

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2020**

**MARCELO RICARDO MONTIBELLER**

**TIPOS DE DANOS E MODOS DE FALHA EM ROLAMENTOS**

**RIO DE JANEIRO**  
**2020**  
**MARCELO RICARDO MONTIBELLER**

## **TIPOS DE DANOS E MODOS DE FALHA EM ROLAMENTOS**

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

Orientador: OSM/Eng. Petróleo Aristóteles de Mello

**RIO DE JANEIRO**

**2020**

**MARCELO RICARDO MONTIBELLER**

## **TIPOS DE DANOS E MODOS DE FALHA EM ROLAMENTOS**

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

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

Orientador: OSM/Eng. Petróleo Aristóteles de Mello

---

Assinatura do Orientador

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

---

Assinatura do Aluno

**AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida que Ele me concedeu. Agradeço aos meus pais por todo o esforço investido na minha educação. Agradeço à minha família que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico. Sou grato pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo meu professor Aristóteles de Mello, orientador do meu trabalho. Obrigado por me manter motivado durante todo o processo. Por último, quero agradecer também ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha e todo o seu corpo docente.

A vida necessita para sua manutenção, que seja cada dia renovada, desse modo, ela ganha força e não perde no tempo a intensidade de sua beleza.

(Diac. Edmilson Santos)

Mas qualquer coisa, qualquer coisa mesmo, sem manutenção cai. Os dentes apodrecem, as plantas secam, os prédios desmoronam e os amores acabam.

(Matheus Rocha)

## **RESUMO**

O rolamento é um componente mecânico que permite movimento rotativo entre dois ou mais elementos. Pode ser classificado como um componente de transmissão mecânica. Sua aplicação é muito ampla, sendo um dos elementos mais utilizados nos equipamentos a bordo. Por ser de vital importância ao bom funcionamento dos equipamentos marítimos, é também de grande valia que sua utilização, montagem e manutenção sigam os padrões necessários. Por ser um elemento de transmissão mecânica, o rolamento está suscetível a falhas inerentes ao seu uso indevido ou a sua vida útil. Essa monografia irá elencar os tipos de danos e os modos de falhas em um rolamento de modo que seja possível ao profissional da área de manutenção avaliar as falhas existentes ou antecipar possíveis danos ao rolamento.

Palavra-chave: Rolamento. Falha. Análise. Manutenção.

**ABSTRACT**

The bearing is a mechanical component that allows rotary movement between two or more elements. It can be classified as a mechanical transmission component. Its application is very wide, being one of the most used elements in the equipment on board. As it is of vital importance to the proper functioning of marine equipment, it is also of great value that its use, assembly and maintenance follow the necessary standards. As a mechanical transmission element, the bearing is susceptible to failures inherent in its improper use or its useful life. This monograph will list the types of damage and failure modes in a bearing so that it is possible for the maintenance professional to assess existing failures or anticipate possible damage to the bearing.

Keyword: Bearing. Failure. Analyze. Maintenance.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS**

<b>Figura 1:</b>	Rolamento de esferas	13
<b>Figura 2:</b>	Tipos de rolamentos	16
<b>Figura 3:</b>	Rolamento rígido de esferas	17
<b>Figura 4:</b>	Rolamento série Y	18
<b>Figura 5:</b>	Rolamento de esfera de contato angular	18
<b>Figura 6:</b>	Rolamento autocompensador de esferas	19
<b>Figura 7:</b>	Rolamento axial de esferas	20
<b>Figura 8:</b>	Rolamento de rolos cilíndricos	21
<b>Figura 9:</b>	Rolamento agulha	21
<b>Figura 10:</b>	Rolamento de rolos cônicos	22
<b>Figura 11:</b>	Rolamento autocompensador de rolos	23
<b>Figura 12:</b>	Rolamento de leva com eixo	24
<b>Figura 13:</b>	Rolamento danificado por fadiga	26
<b>Figura 14:</b>	Roleta com desgaste	27
<b>Figura 15:</b>	Rolamento apresentando corrosão	28
<b>Figura 16:</b>	Passagem de corrente elétrica pelo rolamento	29
<b>Figura 17:</b>	Deformação plástica	29
<b>Figura 18:</b>	Fratura	30
<b>Figura 19:</b>	Causas de falha	31

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**CIAGA** Centro de Instrução Almirante Graça Aranha  
**ISO** *International Standard Organization*

## **SUMÁRIO**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2</b>	<b>ROLAMENTO</b>	13
<b>2.1</b>	<b>Definição de rolamento</b>	13
<b>2.2</b>	<b>Função do rolamento</b>	14
<b>3</b>	<b>TIPOS DE ROLAMENTOS</b>	15
<b>3.1</b>	<b>Rolamentos de esferas</b>	16
3.1.1	Rolamento rígido de esferas	16
3.1.2	Rolamento série Y	17
3.1.3	Rolamento de esferas de contato angular	18
3.1.4	Rolamento autocompensador de esferas	19
3.1.5	Rolamento axial de esferas	19
<b>3.2</b>	<b>Rolamento de rolos</b>	20
3.2.1	Rolamento de rolos cilíndricos	20
3.2.2	Rolamento agulha	21
3.2.3	Rolamento de rolos cônicos	22
3.2.4	Rolamento autocompensador de rolos	22
3.2.5	Rolamento de leva com eixo	23
<b>4</b>	<b>TIPOS DE FALHAS E MODOS DE DANOS</b>	25
<b>4.1</b>	<b>Classificação das falhas</b>	25
<b>4.2</b>	<b>Classificação ISO dos danos e modos de falhas</b>	26
4.2.1	Fadiga	26
4.2.2	Desgaste	27
4.2.3	Corrosão	27
4.2.4	Erosão elétrica	28
4.2.5	Deformação plástica	29
4.2.6	Fratura ou trinca	30
<b>5</b>	<b>CAUSAS PRÉ-OPERACIONAIS DE FALHAS</b>	31
<b>5.1</b>	<b>Ajustes incorretos do eixo e da caixa de mancal</b>	31
<b>5.2</b>	<b>Assentos de eixos ou caixa de mancal defeituosas</b>	32
<b>5.3</b>	<b>Desalinhamento estático</b>	32
<b>5.4</b>	<b>Práticas de montagem inadequadas</b>	33
<b>5.5</b>	<b>Passagem de corrente elétrica através do rolamento</b>	33
<b>5.6</b>	<b>Danos de transporte e armazenagem</b>	33
<b>5.7</b>	<b>Lubrificação Ineficiente</b>	34
<b>5.8</b>	<b>Vibração (falso brinelamento)</b>	34
<b>5.9</b>	<b>Desalinhamento operacional</b>	35
<b>5.10</b>	<b>Passagem de corrente elétrica através do rolamento</b>	35
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	37



