

APOSTILA SOBRE MANUTENÇÃO MECÂNICA

Prof. Celso Daniel Galvani Junior
CURSO DE TÉCNICO EM MECÂNICA
IFSP – *CAMPUS AVARÉ*

Avaré - SP
2023

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Análise de vibração em um motor elétrico	4
Figura 2 – Aspecto característico de uma falha por fadiga.....	11
Figura 3 – Falha por choque térmico de voluta de bomba centrífuga causada por falha no condicionamento do equipamento.....	12
Figura 4 – Bloqueio em painel elétrico com cadeados de operação, manutenção e segurança industrial	17
Figura 5 – Usinagem de campo de flange de grande dimensão.....	21
Figura 6 – Recuperação de engrenagem com solda	22
Figura 7 – Processo de aspersão térmica	23
Figura 8 – Reparo de peça pela técnica da costura a frio	27
Figura 9 – Rompimento de parafusos durante teste hidrostático	29
Figura 10 – Inspeção de parafusos por líquido penetrante	30
Figura 11 – Torquímetro	31
Figura 12 – Aperto com ferramenta hidráulica	31
Figura 13 – Exemplo de aplicação de aquecimento através de indução	32
Figura 14 – Ferramenta hidráulica de alongamento de parafuso	32
Figura 15 – Sequência de aperto de flanges	33
Figura 16 – Balanceamento de rotor de turbina a vapor	35
Figura 17 – Tipos de desalinhamento	36
Figura 18 – Alinhamento com uso de relógio comparador	37
Figura 19 – Alinhador a laser	37
Figura 20 – Desalinhamento radial em acoplamento com espaçador	38
Figura 21 – Quebra de eixo de bomba centrífuga causado por desalinhamento	39
Figura 22 – Mancal radial de geometria fixa e de sapatas	41
Figura 23 – Checagem de assentamento de mancal de deslizamento	42
Figura 24 – Falha em mancal radial por desnivelamento da caixa de mancal ..	43
Figura 25 – Mancal de escora de deslizamento	43
Figura 26 – Progressão de falha por fadiga superficial em pista de rolamento ..	45
Figura 27 – Procedimento de montagem de rolamento com por impacto	46
Figura 28 – Rolamento com danos causados por impacto na montagem	47
Figura 29 – Marcas de trabalho em rolamentos	48

Figura 30 – Montagem de rolamentos de contato angular	49
Figura 31 – Ferramenta para montagem de rolamentos	50
Figura 32 – Aquecedor por indução para rolamentos	51
Figura 33 – Componentes de um selo mecânico	55
Figura 34 – Selo mecânico tipo componentes	56
Figura 35 – Selo mecânico tipo cartucho	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	2
2.1	MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	2
2.2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	2
2.3	MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	3
2.4	MANUTENÇÃO PROATIVA.....	5
3	CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE FALHAS.....	6
3.1	OBJETIVOS.....	7
3.2	CONCEITO DE VIDA ÚTIL E FALHA PREMATURA.....	7
3.3	METODOLOGIA DA ANÁLISE DE FALHAS.....	8
3.4	MODOS DE FALHA.....	10
3.5	CAUSA BÁSICA.....	11
3.6	REGISTROS.....	13
3.7	ORGANIZAÇÃO PARA PREVENÇÃO DAS FALHAS.....	14
4	ETAPAS DA MANUTENÇÃO.....	16
4.1	PLANEJAMENTO.....	16
4.2	LIBERAÇÃO OPERACIONAL.....	16
4.3	DESMONTAGEM.....	17
4.4	LIMPEZA E INSPEÇÃO.....	18
4.5	LEVANTAMENTO DIMENSIONAL.....	18
4.6	IDENTIFICAÇÃO DE MATERIAIS.....	18
4.7	DEFINIÇÃO DE ESCOPO.....	19
4.8	RECUPERAÇÃO.....	19
4.9	MONTAGEM.....	19
4.10	COMISSIONAMENTO.....	20
5	TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO.....	21
5.1	USINAGEM.....	21
5.2	SOLDAGEM.....	22

5.3	REVESTIMENTOS.....	23
5.3.1	Aspersão térmica.....	23
5.3.2	Deposição química.....	25
5.3.3	Revestimentos poliméricos.....	26
5.4	COSTURA A FRIO.....	26
5.5	ENXERTO.....	27
6	LIGAÇÕES PARAFUSADAS.....	28
6.1	INSPEÇÃO, LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO.....	29
6.2	CONTROLE DE TORQUE.....	30
7	MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS ROTATIVOS.....	34
7.1	BALANCEAMENTO.....	34
7.2	ALINHAMENTO.....	36
7.3	MANCAIS.....	39
7.3.1	Mancais de deslizamento.....	40
7.3.2	Mancais de rolamento.....	44
7.4	LUBRIFICAÇÃO.....	51
7.5	SELAGEM.....	54
8	CERTIFICAÇÃO.....	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A área de manutenção industrial é uma das principais áreas de atuação dos técnicos em mecânica e uma área de crescente investimento por parte das indústrias que buscam maximizar cada vez mais seus resultados financeiros e operacionais. Desta forma, é de extrema importância para formação destes profissionais, conhecimentos, tanto técnicos como de gestão, na área de manutenção industrial.

O objetivo deste trabalho é trazer conhecimentos específicos na área de manutenção mecânica, buscando enriquecer a formação profissional dos técnicos em mecânica e preparar os mesmos para o mercado de trabalho.

2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é a forma mais óbvia e primária de manutenção; pode sintetizar-se pelo ciclo "quebra-repara", ou seja, o reparo dos equipamentos após a avaria. Constitui a forma mais cara de manutenção quando encarada do ponto de vista total do sistema. Podem ser listadas as seguintes desvantagens:

- Leva a um número elevado de intervenções não programadas e não planejadas em equipamentos;
- Falhas que levam a perdas de produção;
- Aumento de número de peças de reposição em estoque, para reduzir o efeito das paradas não programadas. Isso eleva os custos de manutenção;
- Reduz o cumprimento de programação da manutenção;
- Aumento das horas extras e chamadas de equipes de manutenção em horários fora do expediente (ex: finais de semana);
- Uso não otimizado de mão de obra, pois essa tem de ser constantemente realocada para serviços emergenciais não programados.

2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Esse tipo de manutenção é muito conhecido e amplamente utilizado. A manutenção preventiva tem como objetivo evitar quebras e o aparecimento de falhas em máquinas e componentes.

As tarefas preventivas são realizadas de forma periódica, sendo cumpridas antes que surjam avarias e falhas ocorram, garantindo que as máquinas mantenham seu funcionamento eficaz e de forma confiável.

Todos os procedimentos preventivos são programados e devem ser realizados de forma periódica, seguindo um intervalo previamente determinado e de maneira totalmente planejada. Isso evita quedas de rendimento, paradas para reparos e, principalmente, diminui os custos da manutenção.

Um exemplo bastante simples de manutenção preditiva é aquela utilizada em automóveis. Itens como óleo de motor, filtros de óleo e ar, velas e correias são trocados de acordo com a quilometragem do veículo. Para equipamentos industriais o mesmo se aplica, sendo o parâmetro para troca o tempo de operação do mesmo.

As operações de lubrificação em equipamentos industriais, como troca de óleo, são, quase que na sua totalidade, ligadas à manutenção preventiva.

2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se da manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado.

Para ser executada, a manutenção preditiva utiliza aparelhos adequados, capazes de registrar vários fenômenos, tais como:

- a) Vibração;
- b) Pressão;
- c) Temperatura;

Com base no conhecimento e análise dos fenômenos, torna-se possível indicar, com antecedência, eventuais defeitos ou falhas nas máquinas e equipamentos.

O caso mais típico de manutenção preditiva é o acompanhamento de vibração de equipamentos rotativos para determinar as condições de mancais de rolamento. Esses tipos de mancais têm como modo de falha característico a fadiga superficial, sendo um processo de falha que progride e apresenta níveis de vibração crescentes com o avanço do defeito. Dessa maneira é possível detectar o defeito em seu estágio inicial e acompanhar sua progressão, determinando o melhor momento para a intervenção.



Figura 1 – Análise de vibração em um motor elétrico. (<https://engeteles.com.br/manutencao-preditiva/>)

Outro exemplo típico é a detecção de problemas de desalinhamento entre equipamentos, que gera vibrações elevadas e reduz a vida útil de componentes como selos mecânicos e acoplamentos.

Com isso, é possível realizar a manutenção de maneira totalmente planejada, tendo em mãos todos os sobressalentes necessários, sem imprevistos, como paradas de produção não esperadas, e aproveitando ao máximo a vida de certos componentes.

O custo inicial de implementação de uma equipe de manutenção preditiva é relativamente alto, pelos equipamentos e softwares necessários, mas o retorno financeiro à organização se dá de diversas maneiras:

- Redução de custos de manutenção por otimizar o uso dos equipamentos;

- Permite operar os equipamentos mesmo com um processo de falha em andamento, dentro de uma faixa de risco admitido;
- Redução de manutenção corretiva e sua imprevisibilidade;
- Permite melhorar o cumprimento da programação de manutenção;
- Otimiza a utilização da mão de obra;
- Aumento da confiabilidade de equipamentos;
- Permite evoluir, por meio de conhecimentos adquiridos com o tempo;
- Melhora a imagem da manutenção junto ao cliente interno;
- Melhora o nível técnico da equipe como um todo;
- Diminuição do risco de desastre ambiental e acidentes com as instalações.

2.4 MANUTENÇÃO PROATIVA

A Manutenção Proativa, também conhecida como Manutenção de Diagnósticos, resulta da combinação da Preditiva com a Preventiva e possibilita aos usuários dessa técnica identificar problemas potenciais (Análise de Falhas) antes de acontecerem, impactando em um aumento da vida útil do equipamento. Com isso, evita-se perda de produção e tempo com reparos não previstos.

Uma das suas linhas base de atuação é na monitoração de contaminação de óleo lubrificante em equipamentos rotativos ou óleo de sistemas hidráulicos, já que essa é uma das maiores causas de falhas nesses tipos de equipamentos. Portanto, a abordagem inicial lógica para a manutenção proativa é a implantação de programas de controle rigoroso da contaminação para fluidos lubrificantes, hidráulicos, líquidos arrefecedores, ar e combustível.

Assim como na Manutenção Preditiva, é necessário investimento inicial na formação da equipe e aquisição de equipamentos. Também importante ressaltar que mais importante do que a técnica, são as atitudes proativas da equipe que vão desde a função mais simples, passando por técnicos e engenheiros até os responsáveis pelo gerenciamento da área de manutenção.

3 CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE FALHAS

De maneira simplificada, pode-se definir confiabilidade como a operação de um produto ou sistema na ausência de quebras ou falhas. Dentro do conceito de engenharia de confiabilidade, diz-se que:

“A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas. ”

Existem alguns parâmetros que podem ser medidos e acompanhados de forma a se avaliar a confiabilidade de plantas industriais. Recomenda-se a leitura das obras específicas listadas na bibliografia deste trabalho para se aprofundar nessa área.

Dentro do cenário crescente de competitividade de mercado, as empresas buscam cada vez mais ferramentas de gestão para aumento de produtividade. A gestão da manutenção é de grande importância para qualquer empresa que busque alcançar bons resultados e manter seu potencial competitivo. Dentre os objetivos almejados, estão a otimização de recursos financeiros e a elevada continuidade operacional, fazendo uma ligação direta com o conceito de confiabilidade.

Um dos métodos utilizados em empresas que buscam aumentar a confiabilidade de seus ativos é a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC ou RCM do inglês), método que tem como paradigma a “preservação da função do sistema”. Estão entre as principais preocupações operacionais: analisar falhas; probabilidades de recorrências; definição de procedimentos; critérios de priorização baseados em fatores econômicos e práticas eficientes e seguras envolvendo o custo-benefício no combate às falhas.

Dentre as ações que compõe um plano de confiabilidade para uma indústria que investe na confiabilidade de seus ativos, está a prática da análise de falhas, que estudaremos em mais detalhe neste capítulo.

3.1 OBJETIVOS

A prática da análise de falhas tem por objetivo definir as causas iniciais que levam às falhas de equipamentos, definir e implementar ações que impeçam que essas falhas se repitam. Dessa forma é possível aumentar a disponibilidade e segurança operacional e também reduzir os custos de manutenção.

A análise de falhas deve determinar os fatores que impediram que todas as fases da vida do equipamento fossem cumpridas com sucesso, obtendo explicação para os eventos passados até um ponto em que seja possível tomar uma medida que bloqueará a repetição do problema. Esses eventos passados, que se constituem nas causas primeiras dos defeitos, são chamados de causas básicas, em contraposição às causas imediatas, que são somente os eventos com um nexo causal imediato à falha.

Diz-se que um componente de um equipamento falhou quando ele não é mais capaz de executar a sua função com segurança.

3.2 CONCEITO DE VIDA ÚTIL E FALHA PREMATURA

A vida útil de um equipamento/componente é o tempo de operação esperado do mesmo, sendo associado a um modo de falha específico, e deve ser definido como critério de projeto.

O conceito de falha prematura é aplicável se o defeito ocorrer dentro do período de vida útil do componente.

Como exemplos, temos que o modo de falha de rolamentos que caracteriza o fim da sua vida útil é fadiga superficial e sua vida esperada (L10) pode ser calculada através de fórmulas disponíveis nos catálogos de fabricantes. Da mesma maneira, alguns componentes de equipamentos utilizados na mineração têm como modo de falha característico o desgaste. Defeitos oriundos de outros modos de falha devem sempre se tratados como anormalidades.

Alguns componentes são projetados para ter vida útil indefinida, como por exemplo, eixos de equipamentos rotativos, parafusos e mancais de deslizamento, sendo um defeito de um deles sempre uma falha prematura.

