotor em balanço, em função do índice de rigidez.

Figura 10. 5-Operando com baixa vazão



Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

LIMITE DE VAZÃO MÍNIMA

L ³ /D ⁴ SISTEMA MÉTRICO	VAZÃO MÍNIMA (% PME)
< 1,0	25
1,0 a 2,4	60
2,4 a 3,2	80
> 3,2	90

c) Aumento do empuxo axial porque os dispositivos empregados para equilibrá-la perdem a eficiência.

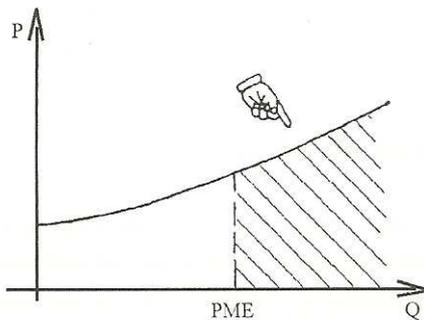
d) Aumento da temperatura do líquido bombeado; esse aumento é bastante acentuado proximidade da vazão nula.

e) Recirculação do líquido no interior do rotor.

A operação da bomba com vazão excessiva tem os seguintes inconvenientes:

a) Aumento de potência, sobrecarregando o acionador conforme mostrado na figura 10.6.

Figura 10.6-Variação da potência



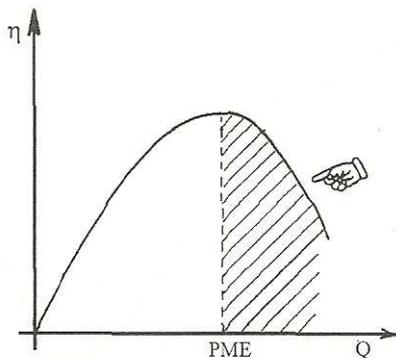
Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

(b) Aumento do perigo de cavitação.

c) Aumento do nível de vibração.

d) Perda da eficiência se a vazão ultrapassar o ponto de melhor eficiência – PME conforme ilustrado na figura 10.7.

Figura 10.7- Operando com vazão elevada



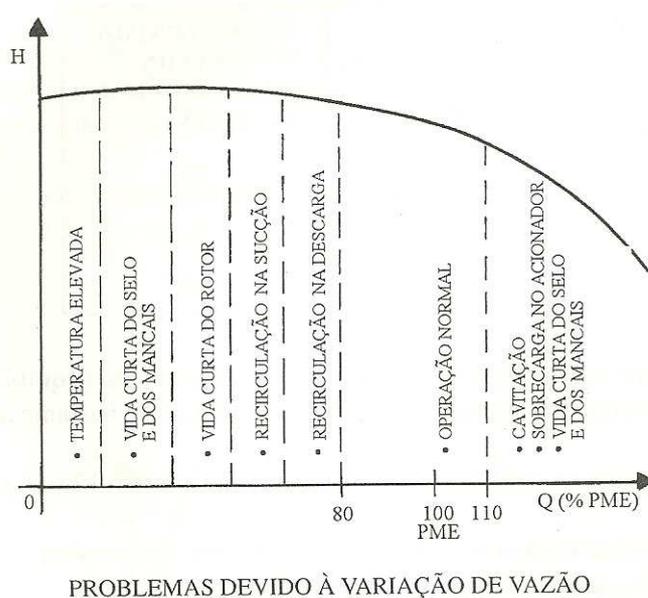
VARIAÇÃO DA EFICIÊNCIA

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

A operação da bomba com baixa pressão de sucção merece cuidado especial devido ao aumento da probabilidade de ocorrer cavitação. Pelo que foi explicado nesse subitem, conclui-se que as manobras operacionais não devem ser feitas de

forma aleatória. É necessário conhecer bem as curvas características da bomba e do sistema a fim de não cometer erros. O gráfico da figura 10.8 mostra, de forma genérica, os principais problemas que ocorrem quando se coloca uma bomba centrífuga para funcionar fora da região vizinha ao ponto de melhor eficiência – PME.

Figura 10. 8-Faixas de operação



Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas

10 PROBLEMAS NA OPERAÇÃO

Os problemas que afetam o funcionamento das bombas centrífugas podem ser de natureza hidráulica ou de natureza mecânica. Os problemas de natureza hidráulica são causados, na sua maioria, por deficiências no lado da sucção da bomba. São eles que provocam vazão nula ou insuficiente, baixa pressão de descarga, perda de sucção após a partida, consumo demasiado de energia cavitação, recirculação. Os problemas de origem mecânica podem produzir

aquecimento na bomba, aquecimento nos mancais, desgaste rápido dos mancais, vazamento pela caixa de vedação, vibração, ruído estranho. Nos itens seguintes mostram-se as possíveis causas dos problemas operacionais mais frequentes que podem ocorrer com as bombas centrífugas.

10.1 Vazões nula ou insuficiente

Se a bomba não dá vazão, podemos fazer as seguintes verificações no sistema hidráulico: verificar se há falha na escorva, se a altura de sucção está muito elevada, diferença pequena entre a pressão de sucção e a pressão de vapor do líquido na temperatura de bombeamento, líquido vaporizando na sucção, ocorrência de bolsas de ar ou entrada de ar na tubulação de sucção, tubulação de sucção imersa insuficientemente no reservatório, filtro de sucção totalmente obstruído, viscosidade do líquido superior àquela para a qual a bomba foi fornecida. Na bomba podemos verificar as seguintes causas: verificar condições de funcionamento do acionador quanto a baixas rotações, sentido de rotação invertido, ligação do motor elétrico, rotor totalmente obstruído com corpos estranhos, anéis de desgaste gastos, entrada de ar pelas gaxetas se houver, vazamento excessivo pelas gaxetas, junta da carcaça danificada permitindo a entrada de ar.

