

**MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS  
(APMA.2/2016)**

**CARLOS RIBEIRO DO NASCIMENTO JUNIOR**

**BOMBAS CENTRÍFUGAS EM EMBARCAÇÕES**

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**CARLOS RIBEIRO DO NASCIMENTO JUNIOR**

**BOMBAS CENTRÍFUGAS EM EMBARCAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada

Orientador: Swami Novaes Chamarelli

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**CARLOS RIBEIRO DO NASCIMENTO JUNIOR**

**BOMBAS CENTRÍFUGAS EM EMBARCAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Orientador: Swami Novaes Chamarelli

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha esposa Olivia Dutra pelo apoio incondicional durante todo o tempo da realização desse curso e pela ajuda na escolha do tema e nas pesquisas para a elaboração do trabalho, pela paciência e pela capacidade de me trazer paz, na correria que foi os meses da realização deste curso.

E agradeço aos meus orientadores, aos professores e a todos que diretamente e indiretamente fizeram parte deste aperfeiçoamento.

## RESUMO

O objetivo desse trabalho é 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. Mostrando que 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, reduzir as paradas de operação da planta em função de falhas do equipamento.

**Palavras-chave: Funcionamento bomba centrífuga, conceitos de bombas centrífugas, bombas centrífugas**

## **ABSTRACT**

The aim of this project is to present the concept of centrifugal pump, its working principle, component parts and mainly handle operation with examples of variations that can occur with the fluid and the facilities and the impact of these changes in the operation of the pump. Showing that with proper operation of centrifugal pumps can extend the life of its components and reduce spending on maintenance and purchase of spare parts. Also, reduce plant operating stops in equipment failure function.

Keywords: Centrifugal pump operation, concepts of centrifugal pumps, centrifugal pumps

## LISTA DE FIGURA

Figura 1:	Bomba Shadoof	9
Figura 2:	Bomba Espiral	10
Figura 3:	Bomba de roda D'agua	10
Figura 4:	Bomba centrífuga	14
Figura 5:	Esquema de Bomba Alternativa, vista em corte	14
Figura 6:	Vista de corte de bomba rotativa	15
Figura 7:	Princípio de Bernoulli	18
Figura 8:	Representação gráfica do princípio de Bernoulli	19
Figura 9:	Funcionamento da bomba centrífuga	20
Figura 10:	Visão geral das partes de uma bomba centrífuga	22
Figura 11:	Simple sucção voluta	23
Figura 12:	Dupla sucção	23
Figura 13:	Parede do rotor aberto	23
Figura 14:	Parede do rotor semi-aberto	23
Figura 15:	Parede do rotor fechado	23
Figura 16:	Direção do líquido	23
Figura 17:	Carcaça concêntrica	24
Figura 18:	Carcaça voluta	25
Figura 19:	Carcaça dupla	25
Figura 20:	Carcaça difusora	26
Figura 21:	Eixo da bomba	26
Figura 22:	Gaxeta e Sobremesa	27
Figura 23:	Ilustração de selo mecânico e suas partes	29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>CONCEITOS INICIAIS</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Classificação das bombas-visão geral</b>	<b>12</b>
2.1.1	Critérios de classificação	12
2.1.2	Tipos de bombas	13
2.1.3	Bombas centrífugas	13
2.1.4	Bombas alternativas	14
2.1.5	Bombas rotativas	15
<b>3</b>	<b>PRINCÍPIO DE BERNOULLI</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>A teoria de Bernoulli em ação</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>BOMBA CENTRIFUGA</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Classificação das bombas centrífugas</b>	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>Princípios de funcionamento</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>PARTES DAS BOMBAS CENTRIFUGAS</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Impelidor ou rotor</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Carcaça</b>	<b>24</b>
5.2.1	Carcaça concêntrica	24
5.2.2	Carcaça voluta	25
5.2.3	Carcaça dupla voluta	25
5.2.4	Carcaça difusora	26
<b>5.3</b>	<b>Eixo da bomba</b>	<b>26</b>
<b>5.4</b>	<b>Gaxeta e selo mecânico</b>	<b>27</b>
<b>5.5</b>	<b>Mancais</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>PROBLEMAS NA OPERAÇÃO</b>	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Vazões nula ou insuficiente</b>	<b>30</b>
<b>6.2</b>	<b>Baixa pressão na descarga</b>	<b>30</b>
<b>6.3</b>	<b>Perdas de sucção após a partida</b>	<b>31</b>
<b>6.4</b>	<b>Consumo demasiado de energia</b>	<b>31</b>