## **1 INTRODUÇÃO**

O Oficial de Máquinas é um profissional pertencente ao escalão dos oficiais da carreira de pessoal de máquinas da marinha mercante.

As tarefas dos oficiais de máquinas consistem em controlar e participar na manutenção dos sistemas elétricos, eletrônicos e mecânicos do navio, sobretudo dos sistemas de propulsão e de produção de energia, em definir as necessidades de aprovisionamento de combustível e de outros materiais da secção de máquinas, em superintender tecnicamente na manutenção preventiva e reparação das máquinas, garantindo a conformidade com as especificações e normas, em detectar e resolver problemas que surjam no decurso do trabalho, aplicando conhecimentos teóricos e práticos no que respeita aos equipamentos do navio e em coordenar o trabalho do restante pessoal de máquinas.

Dessa forma é de grande importância que esse profissional tenha conhecimento sobre elementos de máquinas, em especial o rolamento que está presente em inúmeros equipamentos a bordo. As falhas e danos presentes em um rolamento podem ser detectadas e conceituadas de acordo com características presentes no rolamento. Possíveis falhas também podem ser detectadas antes mesmo de tornarem-se realidade por meio de programas de manutenção bem estruturados e equipe de manutenção devidamente treinada.

Esse trabalho de monografia terá por objetivo geral apresentar os tipos de danos e os modos de falhas que podem surgir em um rolamento.

## **2 ROLAMENTO**

### **2.1 Definição de Rolamento**

Rolamento é um componente que permite movimento rotativo (controlado ou não) entre dois ou mais elementos. Serve principalmente quando se precisa reduzir o atrito ou

fricção de deslizamento entre as superfícies de contato (eixos, polias ou mancais de rolamento por exemplo).

É composto de elementos rolantes (esferas, rolos ou agulhas), pista de rolamento e gaiola. Sua fabricação é normatizada e segue altos padrões de qualidade, com medidas controladas e materiais de alta resistência como aço combinado com crómio ou ação inox.

Figura 1: Rolamento de esferas.



Fonte: [www.abecom.com.br/rolamento-radial-e-rolamento-axial-quais-as-diferencas/](http://www.abecom.com.br/rolamento-radial-e-rolamento-axial-quais-as-diferencas/)

## 2.2 Função do Rolamento

A função do rolamento é reduzir o atrito entre partes móveis da máquina, transmitindo uma ação de rotação, entre o rolamento e um eixo. Em sua maioria, os rolamentos consistem em um anel interno, um anel externo, vários corpos rolantes (esferas ou rolos) e uma gaiola. Suportam cargas axiais ou radiais, reduzindo o esforço ou força de movimento em um componente.

Sua aplicação é muito ampla, é um dos elementos mais utilizados na construção de produtos, máquinas e ferramentas. Seu uso exige elevados padrões de fabricação e uso de materiais que atendam às exigências de durabilidade e performance. Um rolamento industrial geralmente é mais exigido do que os encontrados em comércio ou ambiente doméstico. Principalmente pela própria agressividade do ambiente da praça de máquinas.

Sendo assim, é um componente altamente solicitado e requer a combinação de performance e durabilidade. Ou seja, ocorrendo [falha em um rolamento](#), provocam prejuízos e despesas não planejadas. Por exemplo, a parada não planejada de um equipamento, além das despesas para a reposição do componente e da mão-de-obra de manutenção, terá o custo das perdas das horas produtivas.

### **3 TIPOS DE ROLAMENTOS**

Existem inúmeros tipos de rolamentos com finalidades específicas, mas todos estão classificados em categorias maiores: de esferas, classificados de acordo com seus anéis como rígidos de esferas, de contato angular e axiais; ou de rolo, caracterizados pelos seus rolos, que podem ser cilíndricos, agulhas, cônicos e esféricos. Há ainda classificações de acordo com a direção em que a carga é aplicada, sendo radiais ou axiais, ou mesmo os rolamentos lineares e padronizados e especiais.