3.3 METODOLOGIA DA ANÁLISE DE FALHAS

Analisar uma falha é interpretar as características de um sistema ou componente deteriorado para determinar porque ele não mais executa sua função com segurança. Uma análise de falhas que não serve de subsídio para um conjunto de ações preventivas tem utilidade nula. Por outro lado, se não for possível determinar as causas básicas da falha não será possível introduzir melhorias no sistema.

O primeiro passo é determinar qual a profundidade da análise devemos utilizar. Problemas de baixo impacto na confiabilidade da planta e baixo custo devem ser tratados de maneira diferente de problemas de alto impacto na continuidade operacional, nos custos e na segurança das instalações e pessoas.

Para problemas mais simples, a análise pode ser feita pelo mecânico e seu supervisor, por exemplo. Um modelo que pode ser utilizado para esse tipo de análise é a técnica dos “5 Porquês”, que consiste em perguntar sequencialmente qual a causa do problema. Normalmente a resposta irá aparecer após cerca de 5 perguntas. Veja um exemplo abaixo:

Pergunta 1	Por que a bomba parou?	Rolamento travou
Pergunta 2	Por que o mancal travou?	Trabalhou sem óleo
Pergunta 3	Por que trabalhou sem óleo?	Óleo vazou pelo labirinto
Pergunta 4	Por que vazou pelo labirinto?	Ele se deslocou em operação
Pergunta 5	Por que se deslocou?	Folga de montagem errada
Pergunta 6	Por que a folga estava errada?	Não havia padrão de montagem

Tabela 1 – Análise de falha pela técnica dos “5 Porquês”

Já para falhas repetitivas, de maior impacto em custo, continuidade operacional e segurança, é necessária uma análise mais profunda. Preferencialmente essa análise deve ser realizada por um grupo multidisciplinar, envolvendo manutenção, engenharia e operação.

A análise mais completa deve seguir os seguintes estágios:

- a) Coleta de dados: devem ser levantados todos os dados disponíveis, como manuais do equipamento, histórico de intervenções anteriores, dados operacionais (vibração, vazão, temperatura, pressão), depoimentos de operadores, observações feitas no campo e do equipamento antes e após desmontagem.
- b) Testes e inspeções: peças danificadas devem ser cuidadosamente inspecionadas, através de inspeção visual e fotográfica, testes não destrutivos, ensaios mecânicos e análises químicas, se necessário. É importante o registro fotográfico, pois pode ser necessário para utilização nas etapas posteriores.
- c) Determinação dos modos de falha e causas básicas: com os dados coletados, o grupo deve trabalhar em conjunto na definição dos modos de falha (inicialmente) e posteriormente na determinação das causas básicas. Algumas ferramentas de análise de falhas, como Brainstorming, Árvore de Falhas ou Diagrama de Ishikawa (espinha de peixe) podem ajudar na determinação das causas básicas. Lembrar que podem existir mais de uma causa básica.
- d) Determinação das ações de correção: devem ser determinadas as ações necessárias para barrar as causas básicas e impedir novas falhas. As ações devem bem específicas (ex: modificação nas instalações, revisão de procedimento) e devem ter responsáveis e prazos.
- e) Elaboração de relatório: importante para divulgação da análise para os superiores na hierarquia da empresa, de forma a justificar a necessidade de implementação de mudanças que envolvam necessidade de investimentos.

3.4 MODOS DE FALHA

Também conhecidos como mecanismos de falha, são os mecanismos físicos ou químicos que levam a falha.

Segue uma listagem dos principais tipos de modos de falha para equipamentos mecânicos:

- a) Fraturas dúcteis: ocorrem normalmente por alguma sobrecarga e são sempre causadas por eventos anormais;
- b) Fraturas frágeis: ocorrem normalmente por sobrecargas ou impactos. Também são eventos anormais;
- c) Fadiga. Processo progressivo e localizado que leva componentes a falharem com tensões abaixo das de escoamento. Mais comum em equipamentos rotativos e normalmente ligado a anomalias. O aspecto da superfície de uma falha por fadiga é bastante característico. Pode ser iniciado por um outro mecanismo de falha, como a corrosão por exemplo;
- d) Desgaste: podendo ser classificado em abrasão (entre sólidos), erosão (causado por partículas sólidas carregadas por um fluido), fretting (causado por movimentos de baixa amplitude entre peças) e cavitação (formação e implosão de bolhas de vapor em uma corrente líquida).
- e) Corrosão: deterioração das propriedades úteis do material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente. Existem diversas formas, como: corrosão uniforme, corrosão sob tensão, corrosão-erosão, corrosão galvânica, dentre outras.

O aspecto físico das peças (superfícies que falharam) normalmente nos diz qual o mecanismo de falha que atuou. Portanto a preservação do aspecto das peças durante a desmontagem do equipamento é fundamental.



Figura 2 – Aspecto característico de uma falha por fadiga, com as marcas de praia

Dentro do processo de análise de falhas, a determinação dos modos de falha é de extrema importância.

3.5 CAUSA BÁSICA

Causas básicas se constituem das causas primeiras dos defeitos, ou seja, eventos iniciais que dão origem a um processo de eventos que levam às falhas.

As causas básicas devem ser divididas em grupos para facilitar a sua origem. Não existe uma regra única para classificação das causas básicas, e cada tipo de indústria pode encontrar uma classificação que seja mais adequada. Uma possível classificação é dada abaixo:

- a) Falhas de projeto. Nascem durante a fase de projeto do equipamento, podendo estar ligadas ao dimensionamento incorreto, seleção incorreta de material e condições operacionais não previstas, entre outros. Podem também estar ligados a modificações de projeto, normalmente feitas sem a devida análise.
- b) Falhas de fabricação. Defeitos de processamento de material, peças usinadas fora de sua tolerância dimensional, soldagem e tratamento térmico, entre outros.
- c) Falhas de montagem/instalação. Falhas na montagem do equipamento em fábrica e instalação no campo.
- d) Falhas de manutenção. Erros de montagem, ajustes incorretos, utilização de peças não originais ou com material errado, falhas de lubrificação, falta de documentação do equipamento, alinhamento incorreto ou falta de procedimentos.
- e) Falhas de operação. Em algumas indústrias, costumam representar uma parcela considerável das falhas. Operação de equipamentos fora da sua faixa de projeto (ex: bombas apresentando cavitação por operação com baixa vazão ou por temperatura do produto mais elevada), falhas no condicionamento de equipamento. Momentos de partida e parada de equipamentos são cruciais. Procedimentos operacionais adequados, com treinamento dos operadores, evitam grande parte dessas falhas.



Figura 3 – Falha por choque térmico de voluta de bomba centrífuga causada por falha no condicionamento do equipamento (falha operacional)

Deve-se ressaltar que mais de uma falha básica pode existir quando se examina a falha de um equipamento. Um dos erros mais comuns da prática de análise de falhas é encontrar apenas uma causa básica e pensar que ela é a única.

Outro erro bastante comum é confundir causa básica com modos de falhas. Fadiga ou desgaste não são causas básicas para a falha de um equipamento, são apenas modos (mecanismos) de falha.

3.6 REGISTROS

Uma parte muito importante e muitas vezes abandonada da prática de análise de falhas é manter um registro das análises de falhas realizadas, através de um banco de dados, que pode ser desde uma planilha Excel até um sistema de gerenciamento integrado (ex: ERP – Enterprise Resource Planning).

Esforços em melhorias para eliminar as falhas devem ser concentrados para as causas de falhas que geram maior impacto (financeiro, de produção ou segurança), e isso só é possível se houver um histórico de falhas anteriores e causas das falhas.

Os registros no banco de dados devem conter:

- a) Dados básicos do equipamento: identificador, tipo de equipamento (motor elétrico, bomba centrífuga, redutor, etc.), fabricante e modelo;
- b) Registro de peças substituídas ou recuperadas;
- c) Dados da falha: sintoma (ruído, falha de mancal, vazamento de selagem, etc.) e causa básica.

Além disso é importante manter arquivados os relatórios de manutenção e de análise de falhas, em lugar de fácil acesso a todos envolvidos na área de manutenção.

A partir desses dados é possível levantar os equipamentos com maiores taxas de falhas e quais as causas de falhas mais comuns (ex: falhas de selos mecânicos de bombas centrífugas).

3.7 ORGANIZAÇÃO PARA PREVENÇÃO DAS FALHAS

O conserto rápido, barato e eficiente de uma máquina danificada é somente uma parte do trabalho de uma organização estruturada para otimização do gerenciamento dos seus equipamentos. As lições aprendidas com as análises de falhas devem ser utilizadas para evitar sua repetição.

As análises de falhas de máquinas devem ser utilizadas como uma ferramenta adicional para descobrir pontos fracos dos equipamentos ou do sistema. Ela deve ser tratada como uma ação reativa, pois é realizada após o fato, sendo uma reação ao defeito observado. Não se deve esquecer das ações pró-ativas tradicionais para aumento de confiabilidade de equipamentos mecânicos:

- a) Manutenção preditiva (Monitoração e análise de vibrações, por exemplo);
- b) Manutenção preventiva (Lubrificação, por exemplo);
- c) Operar equipamentos dentro dos limites de projeto;
- d) Política de sobressalentes;
- e) Treinamento de mecânicos e operadores;
- f) Etc.

Após a análise das falhas e descoberta das suas causas básicas, o próximo passo é definir e implantar ações preventivas. Sempre vale a pena ressaltar que quaisquer modificações de projeto ou de procedimentos devem ser cuidadosamente analisadas. Nenhuma modificação deve ser implementada sem uma cuidadosa análise das suas consequências.

Essas ações preventivas podem ser as mais variadas possíveis, indo desde a modificação de um procedimento de operação ou manutenção até a completa substituição do equipamento em questão.

Embora muito possa ser feito para aumentar a confiabilidade das máquinas sem a ajuda dos operadores, os melhores resultados serão obtidos somente se estes

conhecerem e executarem o seu papel. Uma analogia simplista pode ser feita entre duas pessoas que utilizam o mesmo tipo de automóvel. É bastante intuitivo que aquele que se preocupa em manter o veículo em boas condições de lubrificação, abastece com combustível de qualidade adequada, mantém o carro limpo, opera dentro dos limites de projeto (não trafega por estradas em condições inadequadas, não carrega excesso de peso, mantém a pressão dos pneus correta, etc.), observa os instrumentos do painel e se mantém atento aos sinais de início de defeitos (ruídos, vibrações, vazamentos) vai obter uma vida mais longa e um menor custo de manutenção.

De extrema importância é a avaliação dos resultados. A melhor maneira de avaliar o progresso da confiabilidade de um conjunto de equipamentos é definir indicadores que representem o que se quer medir e calcular periodicamente esses indicadores. São muito úteis para o caso em questão os seguintes índices: Tempo médio entre falhas, Tempo médio para reparo e Custo de manutenção. Melhorias nesses indicadores indicam certamente uma melhoria do quadro geral. Esses mesmos indicadores podem ser utilizados para avaliar melhorias no caso da implementação de medidas corretivas num equipamento específico.

4 ETAPAS DA MANUTENÇÃO

As etapas do processo todo da manutenção podem variar de empresa para empresa, porém normalmente passam pelas etapas descritas nesse capítulo.

4.1 PLANEJAMENTO

Etapa inicial de um serviço de manutenção, onde se definem as tarefas a serem realizadas, materiais necessários e custo esperado de uma manutenção. Depois disso definido, é que se verifica quando a manutenção será realizada, dentro do planejamento semanal da carteira de manutenção.

Idealmente todas as manutenções devem ser precedidas de um planejamento bem feito. Se na rotina de uma indústria, iniciar um trabalho de manutenção sem nenhum planejamento é coisa rotineira, isso significa que o gerenciamento da área de manutenção não vai bem e que as pessoas estão “apagando incêndio” boa parte do tempo.

O resultado do planejamento é uma lista com todas as tarefas a serem realizadas durante o processo de intervenção e requisição de todos os materiais necessários, que deve ir para o departamento de suprimentos (compras). Para as peças não disponíveis em estoque são geradas requisições de compra.

É importante dizer que após a fase de abertura do equipamento e definição de escopo (final), pode ser necessário fazer ajustes no planejamento e adicionar (ou remover) tarefas e materiais.

4.2 LIBERAÇÃO OPERACIONAL

Etapa onde a equipe responsável pela operação do equipamento libera o equipamento para a equipe de manutenção.

Todas as fontes de energia (elétrica, térmica, mecânica e química) devem ser devidamente bloqueadas para garantir a segurança dos executantes da manutenção. Deve ser elaborado um documento (normalmente conhecido como matriz de bloqueio), listando todos os pontos a serem bloqueados com cadeados e identificados com etiquetas. É necessária a participação de um técnico de segurança no planejamento da liberação operacional.



Figura 4 – Bloqueio em painel elétrico com cadeados de operação, manutenção e segurança industrial. (www.tagout.com.br)

Somente após o final desse procedimento é que a equipe de manutenção pode começar a trabalhar no equipamento.

4.3 DESMONTAGEM

Desmontagem do equipamento no campo e/ou oficina, dependendo do tipo e tamanho do equipamento.

As peças devem devidamente separadas e acondicionadas em caixas identificadas para evitar que se percam.

É importante que durante essa fase, o responsável pela análise da falha (se houver) participe, coletando dados, evidências e fazendo registro fotográfico das peças.

4.4 LIMPEZA E INSPEÇÃO

Limpeza das peças do equipamento e inspeção das mesmas, a fim de verificar quais peças estão danificadas e precisam de troca ou reparo.

Também nesta fase participa o profissional encarregado pela análise de falhas.

4.5 LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

Levantamento dimensional das peças para verificar se atendem aos padrões definidos pelo fabricante. Todos os ajustes entre peças (folgas ou interferências) devem ser calculados e comparados com os valores disponíveis em manuais do equipamento ou padrões dimensionais para o tipo de equipamento em questão.

Os valores encontrados devem ser registrados no relatório de manutenção do equipamento.