<b>6.5</b>	<b>Vibrações elevada</b>	<b>31</b>
<b>6.6</b>	<b>Aquecimento e grimpamento</b>	<b>32</b>
<b>6.7</b>	<b>Vazamento excessivo</b>	<b>32</b>
<b>6.8</b>	<b>Desgaste rápido do selo</b>	<b>32</b>
<b>6.9</b>	<b>Desgaste rápido dos mancais</b>	<b>33</b>
<b>6.10</b>	<b>Ruído estranho</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na sua luta pela água o Homem teve de procurar recursos para facilitar a sua obtenção. Assim, os dispositivos de elevação do líquido surgiram em épocas imemoriais, e foram sendo aperfeiçoados continuamente. Acredita-se no entanto que a agricultura foi a primeira razão para o ser humano necessitar de uma bomba. Embora a agricultura esteja em prática há mais de 10000 anos, os primeiros registros que temos de irrigação são devidos aos egípcios. Desde que os egípcios no ano 2000 AC inventaram a bomba “shadoof” ou cegonha possibilitando a irrigação nas margens do Rio Nilo, o homem continua utilizando intensamente este equipamento.

Figura 1: Bomba Shadoof



Fonte: [www.bombascentrifugas.com.br](http://www.bombascentrifugas.com.br).

As bombas propriamente ditas apresentam quatro estágios principais no decorrer da sua evolução: As bombas de roda d'água, as bombas espirais, as de êmbolo e as centrífugas. Em cada uma dessas fases ocorreram aperfeiçoamentos sucessivos.

Heródoto (484-425 a.C) foi o primeiro historiador a descrever um tipo de bomba aspirante que na época era utilizado em embarcações marítimas. Por volta de 250 a.C, Arquimedes inventou a bomba de parafuso, reaproveitada com sucesso na época atual.

Figura 2: Bomba Espiral



Fonte: <http://www.peteletrica.eng.ufba.br/parafuso-de-arquimedes>.

Outro tipo interessante na antiguidade foi a bomba constituída por um duto em forma de espiral, desenvolvido em torno de um eixo giratório. Esses primitivos não serviam para aspirar água e, por outro lado, limitavam muito a altura de elevação.

As bombas alternativas a pistão ou êmbolo já eram do conhecimento dos gregos e dos romanos. Ctesibius, por volta de 250 A.C., inventou uma bomba alternativa movida por uma roda d'água, construída por seu discípulo Hero de Alexandria.

Figura 3: Bomba de roda D'água



Fonte: Arquivo pessoal.

Em 1682 o engenheiro francês Rannequim construiu o sistema de abastecimento de Versalhes, compreendendo 253 bombas acionadas por 14 rodas d'água. No fim do século XVII ocorreram dois importantes avanços tecnológicos: a introdução da bomba centrífuga e o aproveitamento do vapor d'água para o bombeamento.

O francês Denis Papin foi o primeiro engenheiro a construir uma bomba centrífuga, isto em 1689.

Pode-se também afirmar que o século XVIII foi marcado por um grande progresso na construção de bombas: La Hire desenvolveu o tipo de duplo efeito (1716); Demours contribuiu para o aperfeiçoamento das bombas centrífugas (1732); James Watt conseguiu melhorar consideravelmente o rendimento dos conjuntos acionados por vapor d'água; Leonardo Euler analisou e desenvolveu os princípios teóricos das bombas centrífugas; os irmãos Montgolfier inventaram, em 1797, o ariete hidráulico, que até hoje presta excelentes serviços nas zonas rurais.

É inegável a importância das bombas em instalações navais e offshore. Ao longo do trabalho será aprofundada a aplicação, funcionamento e descritivo de seus elementos. Sem elas, não seria viável a refrigeração dos mais variados sistemas, transferências de fluidos em geral e, até na sua influência para o desenvolvimento de compressores de ar.