Para escolher um rolamento deve-se considerar:

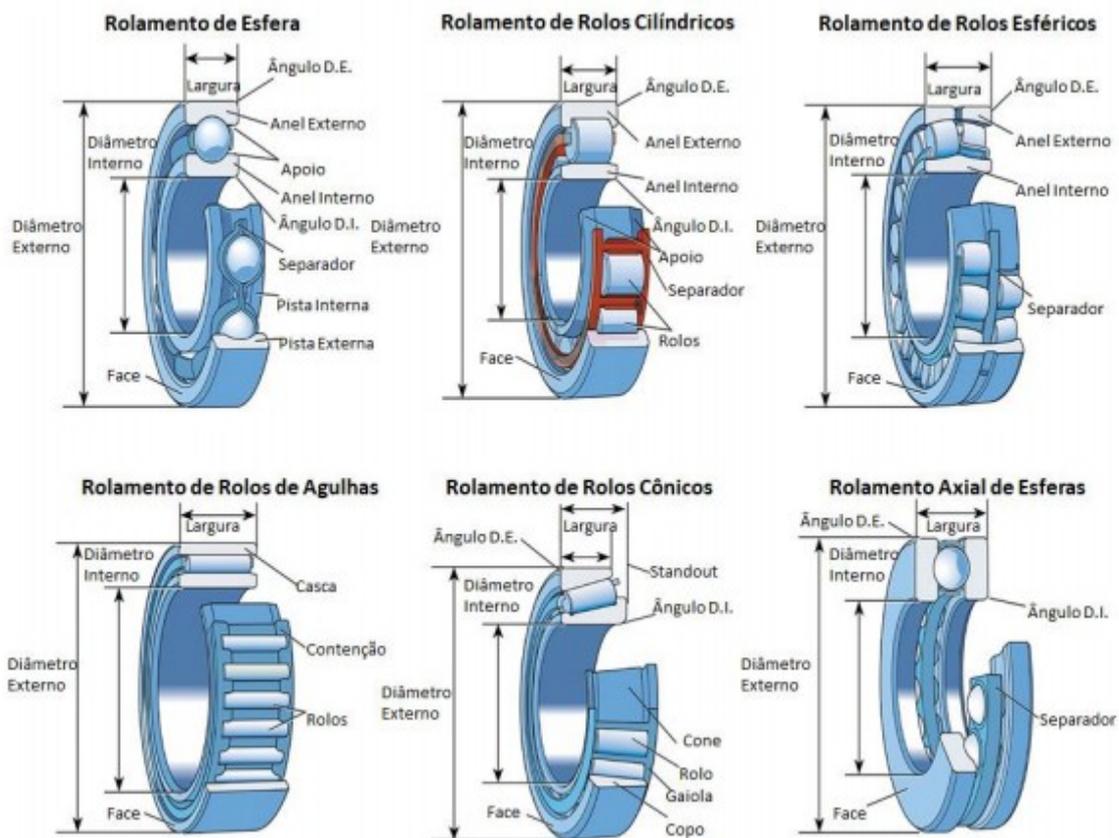
- Cargas atuantes (axial ou radial)
- Velocidade de funcionamento
- Temperatura de trabalho
- Espaço disponível
- Folga interna
- Atrito
- Alinhamento e desalinhamento do eixo
- Tipo de precisão

Atualmente há no mercado rolamentos para determinadas aplicações e solicitações específicas. Saber quais são elas, fará com que a escolha do rolamento seja mais acertada e traga o resultado de performance desejado. Da mesma forma, é importante observar a origem de procedência do rolamento adquirido. Existem [falsificações](#) no mercado que comprometem a garantia e durabilidade do seu equipamento. Por este motivo, não é recomendado comprar um rolamento de um distribuidor que não seja certificado ou autorizado pelo fabricante.

Uma das principais formas de classificar um rolamento é de acordo com a direção da carga que ele têm que suportar. Desta forma um rolamento pode ser classificado como um rolamento radial ou um rolamento axial.

Podem existir mais de 30 modelos de rolamentos com finalidades específicas, mas todos estão classificados em categorias maiores: de esferas, classificados de acordo com seus anéis como rígidos de esferas, de contato angular e axiais; ou de rolo, caracterizados pelos seus rolos, que podem ser cilíndricos, agulhas, cônicos e esféricos. Há ainda classificações de acordo com a direção em que a carga é aplicada, sendo radiais ou axiais, ou mesmo os rolamentos lineares e padronizados e especiais.

Figura 2: Tipos de rolamentos



Fonte: Gonzales (2015)

### 3.1 Rolamentos de Esferas

#### 3.1.1 Rolamentos Rígidos de Esferas

O rolamento rígido de esferas possui ampla variedade de aplicações. De construção simples, não separáveis, opera em altas velocidades e requer pouca manutenção. É fabricado com uma ou duas carreiras. Desse modo, suporta cargas axiais em ambos sentidos, inclusive em altas velocidades. Também pode ser encontrado com placas de proteção ou placas de vedação.

Figura 3: Rolamento Rígido de Esferas



Fonte: [www.compreskf.com.br/p/1846719/rolamento-rigido-de-esferas-skf-6324c3-unitario](http://www.compreskf.com.br/p/1846719/rolamento-rigido-de-esferas-skf-6324c3-unitario)

### **3.1.2 Rolamentos Série Y**

Têm uma superfície externa esférica (convexa) e um anel interno prolongado com diferentes tipos de dispositivos de fixação. A variedade de Rolamentos da série Y difere na maneira como o rolamento é fixado no eixo. Por exemplo: com pino roscado, com um colar excêntrico de fixação, com uma bucha de fixação ou com um ajuste interferente. Os Rolamentos Série Y com um anel interno prolongado nos dois lados funcionam mais suavemente. Sendo assim, reduzem o quanto o anel interno pode se inclinar no eixo.