4.6 IDENTIFICAÇÃO DE MATERIAIS

A identificação do tipo de material de certas peças, para saber qual o tipo de liga utilizado, pode ser necessário para algumas peças, principalmente quando se verifica a necessidade de reparo por solda, por exemplo. Profissionais habilitados para esse tipo de análise devem efetuar o trabalho.

4.7 DEFINIÇÃO DE ESCOPO

Após termos todas as peças limpas, inspecionadas e medidas, podemos definir com precisão aquelas que necessitam de substituição e/ou reparo e o escopo final da intervenção é definido.

Deve-se então rever o planejamento inicial da intervenção e fazer os devidos ajustes, se necessário, incluindo a requisição de materiais adicionais.

4.8 RECUPERAÇÃO

Recuperação de peças, através das técnicas descritas no próximo capítulo.

4.9 MONTAGEM

Após ter sido concluída a recuperação/compra de todas as peças necessárias, pode ser feita a montagem do equipamento.

Deve estar disponível para a equipe de execução o manual do equipamento e padrões de manutenção aplicáveis. Todos os ajustes (folgas e interferência) devem ser medidos/calculados e devem estar de acordo com o manual/padrão de manutenção. Esses valores devem ser anotados no relatório de manutenção do equipamento.

Os mecânicos de manutenção devem receber treinamento adequado para trabalhar com os tipos de equipamentos que a indústria trabalha. Somente assim pode-se garantir a qualidade do trabalho.

Durante a montagem final no campo, deve ser verificado o alinhamento entre equipamentos/componentes, como alinhamento entre bomba/motor ou alinhamento de acionamento por correias, dentre outros.

Todas as conexões parafusadas devem ser cuidadosamente apertadas, seguindo os valores de torques de aperto especificados para cada caso.

4.10 COMISSIONAMENTO

A conclusão de uma intervenção para manutenção em um equipamento não se dá com o final da montagem do equipamento no campo. Apesar de normalmente ser uma tarefa de responsabilidade da equipe de operação, o comissionamento e partida do equipamento são de extrema importância para que o equipamento volte a operar em boas condições, já que momentos de partida de equipamentos são uma das situações onde ocorre uma considerável parcela das falhas.

A equipe de manutenção deve acompanhar a partida do equipamento e fazer uma checagem do mesmo logo que o mesmo entrar em operação, para verificar se não existem vazamentos, ruídos ou outros problemas. Se existir uma rotina de medição de vibração e temperatura dos equipamentos, essas leituras devem ser feitas assim que o equipamento volta de uma manutenção.

5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO

As peças onde foram constatados danos passíveis de recuperação devem ser identificadas e enviadas para reparo interno ou externo, sendo que o reparo deve ser feito de maneira a garantir que a peça possa voltar a exercer a sua função com o mesmo desempenho e segurança de uma peça nova.

Abaixo estão listadas as principais técnicas de recuperação utilizadas em peças de equipamentos mecânicos.

5.1 USINAGEM

A usinagem é uma das técnicas de recuperação mais utilizadas para garantir as medidas e formas das peças. É bastante comum que oficinas de manutenção possuam máquinas operatrizes (tornos, fresas, etc.) para tais atividades.

Muitas vezes as operações de usinagem vêm após outras operações onde ocorre adição de material, como soldagem por exemplo. Também se utiliza a usinagem para fabricação de peças novas a partir de matéria prima.

Para alguns equipamentos onde existe a dificuldade de remoção para oficina, pode ser necessário a utilização de usinagem de campo.



Figura 5 – Usinagem de campo de flange de grande dimensão. (www.usinagemdecampo.com.br)

5.2 SOLDAGEM

Amplamente utilizada para recuperação de peças, nas suas diversas formas. Operações podem ser realizadas na oficina ou em campo. Algumas das atividades mais comuns são:

- Recomposição de material de peças desgastadas;
- Aplicação de camadas superficiais de materiais com características especiais (resistência à corrosão ou desgaste);
- Fechamento de trincas;
- Fixação de enxertos;
- União de peças que tiveram partes substituídas.



Figura 6 – Recuperação de engrenagem com solda. (www.controlsert.com.br)

É importante a correta identificação dos materiais a serem soldados e que exista Procedimento de Soldagem (EPS) para a solda a ser executada, elaborada por um profissional qualificado.

5.3 REVESTIMENTOS

A utilização de revestimentos para recuperação de peças é de grande valia nas atividades de manutenção mecânica, sendo utilizada normalmente para:

- Recomposição de medidas, lembrando que normalmente as camadas aplicadas são de pequenas dimensões (no máximo alguns poucos milímetros);
- Aplicação de material diferente do material base da peça, para aumento à resistência à corrosão ou desgaste abrasivo (ou ambos), ou até mesmo diminuição de atrito com aplicação de materiais como Teflon, por exemplo.

São muitas as opções de técnicas disponíveis, e cada uma tem suas aplicações específicas. Portanto selecionar uma delas pode ser uma tarefa não muito trivial, que requer conhecimento e experiência.

5.3.1 Aspersão térmica

O processo de aspersão térmica consiste na aplicação de um revestimento, metálico ou não-metálico, usando-se uma pistola de aspersão.

Basicamente, o material sob a forma de pó ou fio é aquecido até o ponto de fusão e suas partículas são projetadas, por meio de ar comprimido, contra a superfície do substrato e aderem por impacto e resfriam, transformando-se no revestimento.



Fonte: ITSA

Figura 7 – Processo de aspersão térmica

Uma grande gama de materiais pode ser aplicado através do processo de aspersão térmica, se dividindo em 3 principais grupos:

- Cerâmicas, principalmente óxido de cromo, óxido de alumínio, zircônia ou misturas.
- Carbetos. Normalmente carbetos de cromo ou carbetos de tungstênio. São revestimentos de alta dureza e resistência ao desgaste e a espessura máxima de camada é inferior a 1mm.
- Metálicos, sendo os mais aplicados o níquel, aço inox e ligas para aumento de resistência à corrosão. Espessura máxima de camada de poucos milímetros.

Existem diversas técnicas, sendo que estas se diferenciam de acordo com a fonte de calor.

- Aspersão Térmica por chama oxi-acetilênica. Utiliza a energia térmica proveniente da queima do acetileno ou propano com oxigênio. Permite aplicação de qualquer material com temperatura de fusão inferior a 2760°C. Podem ser aplicados metais e ligas na forma de arame, cordão e pó, e cerâmicos na forma de vareta, cordão e pó.
- Aspersão Térmica por detonação. Utiliza energia de explosões de uma mistura oxigênio-acetileno, ao invés de uma chama estacionária, para impulsionar o pó até a superfície do substrato. A velocidade de saída é de 760m/s aproximadamente. O depósito resultante é extremamente duro, denso, fortemente ligado ao substrato. Excelente acabamento devido à baixa porosidade. O custo é elevado.

- c) **Aspersão Térmica por chama a arco elétrico.** Dois eletrodos consumíveis em forma de arame, submetidos a uma diferença de potencial, são alimentados de forma contínua e se aproximam fechando um curto-circuito, sendo fundidos pela ação de um arco elétrico, e por meio de ar comprimido, atomizados e projetados sobre um substrato previamente preparado.
- d) **Aspersão Térmica por chama a plasma.** Um gás ou mistura de gases passa através de um arco elétrico de alta corrente. A temperaturas suficientemente altas o gás torna-se ionizado, e as colisões entre os íons e elétrons geram energia radiante. Em geral, nitrogênio ou argônio são usados como gás de plasma, podendo conter adições de hidrogênio ou hélio para aumentar sua potência e velocidade. Muito utilizado para materiais oxi-cerâmicos, pois a temperatura atingida no processo (até 11.000 °C) consegue fundir ligas cerâmicas. Produz depósitos mais densos, menos porosos e mais aderentes.
- e) **Aspersão Térmica por chama hipersônica.** Conhecida pela sigla HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*). Utiliza-se um equipamento que trabalha a alta pressão de gases atingindo velocidades supersônicas até 7 vezes a velocidade do som, permitindo uma camada densa e compacta de ligas metálicas e carbetos. A característica principal desse processo é a não formação de óxidos. Aplicações: usado em peças que necessitam de resistência ao desgaste e proteção a corrosão com camadas isentas de porosidade, é largamente empregado na indústria aeronáutica, aero-espacial e petroquímica. Tem custo elevado. Em função das leis ambientais, são muito usados em substituição ao cromo duro.

5.3.2 Deposição química / eletroquímica

Deposição de metais a partir de processos químicos ou eletroquímicos. Os principais tipos são:

- a) Cromo Duro. Processo de deposição eletrolítica de uma camada de cromo, utilizado para aumento da resistência à corrosão e ao desgaste por abrasão. Processo de custo reduzido que já foi muito utilizado, mas que se encontra em desuso, devido ao fato do processo gerar resíduos com presença de metais pesados, de alto risco para trabalhadores e meio ambiente.
- b) Níquel Químico. Processo de deposição química de níquel sem corrente elétrica, que permite camadas extremamente uniformes, de normalmente poucos décimos de milímetros. Utilizado para aumento da resistência à corrosão. A camada pode ser endurecida através de tratamento térmico posterior. Tem boa aderência sobre vários materiais base.
- c) Deposição Química de Vapor (CVD). Consiste em depositar material sólido a partir de uma fase gasosa. Neste processo o substrato é colocado num reator que recebe alimentação de gases. O princípio do processo é uma reação química entre os gases. O produto desta reação é um material sólido que condensa sobre todas as superfícies dentro do reator, formando a película de revestimento desejada sobre o substrato. A camada é muito uniforme e uma grande variedade de materiais pode ser aplicada, mas é um processo pouco aplicado, devido ao seu custo elevado.

5.3.3 Revestimentos poliméricos

Revestimentos com polímeros oferecem propriedades únicas como lubrificação a seco e isolamento elétrica aliadas a uma baixa densidade. Nas últimas décadas, houve um grande desenvolvimento na área de polímeros o que possibilitou a aplicação de revestimentos gerando camadas espessas, densas e bem aderidas, como aplicações em diâmetro interno de tubulações.

Existe uma gama de polímeros de alta performance disponível hoje no mercado, podendo resistir à temperaturas de 50°C a 300°C.

5.4 COSTURA A FRIO

A costura a frio é uma tecnologia de reparo a frio (sem chama ou altas temperaturas) utilizada para recompor peças que sofreram fraturas ou com presença de trincas.

É normalmente utilizado em peças de materiais que não podem ser reparados por solda (ex: ferro fundido) ou em ambientes onde não possa haver a presença de fontes de ignição.



Figura 8 – Reparo de peça pela técnica da costura a frio. (<https://www.uniferro-manut.com.br>)

5.5 ENXERTO

Técnica também conhecida como embuchamento, muito utilizada para recompor medidas de eixos ou furos, principalmente quando se quer evitar o uso de

solda, que pode causar distorções na peça. Se fabrica uma luva (ou bucha) e a mesma é montada com interferência grande no componente em questão. Pode-se utilizar parafusos ou solda também para fixação do enxerto.

Alguns equipamentos já possuem luvas substituíveis em regiões onde é esperado que ocorra desgaste. Dessa maneira é possível fazer a substituição das luvas sem precisar substituir o componente todo. Um exemplo disso são eixos de compressores centrífugos na sua região de selagem.

6 LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Ligações parafusadas são amplamente utilizadas em equipamentos industriais, desde tubulações, passando por fechamento de carcaças de máquinas e elementos de transmissão de potência. O projeto de uma ligação parafusada leva em consideração uma série de fatores, como condições de temperatura, pressão, esforços, tipo de junta de vedação, materiais das peças e condições ambientais.

Parafusos, porcas e arruelas são itens normalmente reutilizáveis, e isso é desejável já que muitos são feitos de materiais de custo elevado, desde que se tomem os devidos cuidados durante procedimentos de manutenção.

Não devem ser reutilizados parafusos ou porcas com travamento por interferência ou com insertos de nylon, parafusos travados com adesivos, arruelas, cupilhas, parafusos e porcas com qualquer sinal de dano.

Muitas vezes ligações parafusadas não recebem o devido cuidado durante operações de manutenções, e isso pode colocar em risco o correto funcionamento de equipamentos e até segurança de instalações. Essas ligações são normalmente sujeitas a cargas cíclicas e falhas por fadiga podem ocorrer em parafusos, sendo esse a causa mais comum das falhas.

Muito cuidado deve ser tomado no caso de substituição de parafusos e outros componentes, para que sejam utilizadas peças do material correto. A troca inadvertida do material do parafuso pode significar em falhas. Também deve-se verificar o processo de fabricação dos parafusos. Parafusos para aplicações especiais possuem roscas “roladas”, pois a fabricação através de usinagem convencional produz concentradores de tensão.



Figura 9 – Rompimento de parafusos durante teste hidrostático. Foram usados parafusos de material diferente do de projeto.

Ao se realizar a montagem e aperto dos parafusos, todo o comprimento da porca deve ser utilizado.

6.1 INSPEÇÃO, LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO

Parafusos, porcas e arruelas devem ser devidamente limpos e inspecionados para se decidir se podem ser reutilizados. Devem se verificar se existem filetes deformados, alongamento plástico do parafuso (através da medição do seu comprimento), danos por corrosão e presença de trincas. Para verificar se existem trincas, pode ser utilizada a inspeção por líquido penetrante.



Figura 10 – Inspeção de parafusos por líquido penetrante. (AFFONSO, 2012)

A lubrificação dos parafusos é importante para garantir que o valor do torque aplicado resulte na pré-carga correta nos parafusos. Se não houver lubrificação, parte do torque aplicado é perdido na forma de atrito entre as roscas do parafuso e porca.

6.2 CONTROLE DE TORQUE

O aperto das junções parafusadas com o valor de torque correto (determinado no projeto) garante a ausência de vazamentos e falhas de parafusos. O torque aplicado gera uma pré-carga no parafuso, sendo esse o parâmetro de projeto.