## **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 classificação das bombas – visão geral**

De acordo com o sistema de bordo, temos que levar em consideração o tipo de bomba, a vazão, o raio de sucção, material empregado, diâmetro das linhas, entre outros fatores. Há uma ampla variedade de aplicações e critérios para se empregar uma bomba a bordo.

#### **2.1.1 Critérios de classificação**

- a) Princípio ou tipo de atividade
- b) Características de construção (tipo de impelidor e sua respectiva montagem, forma da carcaça)
- c) Uso ou área de aplicação
- d) Tipo de acoplamento ou transmissão
- e) Material da bomba

### 2.1.2 Tipos de bombas

Há inúmeras classes e categorias de bombas de acordo com a variação de processos e necessidades de cada arranjo. Economicamente, as maneiras mais simples de se transportar um líquido de um ponto a outro podem ser ordenadas da seguinte maneira:

- a) Centrífugas
- b) Rotativas
- c) Alternativas

Conforme veremos ao longo, esses três tipos de bombas são largamente utilizadas a bordo, cada uma com suas particularidades. Devido ao tipo de fluido bombeado, bem como o raio de sucção há outros fatores e características que devem ser levados em consideração ao realizar uma instalação:

- a) Escorva
- b) Resistência à abrasão
- c) Elementos de controle
- d) Variação de fluxo
- e) Viscosidade
- f) Densidade
- g) Corrosão

### 2.1.3 Bombas centrífugas

Uma bomba centrífuga trabalha transferindo energia cinética para o fluido e transformando-a em energia potencial, seja esta de posição ou, mais frequentemente, de pressão no bocal de descarga da bomba. Esta ação é realizada empregando os conceitos do Princípio de Bernoulli, conforme veremos no próximo capítulo.

Figura 4: Bomba centrífuga



Fonte: <http://www.fabricadoprojeto.com.br/2011/04/calculo-de-bombas-centrifugas/>.

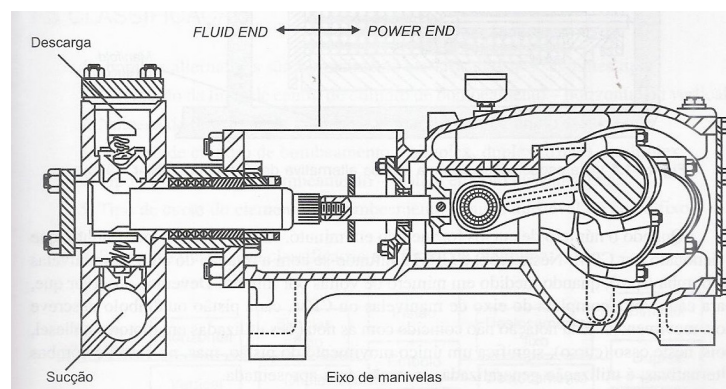
#### 2.1.4 Bombas alternativas

Utilizam o princípio de um êmbolo deslizante ou diafragma para direcionar o líquido a uma cavidade por intermédio de uma válvula de sucção e impulsioná-lo a uma válvula de descarga.

Bombas de pistão ou êmbolo trabalham com um cilindro fechado e um pistão com pouca interferência, possuindo as seguintes características:

- São capazes de trabalhar em uma grande variedade de pressões e vazões;
- Sua popularidade em relação às bombas centrífugas é menor;
- Tem o uso restrito em virtude da pulsação do fluxo;
- São extremamente caras em tamanhos grandes.

Figura 5: Esquema de Bomba Alternativa, vista em corte



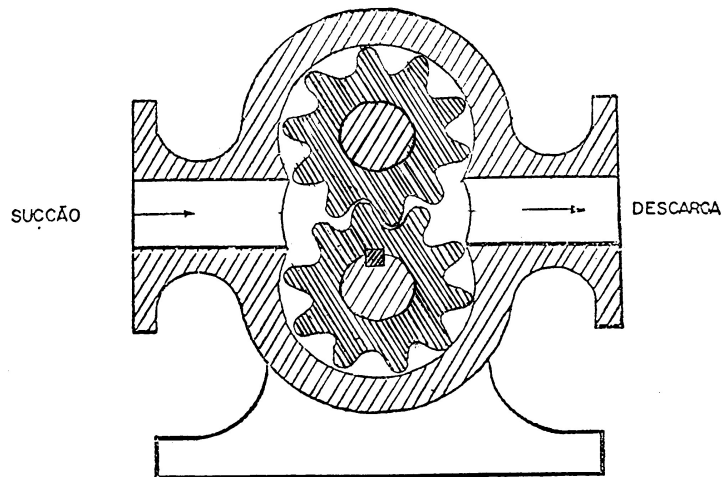
Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABZ1EAE/bombas-alternativas-submersas>.