10.2 Baixa pressão na descarga

Caso ocorra baixa pressão na descarga da bomba deveremos analisar na parte hidráulica se há quantidade excessiva de ar ou gás no líquido, líquido mais viscoso que o especificado e na parte mecânica observar anéis de desgaste gastos, rotor com diâmetro pequeno ou gasto, vazamento excessivo pelas gaxetas, rotação baixa do acionador da bomba, sentido de rotação invertido.

10.3 Perdas de sucção após a partida

Quando ocorre perda de sucção após a partida da bomba se verifica primeiramente irregularidades na tubulação de sucção. A tubulação de sucção poderá não estar cheia de líquido, altura de sucção muito elevada, quantidade excessiva de ar ou gás no líquido, bolsas de ar na tubulação de sucção, entrada de ar pela tubulação de sucção, tubulação de sucção imersa insuficientemente na fonte de suprimento. Após checar os problemas na tubulação devemos na bomba verificar as seguintes causas: entrada de ar pela gaxeta, ligação do líquido de selagem obstruída, bomba não está cheia de líquido.

10.4 Consumo demasiado de energia

Se o consumo de energia estiver demasiado as causas poderão ser sobrecarga do acionador devido a líquido mais denso ou viscoso do que o especificado, velocidade muito alta, corpos estranhos no rotor, diâmetro do rotor maior que o especificado, atrito entre peças rotativas e estacionárias, eixo empenado ou desalinhado, anéis de desgaste gastos, gaxetas inadequadas ou instaladas incorretamente se houver, posição incorreta do anel de lanterna se possuir, sobreposta muito apertada caso a vedação seja por gaxetas.

10.5 Vibrações elevada

A vibração é um problema de natureza mecânica que indica o estado em que se encontra o equipamento. No caso das bombas centrífugas, os defeitos mais comuns que causam vibração são desbalanceamento do conjunto rotativo, desalinhamento, mancais gastos ou mal instalados, eixo empenado, velocidade acima da normal, lubrificação irregular com lubrificante muito viscoso ou com sujeira, fixação do conjunto motor-bomba inadequada, cavitação, recirculação .

10.6 Aquecimento e grimpamento

Se a bomba esquenta demasiadamente e depois grimpam, pode ser devido falta de escorva, operação com baixa vazão, desalinhamento, conjunto rotativo raspando nas partes estacionárias, eixo fora de centro, desbalanceamento devido a desgastes das partes internas.

10.7 Vazamento excessivo

Se o sistema de vedação for com gaxetas, tal vazamento pode ser consequência de luva do eixo arranhada ou gasta, linha do líquido de selagem entupida, gaxeta inadequada ou erroneamente instalada, eixo empenado ou desalinhado e vibração do conjunto rotativo. Entretanto se a vedação se der por selo mecânico as irregularidades que podem provocar vazamento são juntas ou anel "O" da sede danificado, sede ou anel de selagem defeituosa, elemento rotativo de vedação secundária danificada, vibração do conjunto rotativo, desgaste das faces do selo e sujeira entre as faces do selo.

10.8 Desgaste rápido do selo

O desgaste rápido do selo mecânico pode ocorrer se a temperatura do líquido bombeado estiver elevada, produto abrasivo nas faces seladoras selo funcionando a seco - verificar irregularidades na linha do líquido de selagem, tipo de selo ou materiais inadequados, pressão excessiva nas faces seladoras, vibração do conjunto rotativo.

10.9 Desgastes rápido dos mancais

As principais irregularidades que causam desgaste rápido nos mancais são desalinhamento, eixo empenado ou fora de centro, deflexão do eixo elevada, sujeira nos mancais, lubrificação irregular, montagem incorreta.

10.10 Ruído estranho

Diante do surgimento de ruídos anormais deverá ser checado se está ocorrendo cavitação, recirculação, selo funcionando a seco, rolamento sem lubrificação, rolamento gasto ou peças soltas.

11 Considerações finais

O objetivo desse trabalho foi apresentar o conceito de bomba centrífuga, seu princípio de funcionamento, partes componentes e principalmente tratar de sua operação com exemplos de variações que podem ocorrer com o fluido e as instalações e o reflexo dessas mudanças no funcionamento da bomba.

Com a correta operação das bombas centrífugas é possível prolongar a vida útil de seus componentes e reduzir os gastos com manutenção e compra de sobressalentes. Além disso, serão reduzidas as paradas de operação da planta em função de falhas do equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIMA, EPAMINONDAS PIO CORREIA. **Mecânica das bombas**. 2ª edição, Rio de Janeiro, 2003.

AFFONSO, LUIZ OTÁVIO AMARAL. **Equipamentos mecânicos**. 2ª edição, Rio de Janeiro 2002.

MATTOS, EDSON EZEQUIEL. **Bombas industriais**, 2ª edição. Rio de Janeiro 1998.

Bombas centrífugas: conceitos básicos de operação e manutenção.

Disponível em <www.ufrnet.br>

Apostila de bombas.

Disponível em <www.ebah.com.br>

Apresentação, bombasindustriais.

Disponível em <<http://slideplayer.com.br/slide/1269012/>>