Existem alguns métodos para controle de torque/pré-carga, sendo cada um aplicável a uma faixa de torque, sendo os mais comuns:

- a) Aperto manual sem controle. Método que deve ser utilizado somente para parafusos sem valor de torque especificado. Podem ser utilizadas chaves de impacto manuais. O uso de marreta para aperto de parafusos deve ser evitado, por questões de segurança.
- b) Torquímetro: ferramenta para controle de aperto manual. Deve ser utilizado para aplicação do torque final, sendo que o aperto inicial é

c) feito com chave comum. Existem os modelos onde se faz a leitura do torque

em uma escala graduada e os de estalo, onde se ajusta o valor do torque e um estalo é produzido ao atingir esse valor.



Figura 11 - Torquímetro

- d) Ferramentas pneumáticas de impacto. É o modelo utilizado em oficinas mecânicas para aperto de rodas de veículos. Apresenta erro de até $\pm 50\%$ no valor do torque aplicado.
- e) Torqueadeira elétrica. O acionamento é feito por um equipamento elétrico que envia o sinal para a ferramenta. O controlador elétrico funciona como um comando geral e informa a velocidade de avanço, a força a aplicar entre outras variáveis disponíveis no software embutido.
- f) Ferramentas hidráulicas. Muito utilizadas em aplicações com valores de torques elevados com precisão.



Figura 12 – Aperto com ferramenta hidráulica. (<https://hytorc.com/hytorc-brasil>)

- g) Aquecimento do parafuso. Método pouco utilizado, onde os parafusos são alongados através de aquecimento com uso de chama de maçarico ou indução elétrica. Possui precisão de $\pm 15\%$. Aquecimento também é utilizado para remoção de porcas travadas.



Figura 13 – Exemplo de aplicação de aquecimento através de indução. (www.manningsusa-uk.com)

- h) Ferramentas hidráulicas para alongamento do parafuso. Utiliza-se de pressão hidráulica para dar a pré-carga no parafuso, causando seu alongamento. Possui precisão de $\pm 20\%$.



Figura 14 – Ferramenta hidráulica de alongamento de parafuso. (www.skf.com)

A sequência com a qual se apertam os parafusos influencia na distribuição da pressão superficial sobre a junta de vedação. Deve-se torquar os parafusos, devidamente lubrificados, seguindo o método padrão cruzado conforme exemplo da figura abaixo.

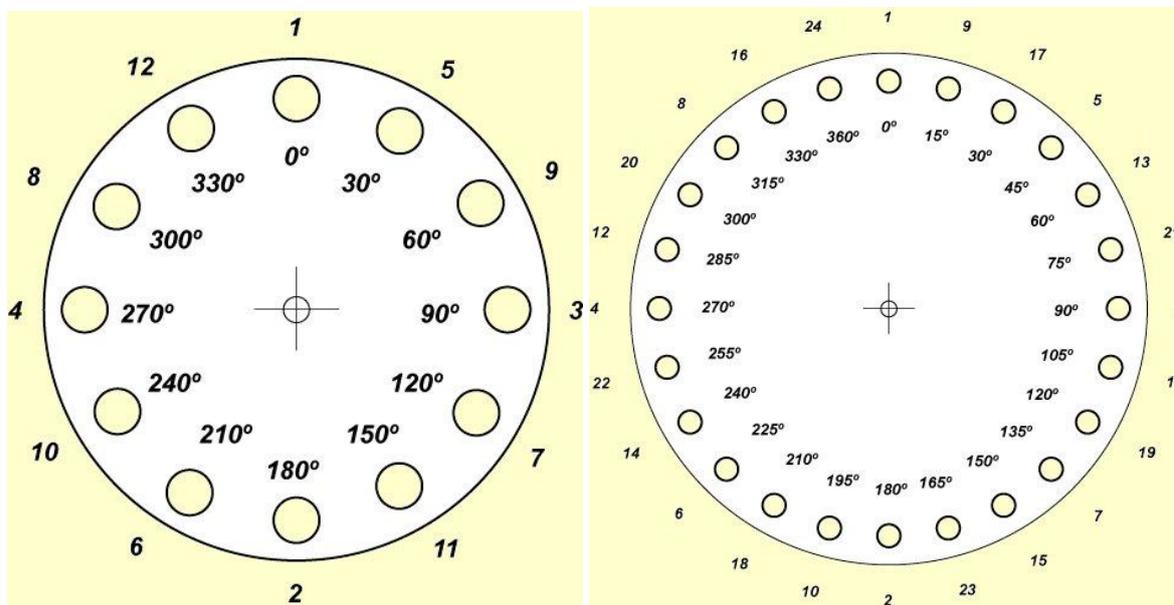


Figura 15 – Sequência de aperto de flanges (www.valaco.com.br)

O torque também não deve ser aplicado todo de uma só vez. Os valores de torque sequencial podem mudar de acordo com a experiência de cada empresa, como por exemplo 30%, 70% e 100% (ou seja, primeiro aplica-se 30% do torque total, depois 70% e 100% no terceiro passe) ou 50%, 75% e 100%.

7 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS ROTATIVOS

A manutenção de equipamentos rotativos (bombas, turbinas, motores, redutores, ventiladores, geradores, etc.) é de grande importância para o desempenho de instalações industriais e deve ser executada por profissionais devidamente treinados e com experiência. Esse capítulo trata de alguns dos itens específicos na manutenção desse tipo de equipamentos.

7.1 BALANCEAMENTO

O balanceamento consiste em um processo de equilíbrio nas forças do equipamento, corrigindo a distribuição assimétrica de massa de um rotor. Para máquinas rotativas o balanceamento é de extrema importância para garantir que o equipamento opere sem vibrações excessivas.

O processo pode ser feito de duas maneiras:

- **Balanceamento estático:** corrige uma força resultante que acontece em sentido vertical e incide num só plano. Durante o processo, a peça é colocada para girar livremente em torno de um eixo horizontal, observa-se a posição em que se dá o equilíbrio após cessar a rotação. Por se considerar apenas um plano de correção, só é válido para equipamentos onde a massa está toda concentrada em um elemento estreito. Coloca-se ou retira-se massa.
- **Balanceamento dinâmico.** Corrige um momento resultante, em sentido horizontal, em dois planos. O corpo se comporta como se estivesse livre no espaço, o eixo central de inércia fica fixo e os mancais se movimentam. Medem-se deslocamentos ou velocidades dos mancais, com a utilização de uma máquina específica, chamada de balanceadora. A análise do padrão vibratório é que conduzirá a aplicação correta do balanceamento. Esse tipo de balanceamento é o mais indicado para a maioria dos casos.

A grande maioria dos equipamentos rotativos trabalha em rotações abaixo da 1ª velocidade crítica, que é o valor de rotação onde as amplitudes de vibração atingem valores máximos. Para esses equipamentos, é utilizado o balanceamento de baixa rotação. A norma utilizada que define o grau de tolerância e como realizar o balanceamento é a ISO 21940-11.

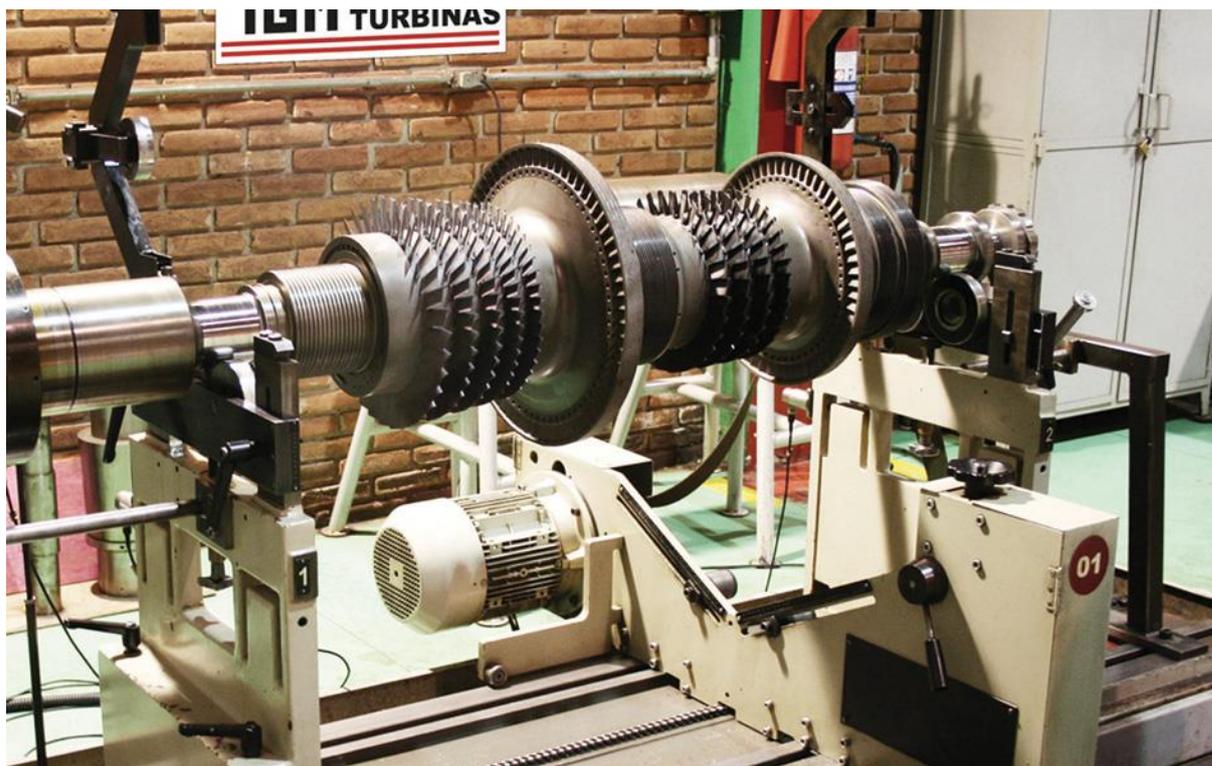


Figura 16 – Balanceamento de rotor de turbina a vapor. (www.grupotgm.com.br)

Para equipamentos especiais que operam em altas rotações, acima da 1ª velocidade crítica, pode ser necessário fazer o balanceamento na rotação de trabalho, também conhecido como balanceamento em alta rotação. Esse tipo de balanceamento é realizado em máquinas especiais, que possuem uma câmara de vácuo, e por isso possui um custo de execução bastante elevado. A norma utilizada que define o grau de tolerância e como realizar o balanceamento é a ISO 21940-12.

7.2 ALINHAMENTO

O alinhamento entre eixos de máquinas rotativas é um ponto de grande importância na manutenção e deve ser realizado por pessoal com treinamento adequado.

Existem dois tipos de desalinhamento: radial e axial, sendo que ambos podem estar presentes e devem ser corrigidos no procedimento de alinhamento de eixos.

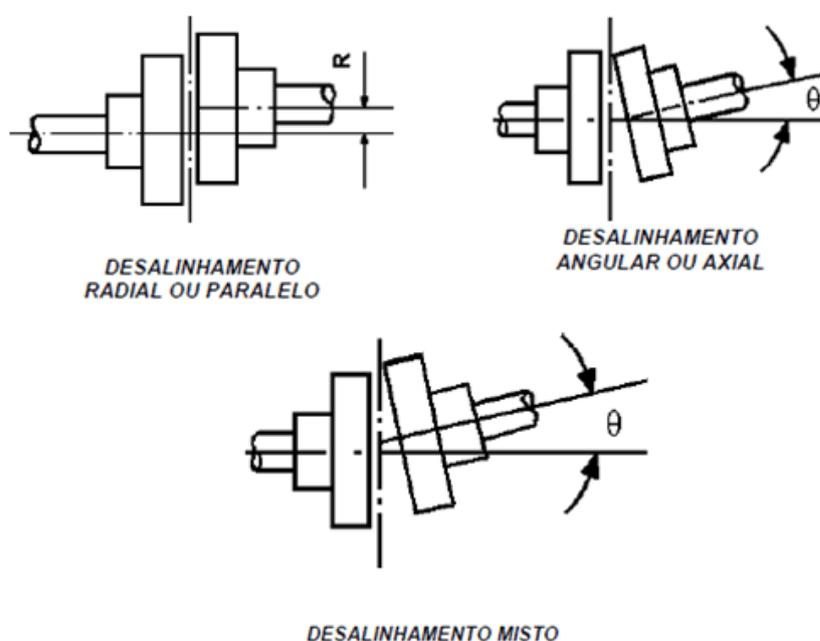


Figura 17 – Tipos de desalinhamento (<http://www.mmtec.com.br/alinhamento-a-laser/>)

Existem algumas técnicas disponíveis para realizar o alinhamento entre eixos:

- Régua guia: método mais simples, porém com baixa precisão, principalmente para correção de desalinhamento angular. Não adequado para equipamentos de alta rotação.
- Relógio comparador: método com boa precisão, que requer treinamento por parte dos executantes;
- Alinhador a laser: método de maior precisão e com menor chance de erro por parte dos executantes. Seu uso é crescente, porém depende de investimento inicial no equipamento.