### 2.1.5 Bombas rotativas

São aquelas que a cada ciclo deslocam um determinado volume, sendo divididas em duas classes principais, alternativas e rotativas. Podem ser designadas por: de engrenagem externa e interna, lóbulos e palhetas.

O fluido é transportado pelas engrenagens passando pelas pequenas interferências e atingindo o outro bordo da carcaça, sendo arrastado pelo dente da engrenagem em seu movimento de rotação.

Figura 6: Vista de corte de Bomba Rotativa



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAg-6cAD/bombas?part=2>.



### 3 O PRINCÍPIO DE BERNOULLI

O Princípio de Bernoulli explica o fluxo de fluidos, sendo um dos primeiros exemplos de conservação de energia. Ele afirma que durante o fluxo constante, a energia em qualquer ponto de um tubo, é a soma da velocidade ( $v$ ), pressão ( $P$ ) e elevação ( $Z$ ). Ele toma a forma de uma equação de conservação em que a soma das três variáveis permanecerá sempre constante, desde que não há perdas ou adições ocorrer.

Energia =  $v + P + z = \text{constante}$

A equação de Bernoulli é expressa em termos de pressão ou força por unidade de área. O primeiro termo é a pressão dinâmica, o que é um resultado da velocidade de fluido e a sua densidade. O segundo é a pressão hidrostática, que é devido a quaisquer mudanças na elevação. A terceira é a pressão estática, que é a pressão termodinâmica real relativa a fluir. A soma dos três é igual à pressão total. Pressão total permanecerá constante, desde que a energia não é adicionada ou removida do sistema.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho gh = \text{constante}$$

Onde:

$\rho$  = densidade

$v$  = velocidade de escoamento  $P$  = pressão

$g$  = aceleração da gravidade

$z$  = elevação

A equação de Bernoulli também pode comparar as pressões em quaisquer dois pontos em um canal de escoamento. Mais uma vez, se nenhuma energia é adicionada ou perdida, a soma dos três termos à esquerda será igual à soma dos termos à direita.

$$(1/2\rho v_a^2 + \rho g z_a + P_a) = (1/2\rho v_b^2 + \rho g z_b + P_b)$$

Onde:

a e b são em diferentes pontos no canal.

### Demonstração:

Escrevamos a primeira lei da termodinâmica com um critério de sinais termodinâmicos convenientes:

$$w + q = \Delta h + \Delta \frac{V^2}{2} + g\Delta z$$

Recordando sobre entalpia:

$$w + q = \Delta u + \Delta \frac{P}{\rho} + \Delta \frac{V^2}{2} + g\Delta z$$

$$w + q = \frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

Dividindo pela aceleração da gravidade:

$$\frac{w}{g} + \frac{q}{g} = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + z_2 - z_1$$

Os termos do lado esquerdo da igualdade são relativos aos fluxos de energia através do volume de controle, sendo entradas e saídas de energia do fluido. O termo relativo ao trabalho tem unidades de comprimento. O mesmo troca calor por atrito entre o fluido de trabalho e as paredes do tubo ou canal. Sendo assim, a equação resulta em:

$$h - h_f = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + z_2 - z_1$$

Sendo originalmente disposta como:

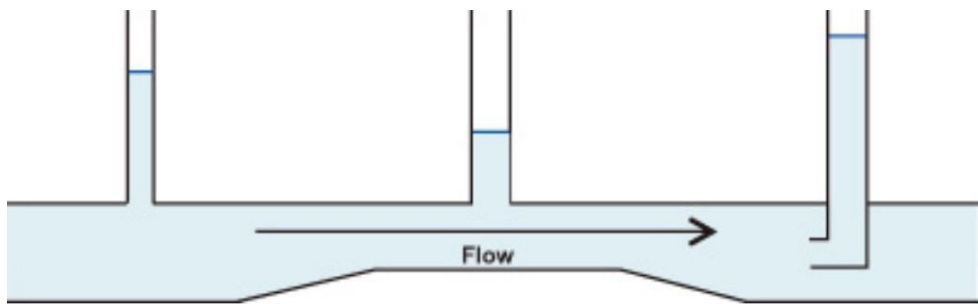
$$\boxed{\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + h = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2}$$