Figura 4: Rolamento série Y



Fonte: [www.cofermetarolamentos.com.br/rolamentos/linha-y/rolamento-y-yar-213-2f-unitario-skf](http://www.cofermetarolamentos.com.br/rolamentos/linha-y/rolamento-y-yar-213-2f-unitario-skf)

### 3.1.3 Rolamentos de Esferas de Contato Angular

São adequados para suportar cargas combinadas (axiais e radiais) atuando simultaneamente. Também são fabricados com uma ou duas carreiras. O rolamento de esferas de contato angular é fabricado em uma grande variedade de tamanhos. A linha de rolamentos de precisão é indicada para máquinas-ferramenta, por exemplo. Grandes rolamentos de uma ou duas carreiras para aplicações em engenharia pesada, bem como as unidades de cubos de roda para a indústria automobilística.

Figura 5: Rolamento de esfera de contato angular



Fonte: [www.francanarolamentos.com.br/rolamentos-de-esfera-de-contato-angular.html](http://www.francanarolamentos.com.br/rolamentos-de-esfera-de-contato-angular.html)

### 3.1.4 Rolamentos Autocompensadores de Esferas

Os rolamentos autocompensadores de esferas apresentam a característica de serem auto alinháveis, ou seja, permitem desalinhamentos angulares do eixo em relação ao alojamento. Possuem duas carreiras de esferas com uma pista esférica comum no anel externo. Dessa forma, são especialmente indicados para aplicações onde podem surgir desalinhamentos por erros de montagem ou por flexão do eixo. Podem ser fornecidos com furo cilíndrico e com furo cônico, com placas de vedação em ambos os lados e com o anel interno largo.

Figura 6: Rolamento autocompensador de esferas



Fonte: [www.lojamaxima.com.br/rolamento-autocompensador-de-esferas/2307-rolamento-autocompensador-de-esferas-detail](http://www.lojamaxima.com.br/rolamento-autocompensador-de-esferas/2307-rolamento-autocompensador-de-esferas-detail)

### 3.1.5 Rolamento Axial de Esferas

Os rolamentos axiais de esferas são projetados para suportar cargas axiais e não devem ser usados quando houver qualquer carga radial. Ele é composto por arruelas desmontáveis (de eixo e de mancal) para facilitar a manutenção.

Figura 7: Rolamento axial de esferas



Fonte: [www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento](http://www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento)

### **3.2 Rolamentos de rolos**

#### **3.2.1 Rolamentos de rolos cilíndricos**

[Rolamentos de rolos cilíndricos](#) são produzidos em diferentes modelos, séries e até tamanhos, mas há diferenças entre eles e podem ser encontrados nas seguintes formas:

- de acordo com o número de carreiras de rolos (uma, duas ou quatro); e
- conforme o tipo de gaiola (com, sem ou projetos especiais).

Outra diferença está na configuração dos flanges de anéis interno e externo, conforme a posição e o número de flanges-guia.

Figura 8: Rolamento de rolos cilíndricos



Fonte: [www.iobras.com.br/rolamentos-rolos-cilindricos.php](http://www.iobras.com.br/rolamentos-rolos-cilindricos.php)

### 3.2.2 Rolamento agulha

Esse é um tipo de rolamento de rolos que apresenta diâmetro pequeno em comparação com seu comprimento. Por ter perfil modificado de pista/rolo, faz com que se evitem os picos de tensão e, dessa forma, se prolongue sua vida útil. Os rolamentos de agulhas possuem diferentes perfis e ampla variedade de materiais, séries e tamanhos. Desse modo são indicados para as mais diversas aplicações e condições operacionais.

Figura 9: Rolamento agulha



Fonte: [www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2](http://www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2)

### 3.2.3 Rolamentos de rolos cônicos

É o modelo de rolamento que apresenta pistas de anel interno e externo cônicas e rolos cônicos. Por essa configuração, suportam cargas combinadas, em outras palavras, significa que comportam cargas axiais e cargas radiais atuando ao mesmo tempo. Como forma de proporcionar ação de rolagem verdadeira e, assim, garantir poucos momentos de atrito durante a operação, contam com linhas de projeção das pistas que se encontram em um ponto comum no eixo do rolamento. Sua capacidade de carga axial aumenta com ângulo de contato crescente.

Figura 10: Rolamento de rolos cônicos



Fonte: [www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2](http://www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2)

### 3.2.4 Rolamentos autocompensadores de rolos

São os rolamentos que contam com duas carreiras de rolos simétricas, sendo uma pista esférica comum no anel externo e duas pistas no anel interno inclinadas em um ângulo em relação ao eixo do rolamento. O ponto central da esfera na pista do anel externo está no eixo do rolamento. Têm como características: acomodar desalinhamentos; alta capacidade de carga, vida útil longa, baixo atrito e robustez.

Figura 11: Rolamento autocompensador de rolos



Fonte: [www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2](http://www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2)

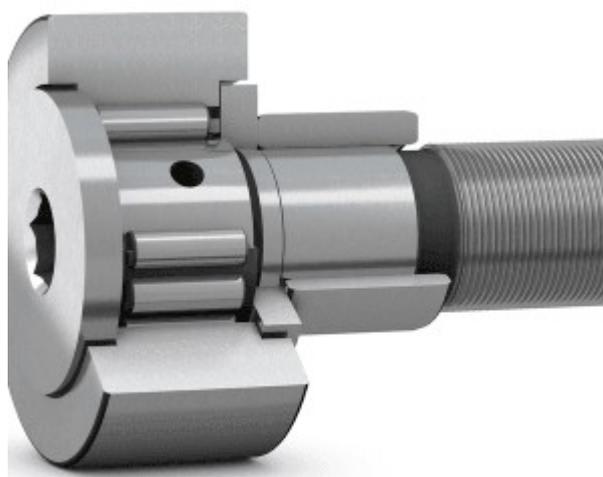
### 3.2.5 Rolamento de leva com eixo

Acima de tudo, um [rolamento de rolos de leva com eixo](#) é fundamentado em rolamentos de rolos de agulhas ou cilíndricos. Ele possui um pino sólido roscado no lugar do anel interno. Disponível em diversos modelos e variantes, como forma de requisitos de aplicações diferentes:

- com ou sem uma gaiola; com diferentes modelos de pino;
- várias soluções de vedação; e
- perfil de superfície de rolagem do anel externo.