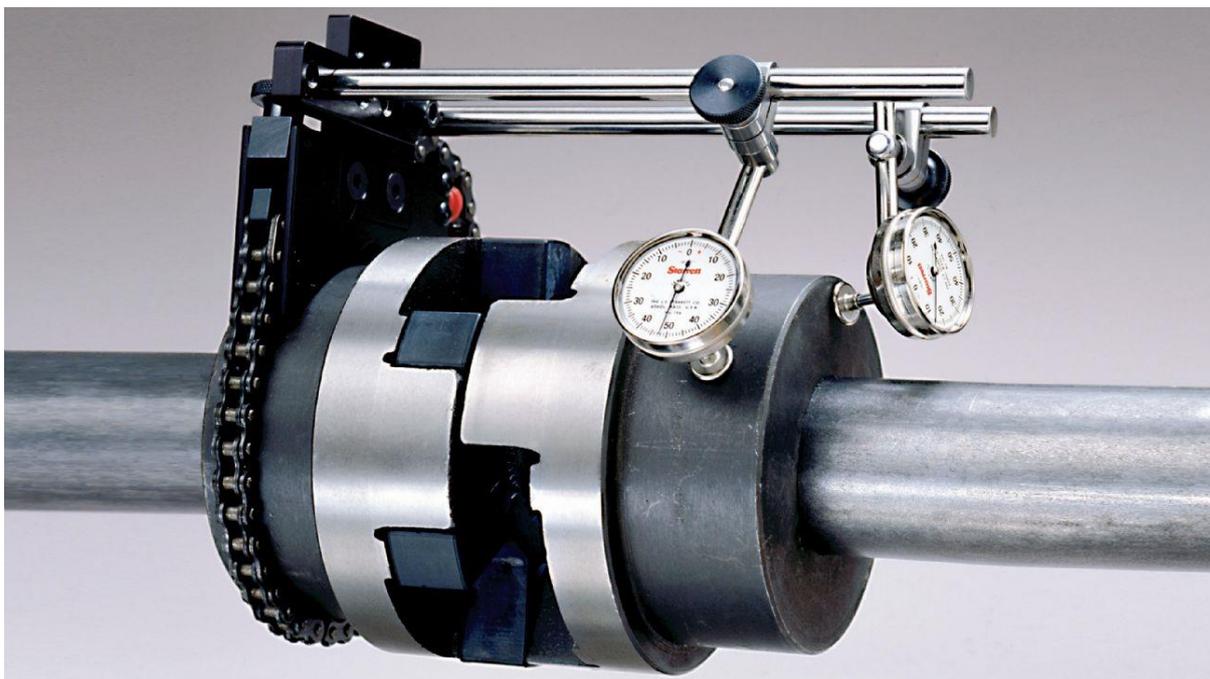


Figura 18 – Alinhamento com uso de relógio comparador. (www.starrett.com.br)



Figura 19 – Alinhador a laser. (www.skf.com)

Desalinhamento excessivo entre eixos de equipamentos rotativos gera esforços cíclicos que causam aumento de vibração nos equipamentos, que causa diminuição de vida de componentes como mancais, acoplamentos e vedações. Em casos extremos, os esforços podem levar a quebra de eixo dos equipamentos por fadiga, podendo levar a acidentes com impacto em instalações e pessoas.

Ao se observar os catálogos de fabricantes de acoplamentos, pode-se constatar que muitos deles indicam desalinhamentos radiais admissíveis da ordem de 1mm. Vale, porém, ressaltar que mesmo que o acoplamento consiga tolerar esse

valor, ainda assim os esforços nos componentes (mancais, vedações) serão elevados e isso vai levar a uma redução na vida dos mesmos. Os valores admissíveis durante o processo de alinhamento devem ser inferiores a 0,1mm para garantir níveis de vibração adequados.

Também verificar que alguns tipos de acoplamentos (de lâminas, por exemplo) só admitem desalinhamento radial se trabalharem com um espaçador entre dois conjuntos de lâminas.

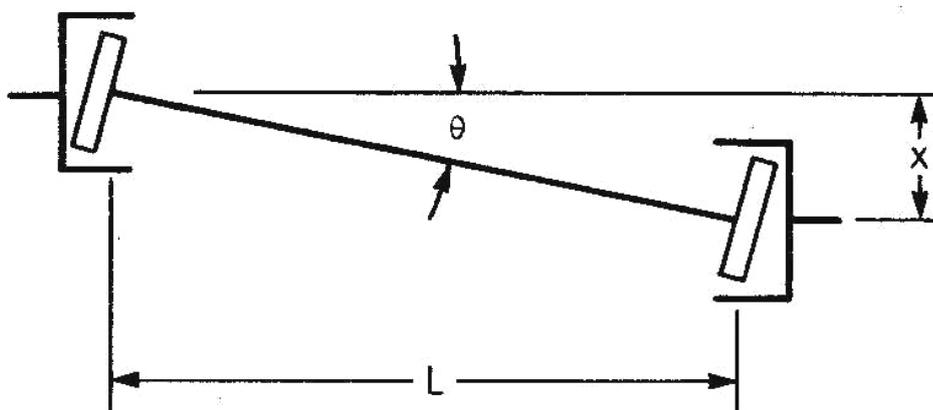


Figura 20 – Desalinhamento radial em acoplamento com espaçador

No exemplo apresentado na figura abaixo, houve quebra de eixo de uma bomba centrífuga acionada por turbina a vapor. A bomba trabalhava com rotação de 3.550rpm bombeando um fluido inflamável a uma temperatura superior a 250°C. Houve quebra do eixo da bomba e da caixa de mancal. A ponta do eixo, junto com o acoplamento, foi projetado e causou danos em outros equipamentos próximos. O desalinhamento era conhecido, a vibração do equipamento estava em valores cerca de 3 vezes acima do valor usual e já havia causado quebra de dois acoplamentos no período de 4 meses antes da falha do eixo. O desalinhamento não havia sido corrigido porque a intervenção necessitava de modificação das linhas do equipamento e a intervenção não havia sido liberada pela equipe de operação da planta pelo seu prazo elevado (cerca de 5 dias). Após a falha o equipamento ficou indisponível por mais de dois meses.

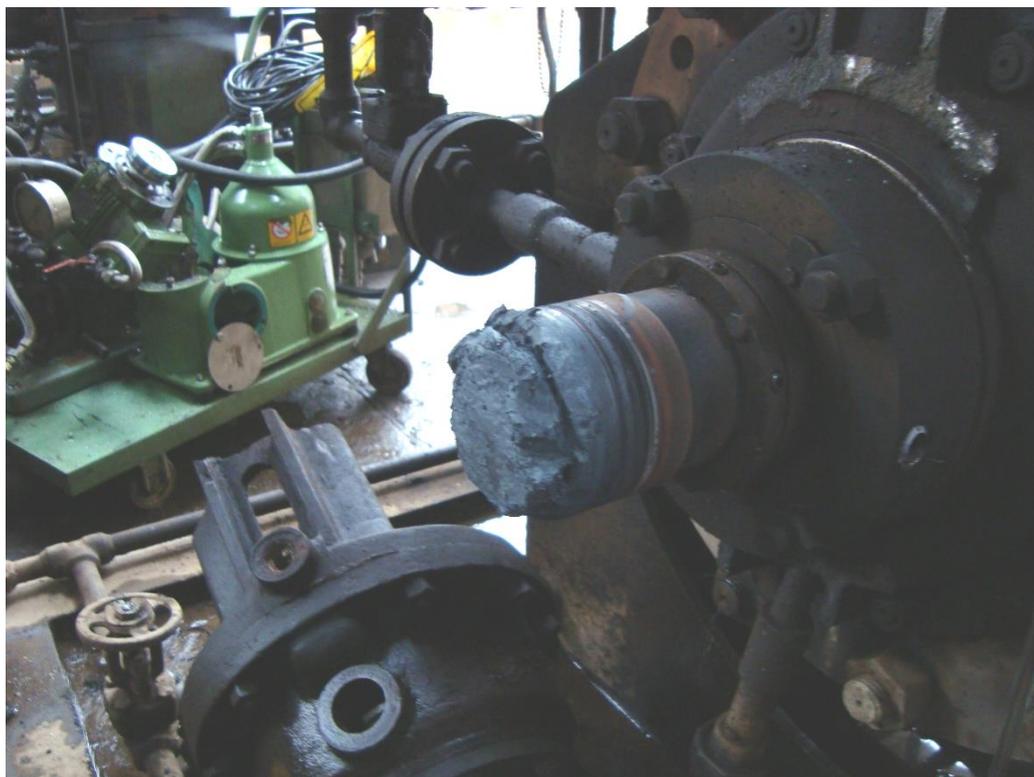


Figura 21 – Quebra de eixo de bomba centrífuga causado por desalinhamento

7.3 MANCAIS

Mancais são itens fundamentais para o bom funcionamento de equipamentos rotativos, garantindo uma operação com níveis de vibração adequados. Seu bom funcionamento é altamente dependente de procedimentos de manutenção e operação bem executados.

Com relação aos esforços aos quais resistem, os mancais podem ser divididos em:

- Mancais radiais: suportam carregamentos na direção radial e impedem o deslocamento do eixo na direção transversal;
- Mancais de escora ou axiais: suportam carregamentos axiais e impedem o deslocamento do eixo na direção longitudinal (axial);
- Mancais mistos: desenhados para suportar carregamentos axiais e radiais.

Equipamentos rotativos possuem normalmente duas caixas de mancal, pois é necessário que o eixo seja apoiado em dois pontos na direção radial. Porém o equipamento deve ter apenas um mancal axial, pois o eixo deve ter liberdade para dilatar livremente (travar a dilatação axial do eixo causa sobrecargas nos mancais). Ou seja, em um dos lados fica um mancal radial onde existe possibilidade de dilatação do eixo e no outro lado um mancal misto ou um mancal radial e um axial e nesse lado o eixo fica “travado” axialmente.

A seguir algumas características e recomendações para os dois principais tipos de mancais.

7.3.1 Mancais de deslizamento

Mancais de deslizamento se caracterizam por um regime de lubrificação conhecido como hidrodinâmico, onde existe a formação de um filme lubrificante entre as superfícies metálicas, garantindo separação suficiente entre essas superfícies de forma a garantir que não haja contato sólido. Somente existe contato com o eixo durante partidas e paradas do equipamento. Dessa forma, esses mancais têm vida indefinida, desde que operem em condições adequadas. Qualquer falha deve ser tratada como uma anomalia.

Existem diversos tipos de mancais de deslizamento, com geometrias variáveis, mesmo que a olho nu possam parecer ter geometria cilíndrica. Para máquinas de alta rotação são utilizados mancais compostos de várias sapatas, conhecidos como tilting pad. Esses tipos de mancais requerem maior cuidado durante a manutenção. Muito cuidado deve ser tomado ao se realizar engenharia reversa para produção de mancais sobressalentes ou ao se comprar peças que não sejam fornecidas pelo fabricante original.



Figura 22 – Mancal radial de geometria fixa e de sapatas. (<https://kceng.com/project-category/journal-bearings/> e www.kingsbury.com)

Esses mancais são feitos de material de dureza inferior à dureza do eixo girante para que, no caso de contato entre as superfícies, o desgaste ocorra no mancal, que é um item mais barato e mais fácil de ser substituído. A maioria dos mancais é composta de uma carcaça de aço com uma pequena camada revestida com um material conhecido como metal patente ou babbitt, que é uma liga (normalmente a base de estanho) que resulta em reduzida dureza, baixo atrito e alguma resistência ao desgaste. Também existem mancais de outros materiais, como bronze ou alumínio.

Muito importante durante as intervenções em equipamentos com mancais de deslizamento é verificar a folga mancal/eixo. O fabricante do equipamento deve fornecer valores mínimo/máximo para essa folga e esse valor deve ser respeitado. Trabalhar com folgas muito pequenas podem levar a contato entre eixo e mancal e temperaturas de trabalho elevadas. Folgas acima do máximo podem causar vibrações elevadas no equipamento.

Se não for conhecida a folga especificada para um determinado mancal radial de deslizamento de geometria fixa, pode-se adotar o seguinte valor como referência (valores em mm):

$$\text{Folga mínima} = (\text{diâmetro do eixo}) * 0,001 + 0,05$$

$$\text{Folga máxima} = 2 * \text{Folga mínima}$$

Durante a manutenção de equipamentos equipados com mancais de deslizamento, e principalmente quando ocorre troca dos mancais, é necessário checar o assentamento do eixo nos mancais. Isso se faz aplicando uma camada fina de azul da Prússia nas superfícies dos mancais, então se instala do eixo/rotor e se faz o giro do mesmo. Então se retira o eixo/rotor e se verifica as marcas, que devem ser uniformes e centradas. Pequenos desvios podem ser corrigidos através de rasqueteamento dos mancais, porém grandes desvios indicam problemas mais sérios (como deformação da caixa de mancal) que devem ser analisados e corrigidos.

Na figura abaixo estão exemplos hipotéticos de resultados de checagem de assentamento do mancal:

- Figura A: assentamento correto;
- Figura B: diferença de nível entre mancal e eixo, verificar nível dos dois;
- Figura C: eixo e caixa de mancal desalinhados;
- Figura D: provável deformação (ovalização) do mancal.