### 3.1 A teoria de Bernoulli em ação

A figura abaixo mostra o princípio de Bernoulli. Um tubo horizontal flui continuamente da esquerda para a direita, sem perdas de energia devido à fricção. À esquerda e direita têm diâmetros que são os mesmos, porém a parte no centro

está apenas a dois terços do diâmetro. Os tubos verticais (piezômetros) para a esquerda e no centro estão ventilados para a atmosfera, e os seus níveis de água são proporcionais à pressão estática nessas áreas. Eles medem a pressão estática da mesma maneira que um medidor de pressão. Nota-se que a pressão medida na porção de maior diâmetro é maior do que a da porção estrangulada. Isto seria esperado uma vez que a velocidade é maior, obviamente, na seção central. A equação de Bernoulli nos diz que a pressão diminui à medida que a velocidade aumenta.

Figura 7: Princípio de Bernoulli



Fonte: Pumps & Systems.

No entanto, algo parece estranho sobre a pressão indicada pelo nível de água no tubo vertical na extremidade direita. Seria de esperar que a pressão para voltar ao do extremo esquerdo piezômetro se não há perdas devido ao atrito na área de

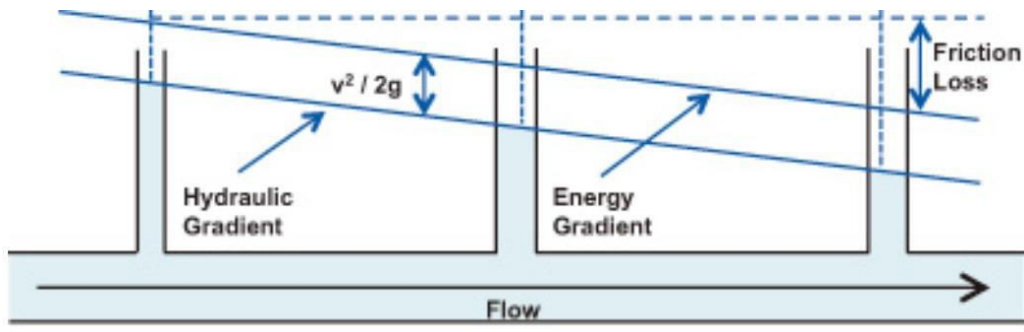
construção. Mas o seu nível indica uma pressão mais elevada, e nenhuma energia adicional foi adicionado ao sistema. Acontece que a coluna da direita é um tubo de Pitot. Este dispositivo mede a pressão de uma maneira diferente. Além disso, a pressão estática, que também mede a pressão adicional criada pela velocidade do fluxo.

Se uma válvula no lado a jusante foram fechadas e deixou fluxo, todos os três tubos verticais iriam medir a pressão estática independentemente da sua localização e as formas. Uma vez que o fluxo é retomado, a pressão estática, medido pelos piezômetros, será a pressão estática na região em particular. No entanto, ao contrário do piezômetro, a entrada do tubo de Pitot enfrenta a montante e permite o fluxo para empurrar mais água para dentro do tubo. Quando a água deixa de fluir para dentro do tubo (estagnação), o seu nível vertical está no seu máximo e é igual

à soma das pressões estáticas e dinâmicas. A pressão medida pelo tubo de Pitot é a pressão total na conduta de escoamento.

A figura abaixo é uma representação gráfica da equação de Bernoulli. É frequentemente utilizado durante o projeto de dutos e sistemas de canais abertos. Ele pode ser utilizado para mostrar o efeito sobre um sistema hidráulico devido a mudanças no tamanho do tubo, a altitude, a pressão, e as perdas de montagem e de válvula. Este exemplo ilustra a pressão em três pontos em uma tubulação que está passando por fluxo constante, contínua, sem mudanças na elevação.

Figura 8: Representação gráfica do princípio de Bernoulli



Fonte: Pumps & Systems.