Assim, o rolo de leva com eixo conta com maior suporte a cargas radiais elevadas e a cargas axiais, ou seja, maior vida útil e facilidade de montagem.

Figura 12: Rolamento de leva com eixo



Fonte: [www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2](http://www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/#2)

#### **4 TIPOS DE FALHAS E MODOS DE DANOS**

Devido à crescente atenção dada para evitar as recorrentes falhas de um rolamento, a ISO (Organização Internacional para Padronização) desenvolveu uma metodologia para classificar as falhas dos rolamentos (ISO 15243:2004). Ou seja, essa norma identifica seis principais grupos de modos de falha e dezesseis subgrupos, todos relacionados a danos ocorridos após a fabricação.

A norma baseia-se principalmente em características que são visíveis nos elementos rolantes, pistas e outras superfícies funcionais. Também identifica os mecanismos envolvidos em cada tipo de falha. Sendo assim, a maioria dos danos causados em um rolamento pode ser associada aos seis grupos principais, bem como aos vários subgrupos classificados. As definições dos modos de falha em um rolamento serão descritas mais adiante. Primeiro, é importante destacar que a maioria dos danos resultantes pode ser facilmente detectada e monitorada. Principalmente quando o monitoramento de condições de trabalho de um rolamento, fizer parte de um abrangente programa de manutenção.

A detecção de falhas de rolamentos pode ser realizada com base em diferentes portadores de informações, como informações de propriedades do lubrificante, informações de temperatura, emissão acústica, assinatura de corrente ou sinal de vibração. A análise baseada em vibração é a abordagem mais usada devido à sua facilidade de medição e relativamente maior sinal para relação de ruído (Osman e Wang, 2014).

Através da análise de vibração, os primeiros sinais de danos ao rolamento podem ser detectados, permitindo que o pessoal de manutenção tome ações corretivas em tempo hábil. Isso pode reduzir significativamente tempos de parada e custos inesperados. Também pode evitar falhas catastróficas que danifiquem componentes adjacentes. Portanto permite que o pessoal de manutenção examine o rolamento danificado em um estágio inicial. Possibilitando determinar a causa raiz e tomar medidas necessárias para evitar a repetição do problema.

#### **4.1 Classificação das falhas**

A maioria das falhas em um rolamento pode ser classificada em duas categorias: pré-operacionais e operacionais. Sendo assim, os danos pré-operacionais são aqueles que ocorrem antes ou durante a instalação do rolamento. Portanto, os danos operacionais ocorrem enquanto o rolamento está em operação.

Falhas pré-operacionais: ajuste incorreto do eixo e da caixa de mancal, assento de rolamento defeituoso nos eixos e nas caixas de mancal, desalinhamento estático, práticas de montagem inadequadas, tensão excessiva por passagem de corrente elétrica através do rolamento e transporte, manuseio e armazenagem.

Danos operacionais: fadiga do material, lubrificação ineficiente, vedação ineficiente, vibração (falso brinelamento), desalinhamento operacional e fuga de corrente por passagem de corrente elétrica através do rolamento.

## 4.2 Classificação ISO dos danos e modos de falhas

### 4.2.1 Fadiga

Alteração na estrutura do material causada pelas tensões cíclicas desenvolvidas nas áreas de contato entre os elementos rolantes e as pistas. Assim, a fadiga manifesta-se visivelmente como descascamento de partículas da superfície. O tempo entre o início e o estágio avançado de descascamento varia com a rotação e a carga.

Figura 13: Rolamento danificado por fadiga



Fonte: <http://www.abs-rolamentos.pt/pt/avarias/lascamento>

A fadiga subsuperficial apresenta um início de micro trincas abaixo da superfície da pista. Quando essas micro trincas se propagam para a superfície, produzem lascas (escamação). Já a fadiga iniciada na superfície apresenta uma condição chamada estresse de superfície. Onde há uma remoção das asperezas (rugosidade) da superfície metálica de contato rolante devido a lubrificação inadequada.

### 4.2.2 Desgaste

Remoção progressiva de material resultante da interação de duas superfícies de contato deslizantes ou de rolagem/deslizante durante a operação.

Figura 14: Rolete com desgaste



Fonte: [www.abs-rolamentos.pt/pt/avarias/desgaste](http://www.abs-rolamentos.pt/pt/avarias/desgaste)

O desgaste abrasivo se dá por resultado de [lubrificação inadequada](#) ou da entrada de contaminantes. Em contra partida, no desgaste adesivo, o material é transferido de uma superfície para outra com o calor gerado pelo atrito, algumas vezes com têmpera ou re-endurecimento da superfície.

#### 4.2.3 Corrosão

A deterioração de uma superfície metálica, resultante da oxidação ou reação química nas superfícies metálicas.