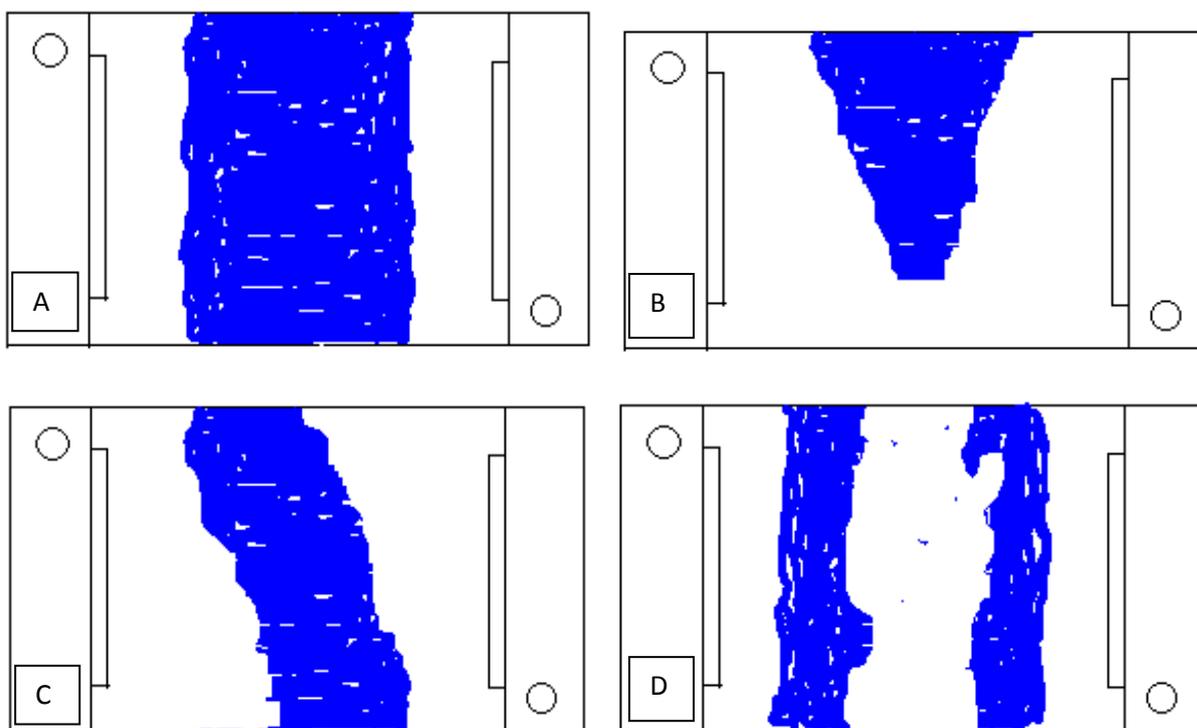


Figura 23 – Checagem de assentamento de mancal de deslizamento

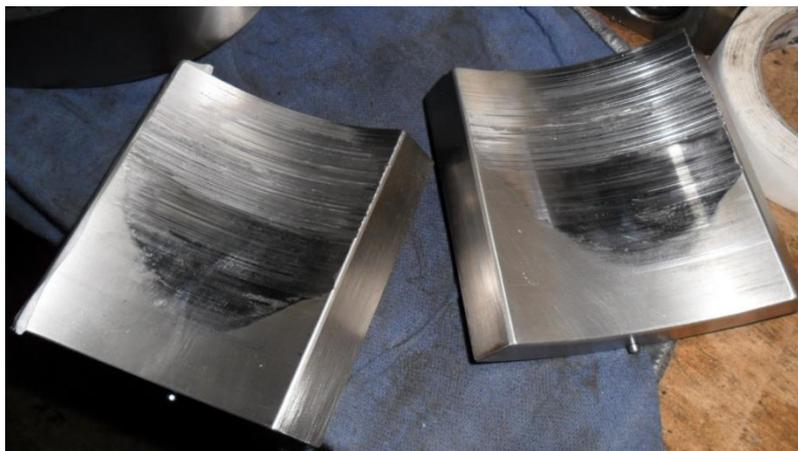


Figura 24 – Falha em mancal radial por desnivelamento da caixa de mancal

Mancais axiais de deslizamento normalmente possuem um disco de escora entre duas carreiras de sapatas (pastilhas), sendo nesse caso também conhecido como mancal Kingsbury, que na verdade é o nome de um fabricante. O perpendicularismo entre eixo de rotação e a superfície do disco de escora deve ser checado em intervenções e a tolerância de perpendicularismo deve ser da ordem de 0,02mm. Valores elevados de falta de perpendicularismo causam desgaste do mecanismo de compensação das sapatas.

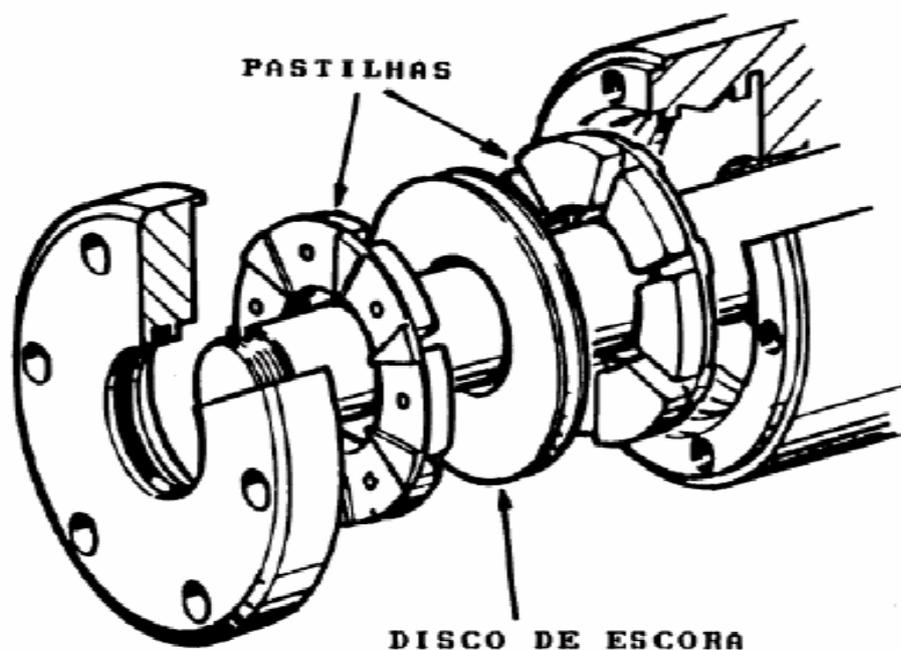


Figura 25 – Mancal de escora de deslizamento

A lubrificação é um dos pontos de origem de falhas. Deve ser utilizado o lubrificante especificado pelo fabricante do equipamento, na temperatura correta e o

mesmo deve estar livre de impurezas (água e sólidos). Como a folga de trabalho desses mancais é bastante reduzida, a entrada de partículas sólidas pode causar danos nas superfícies do mancal ou até mesmo do eixo.

Os modos de falha mais comum são:

- Desgaste do mancal: causado por contato com o eixo ou presença de partículas sólidas no óleo;
- Desplacamento do metal patente: pode ser causado por aquecimento excessivo (por contato ou cargas muito elevadas), embutimento de partículas sólidas no metal patente (causam trincas) ou falta de aderência do metal patente (falha de fabricação).

Durante manutenções, se houver a possibilidade de reaproveitar os mancais, deve-se verificar:

- Folga do mancal;
- Assentamento do mancal;
- Inspeccionar a superfície do mancal para desgaste, presença de partículas sólidas embutidas no metal patente ou trincas (fazer ensaio por líquido penetrante).

7.3.2 Mancais de rolamento

Mancais de rolamentos, normalmente conhecido apenas por rolamentos, são os mais utilizados em equipamentos industriais. Possuem uma gama de aplicação bastante extensa, cobrindo uma faixa grande de diâmetros, rotações e cargas. Podem ser lubrificados a óleo ou graxa, sendo que existem também modelos blindados, que não requerem reposição de graxa.

Uma de suas características é que são projetados para uma vida útil definida, e seu modo de falha característico é a fadiga superficial, cuja característica visual é o descascamento das pistas do rolamento. Isso não significa que, se ocorreu fadiga superficial, o rolamento chegou ao seu final de vida útil esperado. Uma série de

fatores, conforme detalhado mais abaixo, podem acelerar o processo de fadiga superficial.

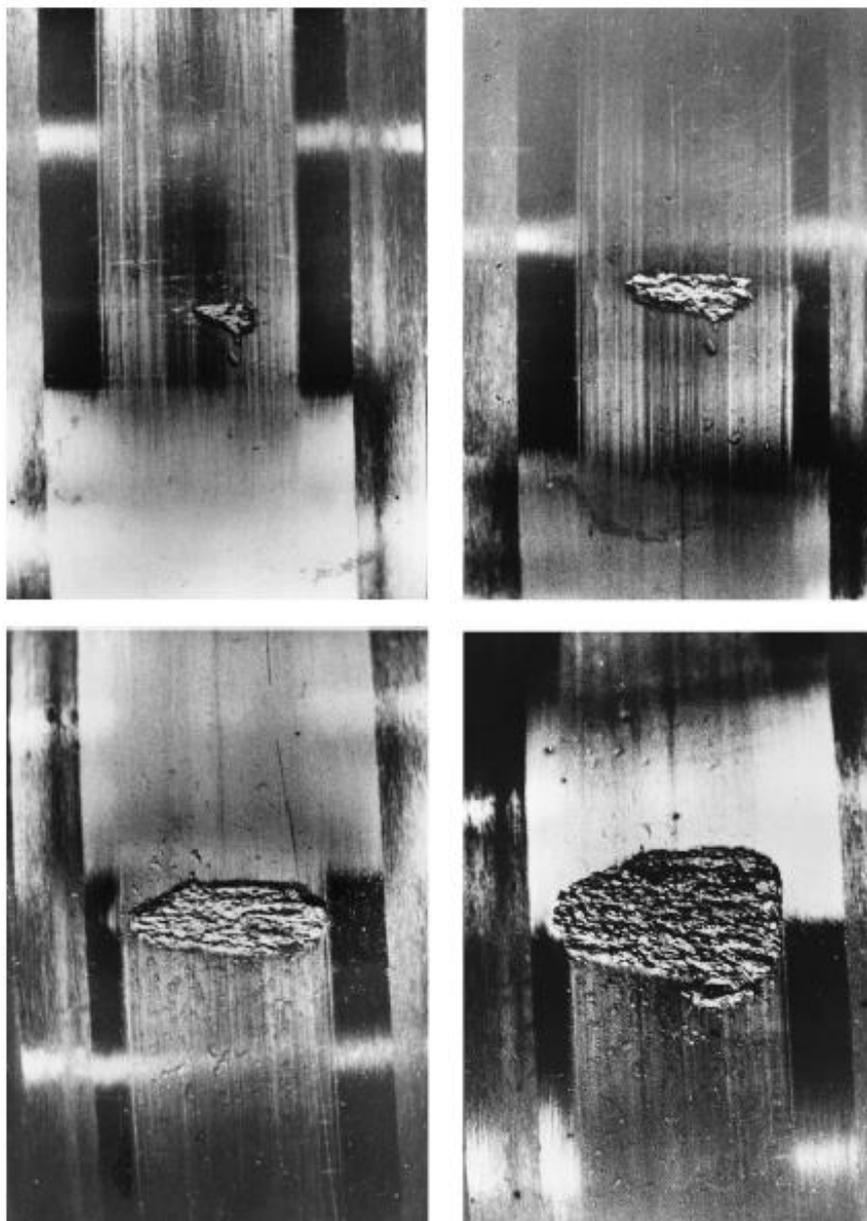


Figura 26 – Progressão de falha por fadiga superficial em pista de rolamento. (SKF USA Inc., 1974)

Seguem alguns dos fatores que influenciam a vida dos rolamentos:

- a) Tipo de lubrificante utilizado. A utilização de lubrificante com viscosidade inferior ao especificado reduz a vida do rolamento, por permitir contato sólido. Lembrar que a viscosidade do lubrificante cai com o aumento de temperatura, e a viscosidade especificada deve ser atendida na temperatura de trabalho;

- b) Contaminação do óleo com água. Apenas 100ppm de água (imperceptível a olho nu) é suficiente para reduzir a vida do rolamento pela metade. A água interfere na lubrificação e, em grandes quantidades, pode causar corrosão do rolamento;
- c) Contaminação por partículas sólidas. Mesmo aquelas mais macias do que as pistas dos rolamentos, são responsáveis por iniciar falhas nas pistas;
- d) Vibração. Níveis elevados de vibração, até mesmo aqueles com equipamento parado (transmitidos pelas tubulações, por exemplo), reduzem a vida de rolamentos;
- e) Desalinhamento das caixas de mancal. Problemas de excentricidade, falta de perpendicularismo ou empeno de eixo causam esforços adicionais nos rolamentos e reduzem sua vida;
- f) Procedimento de montagem adequado: montagem dos rolamentos com impacto causa danos nas pistas, que vão rapidamente progredir para falha. Isso fica bem evidente quando se verificam pontos de descascamento das pistas com o mesmo espaçamento dos elementos rolantes;

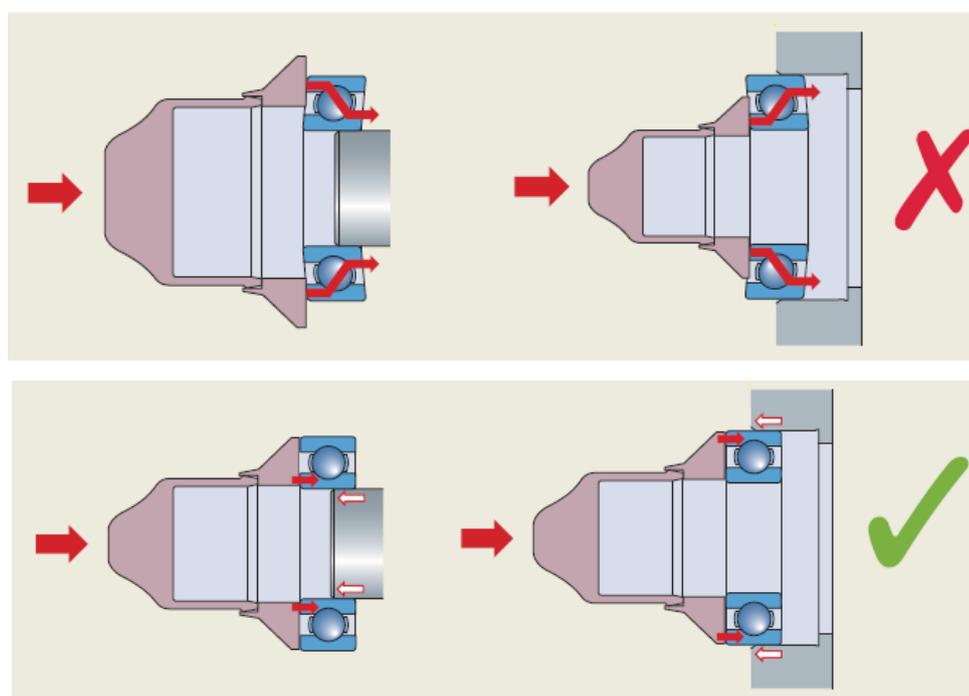


Figura 27 – Procedimento de montagem de rolamento por impacto (GRUPO SKF, 2017)



Figura 28 – Rolamento com danos causados por impacto na montagem (NSK Brasil Ltda, 2001)

- g) Tolerâncias de montagem. As tolerâncias de montagem adequadas permitem que o rolamento trabalhe com a folga adequada e não que não ocorra deslizamento das pistas de rolagem no eixo ou no seu alojamento. Para equipamentos onde o eixo gira, a montagem é com interferência no eixo e folga no alojamento (caixa de mancal). A montagem correta é deixar um lado travado axialmente e o outro lado livre, para permitir dilatação térmica do eixo do equipamento e evitar esforços adicionais;
- h) Descargas elétricas. Durante serviços de solda próximos à equipamentos rotativos, se o equipamento estiver entre o ponto de solda e o ponto de aterramento da máquina de solda, haverá passagem de corrente pelo equipamento. Isso causa danos em regiões de contato entre peças, como rolamentos e engrenagens. Descargas elétricas também podem ser originadas por peças rotativas magnetizadas;
- i) Qualidade dos rolamentos. Um dos atuais problemas encontrados é a falsificação de rolamentos, com fornecimento de rolamentos de baixa qualidade ou até mesmo rolamentos usados. Também existem vários fabricantes de rolamentos de baixo custo, mas também baixa qualidade.