Os níveis de água nos tubos verticais são as pressões estáticas nesses mesmos pontos. A linha angular de conectá-los é chamada de gradiente hidráulico ou linha grau hidráulico. A linha em ângulo acima que é paralelo ao gradiente hidráulico é o gradiente da energia e representa a pressão total no pipeline. Pode ser medido por um tubo de Pitot, ou pode ser calculada utilizando a velocidade de escoamento e a equação para a cabeça de velocidade ( $v^2/2g$ ).

A linha de gradiente de energia ou qualidade é a soma da altura de velocidade e a pressão estática em qualquer ponto. Neste exemplo, cabeça de velocidade se mantém constante em cada ponto, mas a cabeça estática é reduzido com base no total de atrito em cada ponto. Em exemplos mais complexos, estes dois gradientes não paralelas entre si, mas que se movem em ambas as direções, dependendo do tamanho do tubo, de elevação e de outros fatores.

## **4 BOMBA CENTRIFUGA**

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.

### **4.1 Classificações das bombas centrífugas**

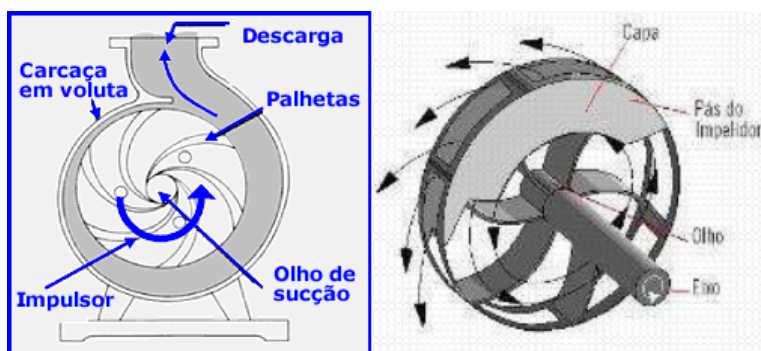
Podem ser classificadas segundo diversos critérios:

- 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.

### **4.2 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 9). 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.

Figura 9: Funcionamento da bomba centrífuga



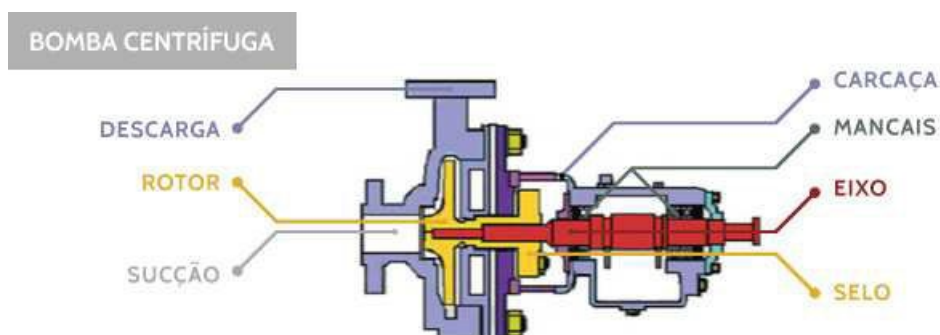
Fonte: [www.ufrnet.com.br](http://www.ufrnet.com.br).

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.

## 5 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 10 que mostra uma visão geral das partes de uma bomba centrífuga.

Figura 10: Visão geral das partes de uma bomba centrífuga



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

### 5.1 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 11) o líquido é admitido por apenas um lado, e nos de dupla sucção (figura 12) a admissão do líquido se processa por dois lados opostos.

Figura 11: Simples sucção

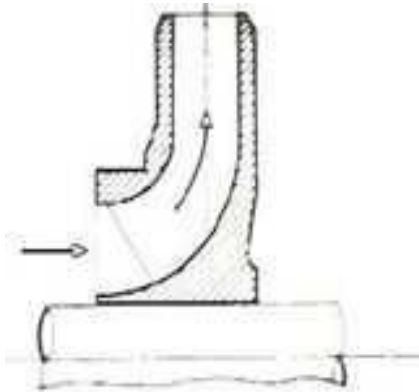
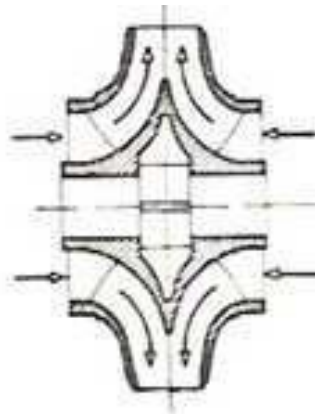


Figura 12: Dupla sucção



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

- Quanto as paredes do rotor : aberto (figura 13), semi-aberto (figura 14) e fechado (figura 15).