Figura 15: Rolamento apresentando corrosão



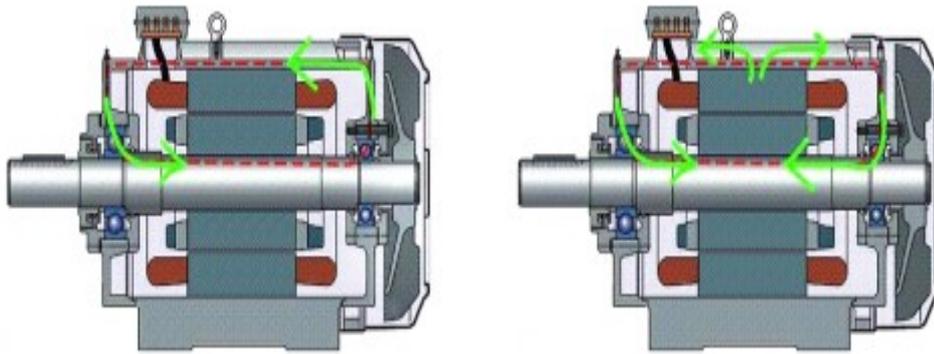
Fonte: [www.abecom.com.br/falhas-de-um-rolamento](http://www.abecom.com.br/falhas-de-um-rolamento)

A corrosão por umidade decorre na oxidação das superfícies em presença de umidade. Na corrosão por atrito há reação química ativada pelo micromovimento relativo entre as superfícies em contato, sob certas condições de atrito. Quando se dá a corrosão por contato resulta em oxidação e desgaste das asperezas superficiais devido micromovimento oscilatório. Há ainda uma situação especial chamada resistência à medição do falso Brinell onde há formação de depressões rasas resultantes do micromovimento causado por vibrações cíclicas quando uma máquina está parada. Assim, as depressões igualmente espaçadas correspondem ao espaçamento dos elementos rolantes na pista.

#### **4.2.4 Erosão elétrica**

Danos nas superfícies de contato (remoção de material) causados pela passagem de correntes elétricas. Esses danos ocorrem devido a tensão excessiva onde há uma fuga de corrente elétrica e aquecimento localizado causados pela passagem da corrente na área de contato por causa de isolamento ineficiente.

Figura 16: Passagem de corrente elétrica pelo rolamento



Fonte: [mapropsi.wordpress.com/2012/01/16/passagem-de-corrente-eletrica-em-rolamentos](http://mapropsi.wordpress.com/2012/01/16/passagem-de-corrente-eletrica-em-rolamentos)

Ainda pode ocorrer devido a fuga de corrente que resulta em geração de crateras rasas por causa da passagem de corrente (baixa). As crateras situam-se próximas umas das outras. Desse modo, com o passar do tempo transformam-se em estrias paralelas aos eixos de rolagem e são igualmente espaçadas.

#### 4.2.5 Deformação plástica

Deformação permanente que ocorre sempre que o limite de elasticidade do material é ultrapassado. A deformação permanente por sobrecarga é causada por cargas estáticas ou de choque, levando à deformação plástica do rolamento (brinelamento).

Figura 17: Deformação plástica



Fonte: [www.br.bearing-news.com/danos-no-rolamento-como-evitar-as-causas-comuns-de-falhas-no-rolamento](http://www.br.bearing-news.com/danos-no-rolamento-como-evitar-as-causas-comuns-de-falhas-no-rolamento)

As endentações por detritos são causadas por partículas pelas quais passam os elementos rolantes nas áreas de contato formam entalhes nas pistas e nos elementos rolantes.

O tamanho e a forma dos entalhes dependem da natureza das partículas. No caso de endentações por manuseio as superfícies do rolamento que são entalhadas ou marcadas por objetos duros e cortantes.

#### 4.2.6 Fratura ou trinca

A resistência à tração máxima do material é excedida e ocorre a separação completa de uma parte do componente. Uma fratura é forçada quando é causada pela concentração de tensões que excede a resistência à tração. Já em uma fratura por fadiga tem-se que é uma fratura causada porque o limite de resistência à fadiga do material é frequentemente ultrapassado. E ainda por último temos a trinca térmica que são trincas geradas pelo alto calor decorrente de atrito. Normalmente ocorrem perpendicularmente à direção do movimento deslizante.

Figura 18: Fratura



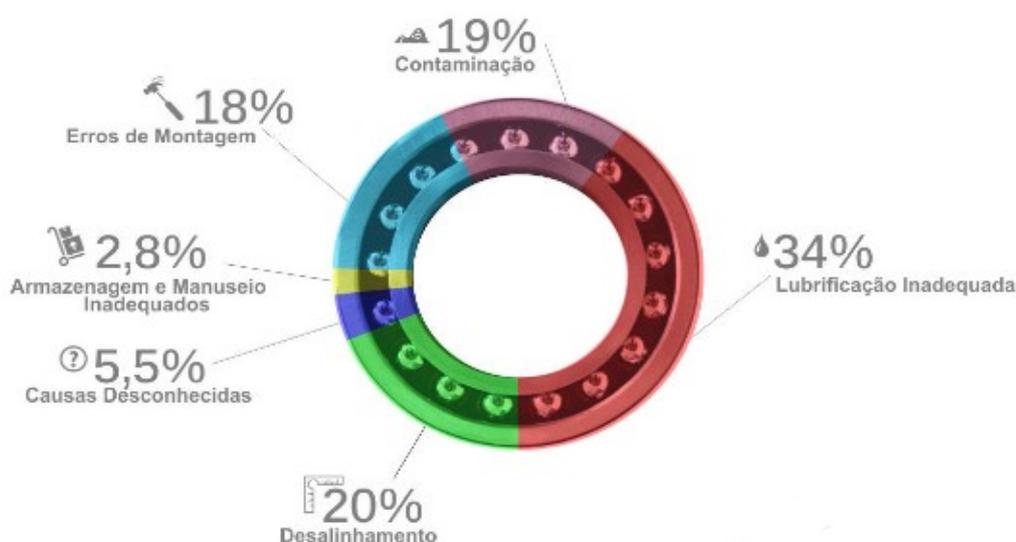
Fonte: [www.docplayer.com.br/73841280-Rolamentos-autocompensadores-de-rolos-com-microestrutura-bainitica-vs-martensitica-em-maquina-de-lingotamento-continuo.html](http://www.docplayer.com.br/73841280-Rolamentos-autocompensadores-de-rolos-com-microestrutura-bainitica-vs-martensitica-em-maquina-de-lingotamento-continuo.html)

## 5 CAUSAS PRÉ-OPERACIONAIS DE FALHAS

Quando uma superfície com defeito de um elemento do rolamento entra em contato com outra superfície do rolamento, este choque produz um impulso que excita ressonâncias no rolamento e na máquina. Estes impulsos irão ocorrer periodicamente com uma frequência que é determinada, unicamente, pela localização do defeito, sendo ele na pista interna, na pista externa ou no elemento girante (MacFadden, 1984).