Durante a operação dos rolamentos, o contato dos elementos rolantes com as pistas causa modificações nessas superfícies, conhecidas como marcas de trabalho. As marcas de trabalho nos dão um indicativo de como o rolamento trabalhou, se

numa condição adequada ou com anomalias. Dessa forma é importante sempre analisar essas marcas.

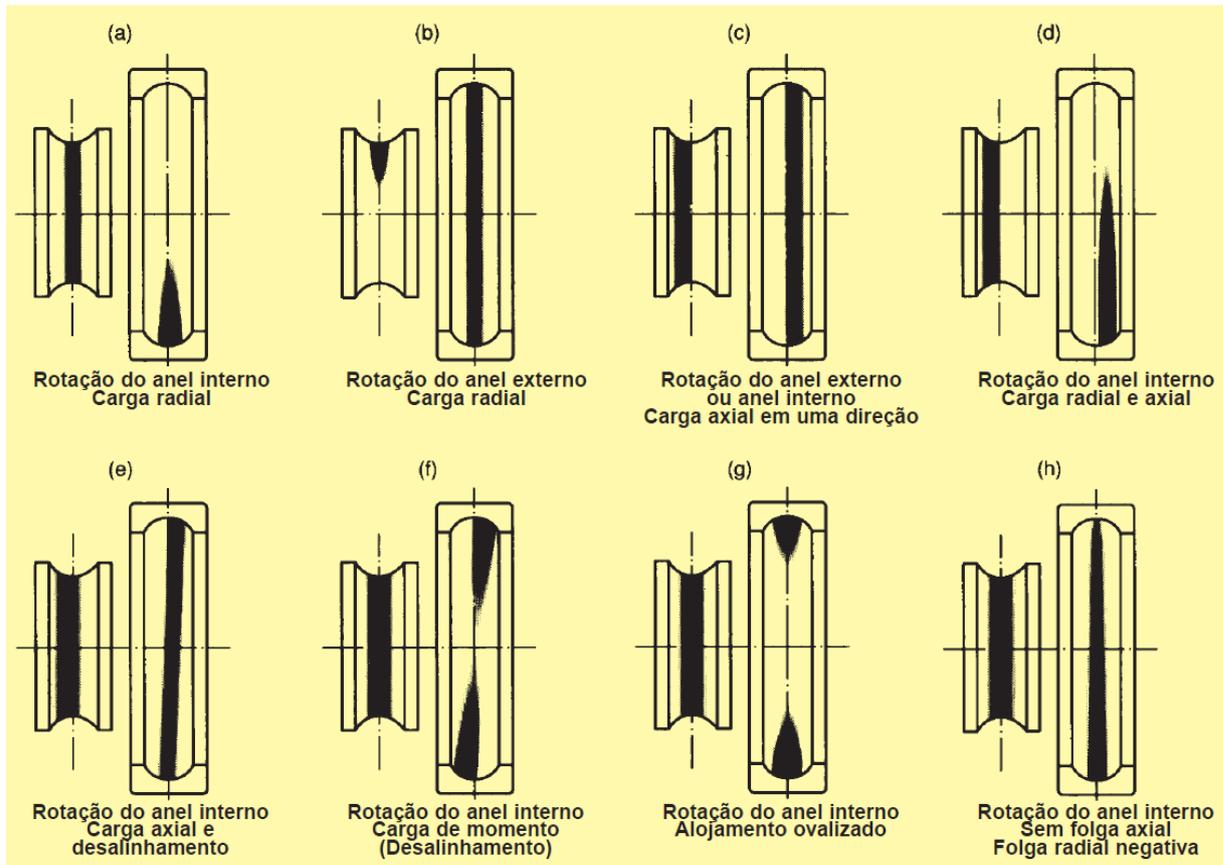


Figura 29 – Marcas de trabalho em rolamentos (NSK Brasil Ltda, 2001)

Em muitos equipamentos, são utilizados rolamentos radiais em um dos lados do equipamento e no outro lado rolamentos de contato angular, para trabalhar como mancal combinado (cargas radiais e axiais). Rolamentos de contato angular só resistem à cargas axiais em um sentido, portanto são normalmente montados aos pares para resistirem à cargas nos dois sentidos. A montagem pode ser em “O” (montagem de costas) ou em “X” (cara-a-cara), e isso é definido pelo fabricante do equipamento. Essa configuração de montagem não pode ser trocada, pois para cada uma delas o travamento axial dos rolamentos é feito de uma maneira (através da pista interna ou externa), conforme demonstrado na Figura 30.

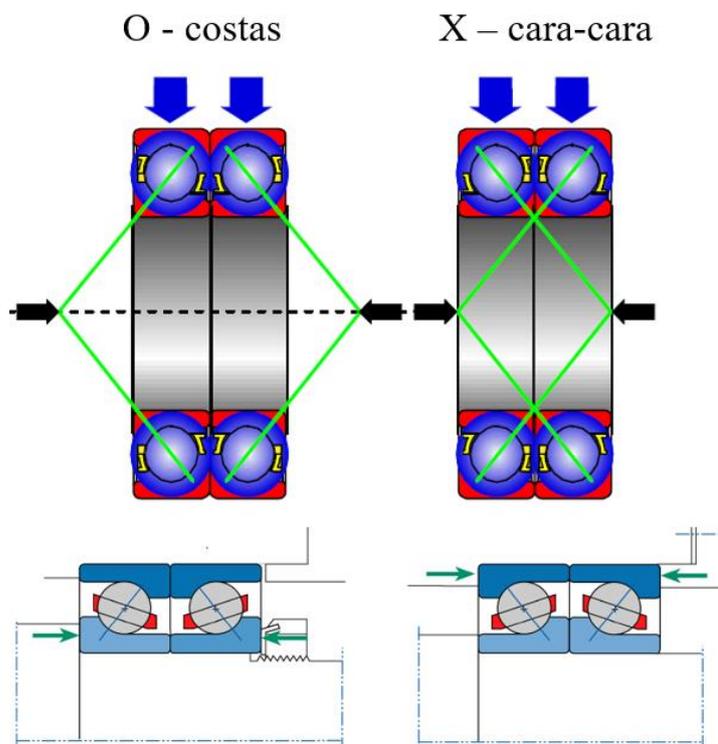


Figura 30 – Montagem de rolamentos de contato angular

Seguem algumas recomendações para manutenção em equipamentos equipados com mancais de rolamentos:

- Utilizar o lubrificante (óleo/graxa) recomendado pelo fabricante do equipamento;
- Monitorar a temperatura de caixa de mancal (manutenção preditiva);
- Realizar a troca de óleo ou reposição de graxa nos períodos corretos;
- Não misturar graxas de tipos diferentes, pois podem formar compostos prejudiciais ao bom funcionamento dos rolamentos;
- Realizar análise de óleo de caixas de mancais de equipamentos críticos. Verificar presença de água, viscosidade, oxidação e partículas sólidas;
- Ao desmontar rolamentos, analisar as pistas de rolamento e ver como estão as marcas de trabalho;
- Somente retirar o rolamento da sua embalagem quando for o momento de sua montagem. Isso evita a contaminação por partículas sólidas;

- Proteger caixas de mancais que estiverem abertas na oficina por algum período de tempo para evitar contaminação por partículas sólidas.

- Algumas oficinas dispõem de salas fechadas para montagem de rolamentos;
- Fazer levantamento dimensional de caixa de mancal, rolamento e eixo, e utilizar as tolerâncias de montagem corretas. Utilizar micrômetro para essas medições;
- Certificar-se que rolamentos de contato angular estão montados na orientação correta (em “O” ou em “X”);
- Um dos lados do eixo, onde está rolamento radial, deve estar livre para dilatação na direção axial;
- Comprar rolamentos apenas de fornecedores autorizados e de fornecedores de renome (SKF, NSK, FAG, NTN, Timken);
- Evitar o uso de rolamentos reconicionados por empresas que não sejam os próprios fabricantes;
- Inutilizar os rolamentos que serão descartados para que não sejam reconicionados por empresas de baixa qualidade;
- Utilizar ferramentas adequadas para montagem e desmontagem de rolamentos;
- Somente montar rolamentos com impacto com ferramentas apropriadas;



Figura 31 – Ferramenta para montagem de rolamentos (GRUPO SKF, 2017)

- Utilizar aquecedores por indução para montagem de rolamentos de maior porte com interferência. Não utilizar aquecimento com óleo, pois não permite controle adequado da temperatura e pode causar contaminação do rolamento por partículas sólidas;



Figura 32 – Aquecedor por indução para rolamentos (www.skf.com)

- Treinar o pessoal de caldeiraria e solda para sempre realizar o aterramento de máquinas de solda o mais próximo possível do ponto onde será realizada a solda, e nunca deixar que exista um equipamento rotativo entre o ponto de solda e o ponto de aterramento.

7.4 LUBRIFICAÇÃO

A lubrificação é um item crucial para o bom funcionamento de equipamentos rotativos e sistemas hidráulicos. Estudos indicam que a maior parte das falhas em mancais e sistemas hidráulicos é causada por problemas de lubrificação, principalmente os relacionados à contaminação do óleo, normalmente por presença de água ou contaminantes sólidos.

Dentre os tipos de contaminação, a mais corriqueira é por presença de água. Como já mencionado, um valor muito baixo de água, como 100 ppm (partes por milhão), é capaz de promover redução de vida de rolamentos.

Muitas vezes o óleo novo comprado em tambores possui presença de contaminação por água ou partículas sólidas já fora do nível desejado para alguns tipos de equipamentos (como sistemas hidráulicos). Muitas empresas que se preocupam com o nível de contaminação do óleo possuem equipamentos para

tratamento de óleo, com remoção de água e partículas sólidas. Abaixo duas das soluções mais utilizadas para remoção de água:

- Centrífugas: utilizam o processo de centrifugação e separação por diferença de densidade do óleo e água. Remove bem a água livre do óleo, mas não consegue remover a água emulsionada ou dissolvida. Esse processo não consegue atingir valores da ordem de 100ppm de água no óleo;
- Sistemas de Termo vácuo: utilizam aquecimento do óleo em uma atmosfera submetida ao vácuo, algumas vezes combinadas com o processo de centrifugação. Dessa forma o nível de remoção de água emulsionada e dissolvida é muito superior.

Para remoção de partículas sólidas, são utilizados filtros. Existem diversos filtros disponíveis no mercado e é comum classificar os filtros somente através da sua “micragem”, ou seja, o tamanho de partícula a ser retido, por exemplo 10 μm (micra). Com isso, espera-se que o filtro não deixe passar nenhuma partícula maior ou igual ao tamanho especificado (10 micra no exemplo), mas não é isso que ocorre. A eficiência de filtragem normalmente é desconsiderada na especificação de compra de elementos filtrantes, mas é de grande importância. Normalmente os filtros são classificados em:

- Filtros nominais: normalmente tem uma eficiência de filtragem de 90 a 98%. Se pegarmos como exemplo um filtro nominal de 10 micra, pode ser que até 10% das partículas sólidas maiores que 10 micra passem pelo filtro;
- Filtros absolutos: possuem eficiência esperada de 99,9%, no mínimo. Ou seja, para um filtro absoluto de 10 micra, apenas 0,1% das partículas de tamanho maior que 10 micra vão passar. Devem ser utilizados preferencialmente em sistemas de filtragem de equipamentos críticos, como sistemas hidráulicos, por exemplo.

Uma indústria que queira atingir bons resultados na área de manutenção industrial deve ter uma política de lubrificação bem definida e uma equipe devidamente estruturada. Dentro dessa política, podemos listar algumas práticas recomendáveis;

- Controle de estoques (de lubrificantes e elementos filtrantes) e consumo de lubrificantes;
- Garantir que a compra de elementos filtrantes seja feita de fornecedores de boa qualidade e que a especificação para comprar dos elementos filtrantes esteja bem clara e detalhada;
- Padronização de lubrificantes, de maneira a reduzir número de diferentes lubrificantes a serem manuseados, atendendo às exigências dos equipamentos. Recomenda-se a utilização de codificação e classificação dos lubrificantes, sendo uma possibilidade a utilização de uma combinação de cores, figuras geométricas e números. A mistura de lubrificantes diferentes pode causar degradação das propriedades do lubrificante, por incompatibilidade de aditivos;
- Área adequada para armazenamento de lubrificantes, protegida de intempéries e com sistema de coleta de eventuais vazamentos;
- Rotina de lubrificação informatizada, com cadastro de todos os equipamentos, com pontos de lubrificação, capacidade de depósitos, períodos de troca, serviços a serem executados e tipo de lubrificante. O sistema deve fazer controle da rotina de lubrificação com elaboração de rotina semanal de lubrificação. Existem disponíveis no mercado softwares dedicados para a gestão da lubrificação;
- Rotinas diárias de inspeção visual (nível de óleo, cor do óleo e presença de vazamentos) nos equipamentos. Essa rotina pode ser de responsabilidade da equipe de operação ou lubrificação;
- Programa de análises periódicas de óleos lubrificantes, principalmente para os equipamentos de maior criticidade. Existem no mercado equipamentos disponíveis de custo relativamente acessível que têm capacidade de realizar as análises mais corriqueiras (contaminação com água e partículas sólidas, viscosidade). Outra opção é contratar as análises, sendo que os próprios fornecedores de lubrificantes normalmente prestam esse serviço;
- Ter equipamentos para descontaminação (filtração e remoção de água) de óleos ou contratos para esse tipo de serviço;

- Bombas de transferência de óleo lubrificante (para transferência entre reservatórios ou do tambor para reservatório) devem ser equipadas com filtros para remoção de sólidos;
- Treinamento de lubrificadores e mecânicos;
- Integração entre equipes de manutenção e lubrificação;
- Política de descarte de lubrificantes de acordo com leis ambientais. O descarte de óleos não deve ser realizado no esgoto comum e muito menos no solo ou cursos d'água. Existem que fazem coleta e reciclagem de lubrificantes.