Figura 13: Aberto



Figura 14: Semi-aberto



Figura 15: Fechado

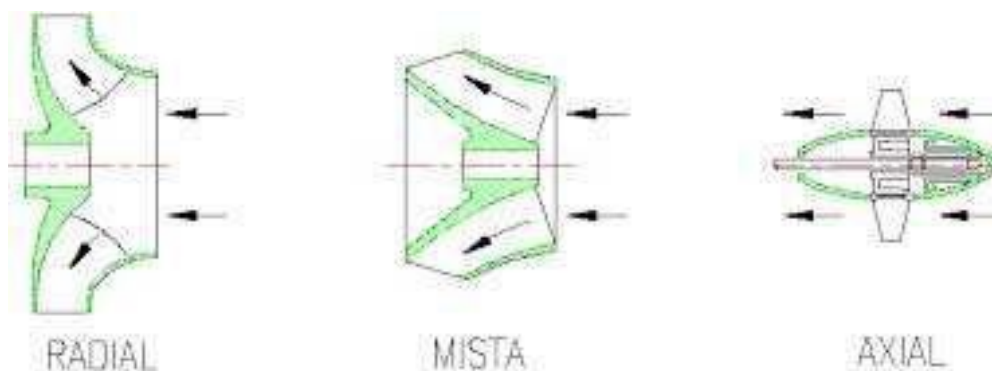


Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1269012/>.

Quanto à direção de saída do líquido: axial, radial e misto (figura 16).

Figura 16: Direção do líquido





Fonte: [http://dc147.4shared.com/doc/g\\_ajkMoH/preview.html](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.

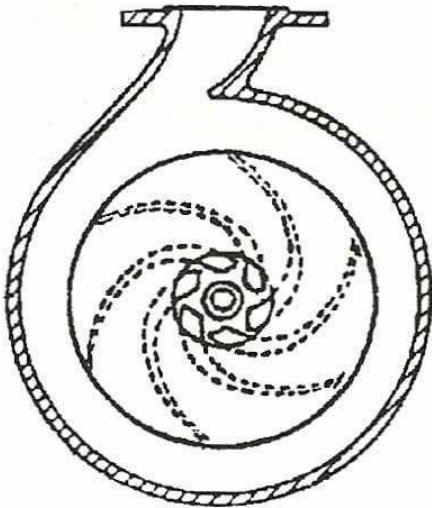
## 5.2 Carcaça

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.

### 5.2.1 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 17 mostra um exemplo de carcaça concêntrica.

Figura 17: Carcaça concêntrica

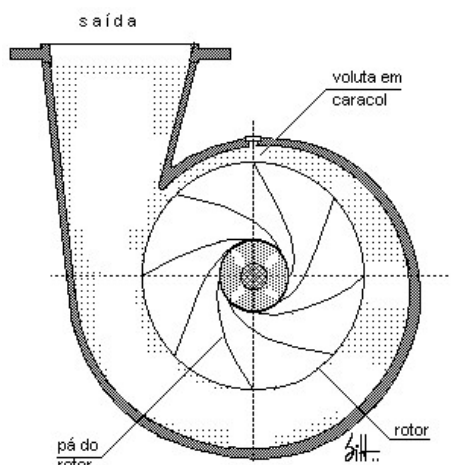


Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/361336/>.

### 5.2.2 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 18 exemplifica uma carcaça tipo voluta.

Figura 18: Carcaça Voluta

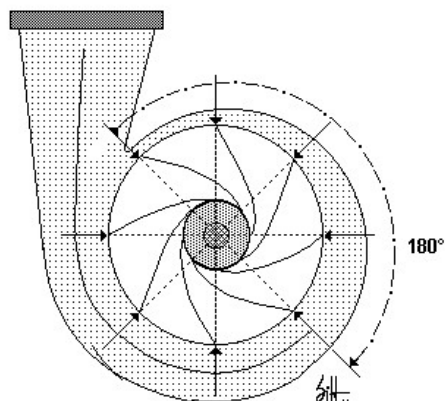


Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/361336/>.

