

Capítulo I I

Manutenção

industrial

A atividade da manutenção está relacionada à área, ao setor ou à equipe que tem a função de manter máquinas e equipamentos funcionando, sem problemas.

A manutenção pode ser centralizada ou descentralizada. No caso da centralizada todos os recursos são administrados e alocados em um único setor da fábrica. Já na descentralizada os recursos estão alocados em vários setores da fábrica, em pequenos grupos, e gerenciados pela própria produção (MORAES, 2004).

De acordo com a NBR 5462-1994 (XENOS, 2004), “manutenção é a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

A atividade da manutenção se concentra em:

- manter o funcionamento das máquinas e equipamentos existentes;
- implementar melhorias onde necessário.

As ações de rotina, do dia a dia, têm por finalidade manter o funcionamento das máquinas e equipamentos, por exemplo, corrigindo falhas, trocando componentes, desde pequenos ajustes, trocas de polias e correias e lubrificação.

As ações de melhoria visam incrementar a produtividade dos equipamentos, possibilitando a modernização, aumentar a segurança, a velocidade de trabalho e a qualidade, e reduzir os custos de manutenção.

Assim, pela atividade diária de manter e melhorar as máquinas e equipamentos da fábrica, a manutenção traz os seguintes benefícios:

- aumenta a confiabilidade do processo;
- melhora a segurança no processo;
- melhora a qualidade do produto;
- possibilita custos mais baixos nas operações;
- aumenta o tempo de vida dos equipamentos;
- melhora o retorno na venda do equipamento, para substituição por um novo.

11.1 Métodos de manutenção

A característica da atividade, a forma de planejamento e a prioridade da execução classificam a manutenção em corretiva, preventiva e preditiva.

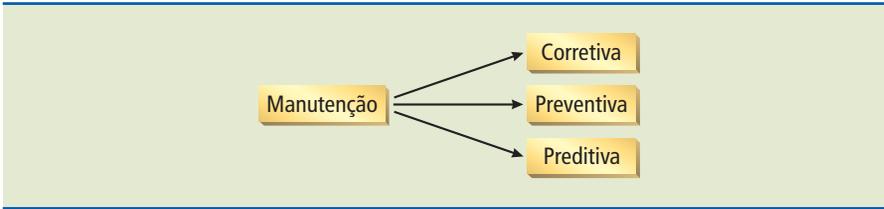


Figura 11.1

Fluxograma de manutenção.

11.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é adotada quando o equipamento deixa de funcionar em consequência de falhas e não há previsão de quando isso pode ocorrer.

Esse método pode ser utilizado:

- em equipamentos com difícil acesso e sobrecarregados, pois o custo da parada pode inviabilizar a manutenção programada;
- quando o componente a ser substituído é muito caro e precisa ser aproveitado ao máximo antes de ser trocado;
- nos casos em que componentes de baixo custo e que não impedem o funcionamento da máquina ou do equipamento podem ser trocados depois;
- quando a remoção para a substituição é muito difícil e compensa destruir o componente na retirada.

Exemplo de manutenção corretiva, após a ocorrência dos defeitos:

- troca de lâmpadas;
- troca de placas e circuitos eletrônicos;
- troca da resistência para aquecimento de água.

11.1.2 Manutenção preventiva

Dependendo da empresa, a manutenção preventiva pode ocupar a maior parte do trabalho da manutenção (XENOS, 2004).

Características da manutenção preventiva:

- É uma atividade planejada.
- É feita periodicamente e envolve tarefas sistemáticas, como troca de peças, inspeções e reformas.
- As peças são substituídas em função do histórico de manutenção ou de informações do fabricante, mesmo sem estar avariadas.
- Diminui a possibilidade de paradas por falhas.
- O equipamento se mantém, sempre, em perfeitas condições de uso.
- O custo da manutenção é maior, se comparado ao da manutenção corretiva, pois os componentes são substituídos antes do fim da vida.

Exemplo de manutenção preventiva em uma empilhadeira: substituição da correa dentada.

11.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é baseada na percepção do funcionamento dos equipamentos, na tentativa de prever o ponto mais próximo do fim de vida dos componentes a serem substituídos. Assim, eles poderão ser mais bem aproveitados, e a economia é maior, se comparada com a da manutenção preventiva.