Levando em consideração os principais tipos de danos e as falhas mais comuns que esses danos ocasionam nos equipamentos a bordo e na indústria, foram levantadas as causas mais encontradas derivadas de paradas de equipamentos, manutenção preventiva ou corretivas. As principais causas serão descritas abaixo, bem como a sua descrição.

Figura 19: Causas de falha



Fonte: [www.engeteles.com.br/falhas-em-rolamentos](http://www.engeteles.com.br/falhas-em-rolamentos)

### 5.1 Ajustes incorretos do eixo e da caixa de mancal

Um ajuste incorreto no eixo ou na caixa de mancal pode resultar em uma folga ou pré-carga excessiva, que pode produzir qualquer uma das seguintes condições: deslizamento do anel (o anel gira em seu assento), corrosão por contato, trincas nos anéis, menor capacidade de carga, cargas induzidas e temperaturas de operação excessivas. Portanto, o ajuste adequado é fundamental para a vida útil do rolamento e o desempenho da aplicação.

### 5.2 Assentos de eixos ou caixa de mancal defeituosos

As fórmulas usadas para calcular a vida útil do rolamento assumem hipóteses básicas. Uma dessas hipóteses é que os assentos do eixo e do mancal atendam às especificações geométricas. Entretanto, existem outros fatores que podem afetar negativamente os componentes fabricados com as especificações mais exigentes. Por exemplo, os assentos do eixo e da caixa de mancal podem estar deformados, ou seja, cônicos, desvio de circularidade, fora de esquadro ou termicamente deformados.

A mesma condição pode ser produzida por um assento de rolamento em uma caixa de mancal corretamente fabricada, mas que se deformou quando foi fixado à estrutura da máquina ou superfície de apoio.

### **5.3 Desalinhamento estático**

O desalinhamento estático, uma causa comum de superaquecimento e/ou descascamento prematuro, manifesta-se quando há alguma das seguintes condições:

- O anel interno está assentado contra um ressalto do eixo que não está em esquadro com o assento do rolamento.
- O anel externo está assentado contra um ressalto da caixa de mancal que não está em esquadro com o furo da caixa de mancal.
- Os dois furos da caixa de mancal não são concêntricos ou coaxiais.
- Um rolamento está incorretamente instalado em seu ressalto e ficou mal posicionado em seu assento.
- O anel externo de um rolamento livre está mal posicionado em seu assento.

Os rolamentos autocompensadores não são um remédio para todas as falhas de alinhamento. Por exemplo, quando o anel interno rotativo de um rolamento autocompensador não está em esquadro com o assento do eixo, vai oscilar à medida que gira. Desse modo pode causar problemas de lubrificação e desgaste prematuro e/ou fadiga prematura iniciada na superfície.

### **5.4 Práticas de montagem inadequadas**

Abuso e negligência, antes da montagem e durante ela, muitas vezes causam danos e fadiga prematuros ou falha. Uma das principais causas de falhas por fadiga precoces é o dano por impacto durante o manuseio, montagem, armazenamento e/ou operação. Nesses casos, o impacto é maior do que a resistência do material (sobrecarga), que se deforma plasticamente. O dano começa em uma endentação e, finalmente, causa a falha prematura do rolamento.

### **5.5 Passagem de corrente elétrica excessiva através do rolamento**

Em certas condições, a corrente elétrica passa através de um rolamento procurando o terra. Por exemplo, ao reparar um eixo, potenciais elétricos excessivos podem ser causados devido a aterramento inadequado do equipamento de soldagem. Danos graves são causados por arcos voltaicos entre um anel de rolamento e os elementos rolantes e entre estes e o outro anel. O dano pode ocorrer durante uma parada, mas normalmente ocorre em operação. No entanto, esse tipo de dano é classificado como pré-operacional.

### **5.6 Danos de transporte e armazenagem**

Danos tipicamente associados ao transporte incluem brinelamento (sobrecarga) por cargas de choque ou falso Brinell por vibração. Brinelamento é o resultado de um impacto. O impacto pode ocorrer como resultado de manuseio inadequado do rolamento ou de cargas de choque em uma aplicação. Dependendo da gravidade do dano o brinelamento aumenta os níveis de ruído e vibração e reduz a vida útil do rolamento. Para identificar o brinelamento, verifique se a distância entre as áreas danificadas corresponde à distância entre os elementos rolantes. Quando armazenada, a embalagem do rolamento deve permanecer em boas condições, caso contrário o rolamento pode se deteriorar. Isso também se aplica a rolamentos já montados em subconjuntos. Os rolamentos devem ser adequadamente protegidos.