Alguns equipamentos de grande porte são equipados com sistemas auxiliares de lubrificação forçada, composto de tanque, trocadores de calor, filtros e purificadores de óleo. É comum dar grande atenção ao equipamento principal e deixar de lado os sistemas auxiliares, o que é um erro, já que problemas nos sistemas auxiliares afetam a confiabilidade dos equipamentos principais. Algumas recomendações para esses sistemas:

- Manter em estoque elementos filtrantes;
- Acompanhar perda de carga em filtros e ter valores de alarme implementados no sistema de controle da unidade;
- Durante as paradas de manutenção do equipamento principal, fazer manutenção do sistema de lubrificação, como limpeza do tanque e trocadores de calor, verificação da instrumentação;
- Analisar a qualidade do óleo rotineiramente;
- Acompanhar a eficiência de purificadores de óleo, se existente.

7.5 SELAGEM

Equipamentos rotativos de movimentação de fluidos (bombas e compressores) são equipados com selagem na região onde o eixo passa pela carcaça do equipamento, para evitar (ou minimizar) o vazamento de produto.

Existem sistemas de selagem variados, onde a tecnologia e custo podem variar muito. Sistemas mais simples são compostos por gaxetas em bombas e labirintos em compressores, têm custos de instalação baixos e requerem menos cuidados durante a manutenção, mas não podem ser utilizados para aplicações críticas (produtos tóxicos, inflamáveis ou de alta temperatura).

Sistemas mais modernos, que garantem maior eficiência de selagem, utilizam selos mecânicos. Esses componentes possuem custos mais elevados e requerem maiores cuidados de operação e manutenção e também capacitação de mecânicos.

Selos mecânicos consistem basicamente de duas faces de contato (chamadas de sedes), sendo normalmente uma de grafite e a outra de carbeto de silício ou tungstênio, uma delas estacionária e outra rotativa. Também temos vedações secundárias (anéis O normalmente), uma luva montada sobre o eixo, uma carcaça estacionária e elementos flexíveis (molas ou foles metálicos), que garantem o contato entre as duas sedes. Os selos podem ser simples ou duplos, e neste último caso o número de peças praticamente duplica.

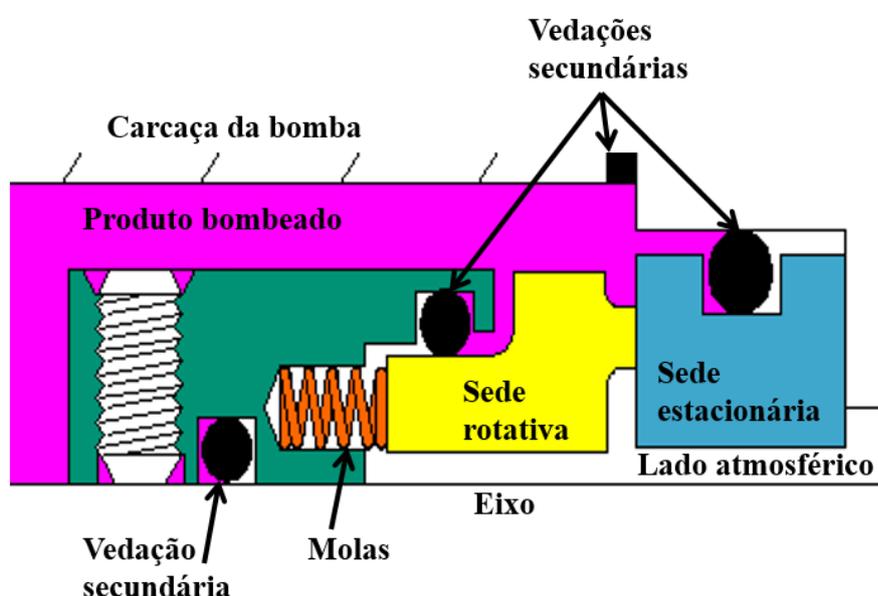


Figura 33 – Componentes de um selo mecânico

Nos primeiros selos mecânicos disponíveis no mercado, conhecidos como *selos tipo componentes*, essas peças eram todas fornecidas separadamente e o selo

montado na oficina de manutenção. Isso causa um número considerável de falhas durante a montagem do selo.



Figura 34 – Selo mecânico tipo componentes (www.smselomecanico.com.br)

Atualmente se utilizam os *selos cartucho*, onde todos os componentes são montados e fornecidos como um único componente, sendo ainda testado em fábrica, reduzindo consideravelmente a probabilidade de uma falha na instalação.

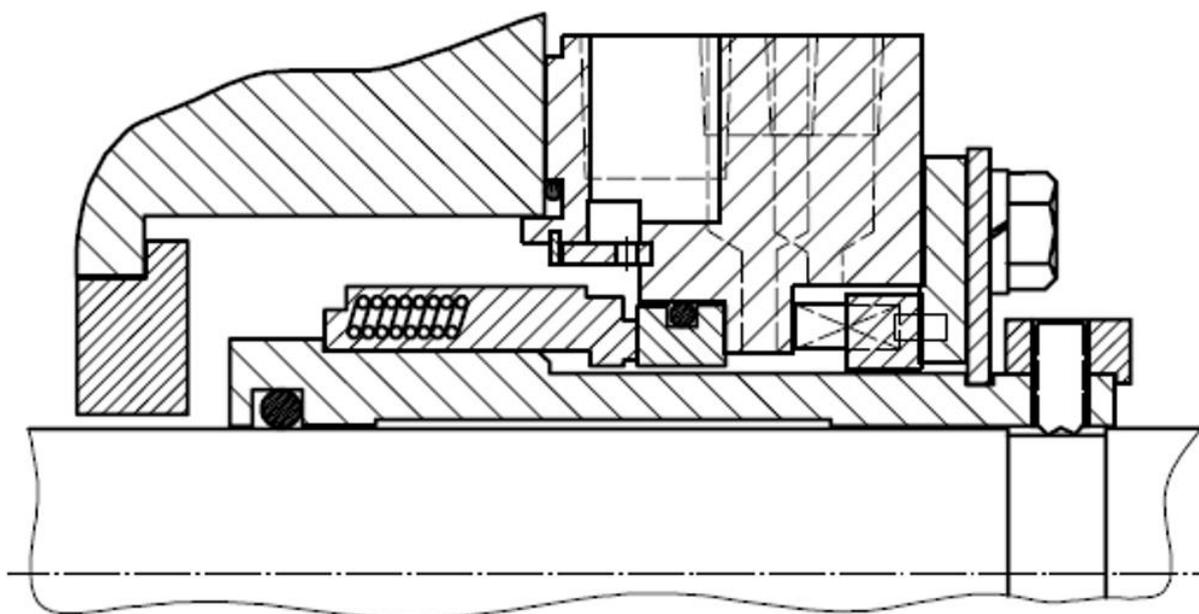


Figura 35 – Selo mecânico tipo cartucho (API, 2014)

Problemas de vazamento de selagem costumam corresponder por uma grande parcela dos sintomas de falhas em bombas centrífugas. Porém pela característica

desses componentes, muitas vezes ele acaba atuando como um fusível do equipamento, e sua falha é causada por algum motivo não diretamente ligado à selagem, como vibração elevada, falha nos mancais ou condições operacionais inadequadas.

Seguem recomendações de operação e manutenção:

- Controle de dimensões do eixo e caixa de selagem, garantindo folgas corretas de montagem e tolerâncias de concentricidade e perpendicularidade;
- Região do eixo e caixa de selagem onde será montado o selo deve ter rugosidade controlada e ausência de falhas superficiais;
- Mesmo sendo a manutenção dos selos cartucho feita pelo fabricante do selo, recomenda-se que o mesmo seja desmontado para análise de falhas;
- Realizar recuperação de selos mecânicos com empresas de reconhecida capacidade técnica;
- Cuidados no armazenamento de selos mecânicos em estoque. Alguns selos secos de compressores requerem armazenamento em atmosfera inerte (embalagens pressurizadas com nitrogênio);
- Evitar qualquer tipo de impacto durante o manuseio e instalação de selos mecânicos, pois as sedes são feitas de materiais frágeis;
- Equipe de execução deve receber treinamento sobre instalação e manuseio de selos mecânicos;
- Treinamento da equipe de operação dos equipamentos sobre selos mecânicos e cuidados com condicionamento e operação;
- Cuidados especiais durante o condicionamento e partida de equipamentos, pois nessas situações aumentam as chances de operação do selo mecânico a seco ou com produto inadequado;
- Garantir o fornecimento de fluido de selagem, quando presente, na pressão e vazão adequadas;
- Manter rotina de medição de temperatura de selos mecânicos, assim como caixa de mancal, com valores aceitáveis bem definidos.

Compressores de grande porte podem ser equipados com sistemas auxiliares de selagem, a exemplo dos sistemas de lubrificação. Os mesmos cuidados com os sistemas de lubrificação, como disponibilidade de sobressalentes e acompanhamento de perda de carga de filtros, se aplicam aos sistemas de selagem.

8 CERTIFICAÇÃO

Uma das maneiras de garantir a capacidade técnica e nível de conhecimentos dos profissionais envolvidos em práticas de manutenção industrial mecânica é através de certificação.

No Brasil a referência para a certificação desses profissionais é a ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos), que possui um processo de qualificação e certificação estruturado através de procedimentos e normas. Para conseguir a certificação, o profissional passa por avaliações escritas e práticas.

Na área de manutenção mecânica, podemos citar as seguintes certificações disponíveis:

- a) Mecânico de manutenção;
- b) Caldeireiro de manutenção;
- c) Mecânico lubrificador;
- d) Inspetor de manutenção mecânica.

O candidato à certificação deve receber ao final do processo de qualificação um relatório final de desempenho, contendo os seus pontos fortes e de melhoria. Caso atenda aos critérios necessários para a sua qualificação, será recomendado pelo Centro de Exames, para receber um certificado referente ao reconhecimento da sua certificação. A ABRAMAN será responsável pela concessão da certificação e emissão do certificado.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, Luiz Otávio Amaral. **Equipamentos mecânicos**: análise de falhas e soluções de problemas. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API Standard 682**: Pumps - Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps. 4ª ed. Washington, 2014.

ANTUNES JR, W. DALLALIBERA, E. L. **Torqueamento para garantia de integridade no sistema industrial** - Critérios na utilização e escolha de ferramentas com controle de torque. Disponível em : <http://www.abraman.org.br/Arquivos/143/143.pdf>. Acesso em 15 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. **PNQC-DG-P7.1-02**: Informativo sobre o processo de qualificação/certificação. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/Arquivos/560/560.pdf>. Acesso em 12 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. **PNQC-NR-P4.10-01**: Norma de requisitos para a qualificação e certificação de mecânico de manutenção. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/Arquivos/PNQC/2019/NR1001.pdf>. Acesso em 12 jul. 2019.

CARRETEIRO, P. R.; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes & Lubrificação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

FITCH, JAMES C. **Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditiva/preventiva convencionais**. Disponível em: <http://www.ufjf.br/seguranca/files/2013/12/Manuten%C3%A7%C3%A3o-proativa.pdf>. Acesso em 10 jul. 2019.

FLOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GRUPO SKF. **PUB MP/P1 03000 PT.BR** – Produtos SKF para Manutenção e Lubrificação. 2017. *E-book*. Disponível em: https://www.skf.com/binary/82-163650/03000_PTBR.pdf. Acesso em 15. jul. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 21940-11** – Mechanical vibration – Rotor balancing. Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behavior. Suíça: 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 21940-12** – Mechanical vibration – Rotor balancing. Part 12: Procedures and tolerances for rotors with flexible behavior. Suíça: 2016.

LIMA, C. C., TREVISAN, R. **Aspersão Térmica** - Fundamentos e Aplicações. 2ª ed. São Paulo: Artliber, 2007.

NÓBREGA, Paulo Roberto Leite. **Manutenção de compressores**: alternativos e centrífugos. 1ª ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

NSK Brasil Ltda. **NSK Bearing Doctor**: Diagnóstico rápido de ocorrências em rolamentos. NSK Brasil Ltda., 2001. *E-book*. Disponível em: <http://www.nsk.com.br/upload/file/B08.pdf>. Acesso em 10 jul. 2019.

NSK Brasil Ltda. **Rolamentos**. NSK Brasil Ltda., 2013. *E-book*. Disponível em: [http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf). Acesso em 10 jul. 2019.

PEREIRA, Mario Jorge. **Técnicas avançadas de manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

SKF USA Inc. **Bearing Failure Analysis and Their Causes**. EUA, 1974.

SKF USA Inc. **Bearing installation and maintenance guide**. EUA, 2018. *E-book*. Disponível em: https://www.skf.com/binary/tcm:12-114679/0901d1968024f02a-140-710_BIMG_March_2018_tcm_12-114679.pdf. Acesso em 10 jul. 2019.