### 5.2.3 Carcaça dupla voluta

Apresenta como vantagem um pequeno empuxo radial, pois consiste de duas volutas simples defasadas 180º com parte do líquido passando externamente e a outra internamente e se juntando no trecho da descarga da bomba. Podemos observar uma carcaça dupla voluta na figura 19.

Figura 19: Carcaça dupla voluta

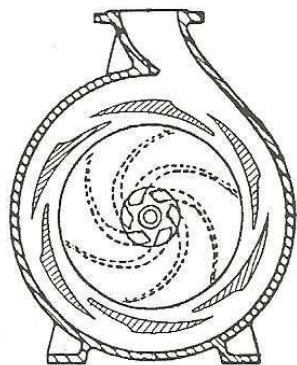


Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/361336/>.

#### 5.2.4 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 20.

Figura 20: Carcaça difusora



CARCAÇA DIFUSORA

Fonte: Lima, e Pio correia. Mecânica das bombas.

### 5.3 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 21: Eixo da Bomba



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

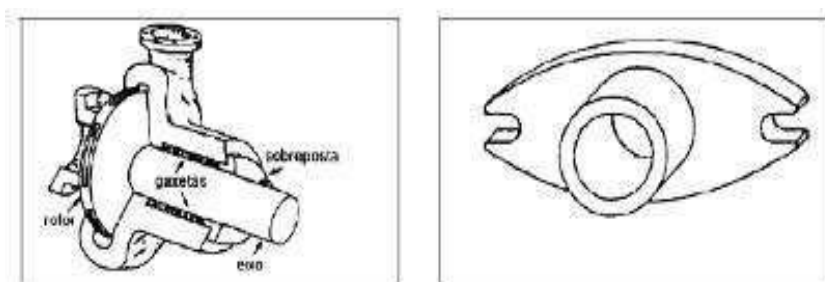
### 5.4 Gaxeta e selo mecânico

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 22 ilustra a gaxeta montada no eixo da bomba e a sobreposta para aperto na gaxeta.

Figura 22: Gaxeta e sobreposta



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

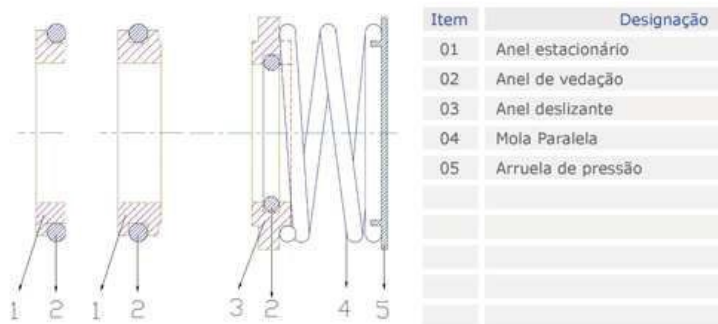
O selo mecânico tem a função de promover a selagem, com o propósito de evitar que o fluido seja emitido para o meio externo (atmosfera). Os selos mecânicos podem ser aplicados na maioria dos casos, pois possuem muitas vantagens em relação às gaxetas. Além disso, são indicados para casos onde os retentores 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 passagens 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 23 e 24 ilustram o selo mecânico e suas partes.

Figura 23: Ilustração Selo de mecânico e suas partes



Fonte: [www.ultraseal.com.br](http://www.ultraseal.com.br).

Figura 24: Selo mecânico



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

## 5.5 Mancais

Os mancais tem a função 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.

## 6 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.

### 6.1 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.

## **6.2 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.

## **6.3 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.



#### **6.4 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.

#### **6.5 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 .

#### **6.6 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.

#### **6.7 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.

### **6.8 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.

### **6.9 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.

### **6.10 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.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

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.

## REFERÊNCIAS

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

Apresentação, bombasindustriais.

Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1269012/>>. Acesso em: ago. 2016.

Apostila de bombas.

Disponível em <[www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br)> . Acesso em: ago. 2016.

Bombas centrífugas: conceitos básicos de operação e manutenção. Disponível em <[www.ufrnet.br](http://www.ufrnet.br)> . Acesso em: ago. 2016.

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

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