### **5.7 Lubrificação ineficiente**

Um dos princípios para do cálculo da expectativa de vida de um rolamento, é que o rolamento será lubrificado corretamente. Ou seja, significa que o lubrificante correto, na quantidade correta chegará ao rolamento no momento correto. Para que sua operação seja

confiável, todos os rolamentos necessitam de lubrificação adequada. Em outras palavras, o lubrificante separa os elementos rolantes, gaiola e pistas em ambas as regiões de contato, de rolagem e deslizamento.

Portanto, sem lubrificação eficaz, o contato metal-metal ocorre entre os elementos rolantes, pistas e outras superfícies de contato, danificando essas superfícies. Sendo assim, muitos danos são causados por alguns aspectos, por exemplo:

- por lubrificante de viscosidade insuficiente;
- viscosidade excessiva do lubrificante;
- excesso de lubrificação;
- quantidade inadequada de lubrificante;
- lubrificante contaminado ou lubrificante errado utilizado na aplicação.

Uma análise aprofundada das propriedades do lubrificante, da quantidade de lubrificante aplicada ao rolamento e das condições de funcionamento aplica-se a qualquer análise de falhas causadas pela lubrificação.

### **5.8 Vibração (falso brinelamento)**

A vibração, especialmente durante paradas, é outra causa de falha de um rolamento. Como no caso de equipamentos auxiliares e de reserva, a falha por vibração pode ser causada por máquinas próximas que estejam em operação. Dependendo da proximidade entre a unidade ociosa e a que está em funcionamento, a vibração criada pelo equipamento operacional faz com que os elementos rolantes do rolamento da máquina parada vibrem.

Dependendo da intensidade e frequência da vibração, da condição do lubrificante e da carga, ocorre uma combinação de corrosão e desgaste, formando depressões rasas na pista. As depressões, que têm o mesmo espaçamento dos elementos rolantes, são muitas vezes descoloridas (avermelhadas) ou brilhantes (depressões esféricas em rolamentos de esferas, linhas em rolamentos de rolos).

### **5.9 Desalinhamento operacional**

Causas de desalinhamento operacional incluem deflexões do eixo causadas por cargas pesadas ou mudanças de amplitude de carga durante a operação (carga desbalanceada). Dessa forma, quando há desalinhamento operacional, as zonas de carga não são paralelas às ranhuras da pista. O resultado é cargas axiais induzidas, que podem ser perigosas, porque podem levar à fratura por fadiga.

### **5.10 Passagem de corrente elétrica através do rolamento**

Os danos causados por corrente podem ocorrer mesmo se a intensidade da corrente for relativamente baixa. Portanto, correntes elétricas parasitas podem ser causadas por qualquer um dos seguintes:

- inversores de frequência;
- assimetrias de fluxo;
- projeto do motor;
- cabeamento assimétrico;
- aterramento e máquina acionada.

Inicialmente, a superfície é danificada por crateras rasas, que estão posicionadas umas próximas das outras e tão pequenas ao ponto de necessitarem de ampliação para serem vistas. A extensão do dano depende de alguns fatores:

- tipo de rolamento;
- intensidade da corrente (amperagem);
- duração;
- carga no rolamento;
- folga do rolamento;
- rotação e lubrificante.

A falha causada por corrente também pode ser originado por eletricidade estática proveniente de correias carregadas ou de processos de fabricação envolvendo couro, papel, tecido ou borracha. Essas correntes parasitas passam através do eixo e do rolamento indo para

o aterramento. Quando a corrente atravessa o filme lubrificante entre os elementos rolantes e as pistas, ocorrem arcos voltaicos microscópicos.

## **6 CONCLUSÃO**

A manutenção é de extrema importância para qualquer empresa, pois seu principal objetivo é manter a disponibilidade dos equipamentos, gerenciar os recursos e eliminar os defeitos das máquinas para manter o padrão de qualidade dos produtos. Levar em consideração esse conceito se faz também de extrema importância a bordo de uma embarcação da Marinha Mercante, pois o processo de manutenção não se resume apenas em

consertar um equipamento: esse é um paradigma do passado na manutenção. O oficial de máquinas responsável pela manutenção a bordo nos dias atuais deve possuir as ferramentas técnicas e tecnológicas para que o processo da manutenção não acarrete custos excessivos e desnecessários, paradas inesperadas e indisponibilidade nos equipamentos.

Entender como ocorreu uma falha e conhecer as inúmeras possibilidades que possam ter ocasionado a mesma durante uma investigação crítica pode ser um diferencial para o oficial de máquinas durante o desempenho de suas funções a bordo.

## REFERÊNCIAS

AFFONSO, Luiz Otávio Amaral. **Equipamentos Mecânicos**. Rio de Janeiro. 2ª Edição. 2013. Editora Quality Mark.

Análise de falhas em rolamentos; Disponível [https://www.timken.com/resources/rolamento-analises-de-dano\\_impresao\\_7352/](https://www.timken.com/resources/rolamento-analises-de-dano_impresao_7352/). Acesso em 12/11/2020.

Classificação das falhas em um rolamento; Disponível em <https://www.abecom.com.br/falhas-de-um-rolamento/>. Acesso em 17/10/2020.

Falhas em Rolamentos; Disponível em <https://engeteles.com.br/falhas-em-rolamentos/>. Acesso em 20/11/2020.

Gonzales, C., (2015). **“What’s the Difference Between Bearings?”** Disponível em: [www.machinedesign.com/whats-difference-between/what-s-differencebetween-bearings-1](http://www.machinedesign.com/whats-difference-between/what-s-differencebetween-bearings-1). Acesso em: 15/11/2020.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro. 10ª Edição. 2012. Editora Érica.

Osman, S., & Wang, W. (2014). **“A normalized Hilbert-Huang transform technique for bearing fault detection”**. Journal of Vibration and Control, vol. 22, nº 11, pp. 2771 – 2787.