A manutenção preditiva exige um grupo de pessoas especializadas, munidas de equipamentos de coleta de dados, além de análises com alto grau de desenvolvimento tecnológico. Exemplos de aplicação da manutenção preditiva:

- monitoramento da vibração para prever a troca de rolamentos;
- análise de ruídos em hélices hidráulicas para antecipar efeitos da cavitação;
- análise do óleo lubrificante para antecipar falhas decorrentes de desgastes em engrenagens.

11.2 O processo de manutenção

O processo de manutenção pode ser:

- integrado – alocado na produção, em que uma pequena equipe, gerenciada pela produção, responde pela manutenção daquela área da fábrica, ou como um departamento com gerenciamento próprio e independente, normalmente centralizado;
- terceirizado – equipe pertencente a uma empresa especializada em manutenção, para prestação de serviço, ocupando uma posição de apoio no organograma.

A manutenção reúne os profissionais de grande conhecimento técnico, com habilidades para projetar, usinar, montar e desmontar, analisar falhas, reconhecer e solucionar problemas e, ainda, com habilidade para lidar com pessoas.

Na execução do trabalho é necessário:

- manter a segurança;
- desenergizar equipamentos;
- isolar a área de trabalho;
- manter o piso limpo e seco;
- manter as mãos e a roupa limpa (usar panos e estopa para limpeza, não usar ar comprimido sobre o corpo);
- usar os EPI, com segurança;
- ter conhecimentos de como agir em caso de emergência (vazamentos, incêndio, explosão etc.);
- ter controle sobre o tempo de trabalho;
- manter a limpeza geral do ambiente de trabalho;
- manter a organização das ferramentas e dos equipamentos de testes;
- manter atenção nos procedimentos, evitando atos inseguros e planejando a ação do trabalho;
- busca constante de conhecimentos, agregando valores nas diversas especialidades: mecânica, elétrica, hidráulica, pneumática, automação, tecnologia de informação e comunicação.



O processo de manutenção segue o fluxograma mostrado na figura 11.2:

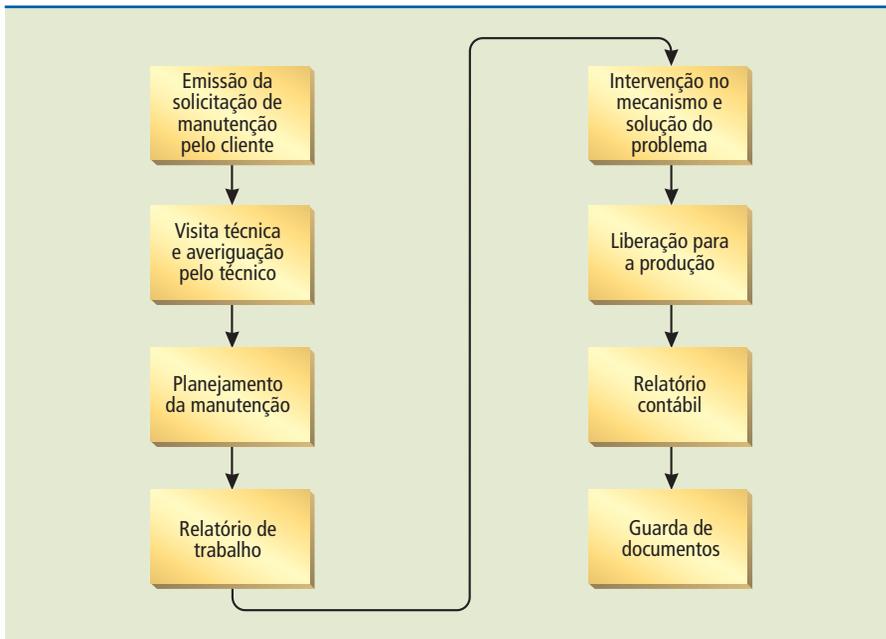


Figura 11.2

Fluxograma de manutenção.

O planejamento da manutenção tem fluxograma como apresentado na figura 11.3.

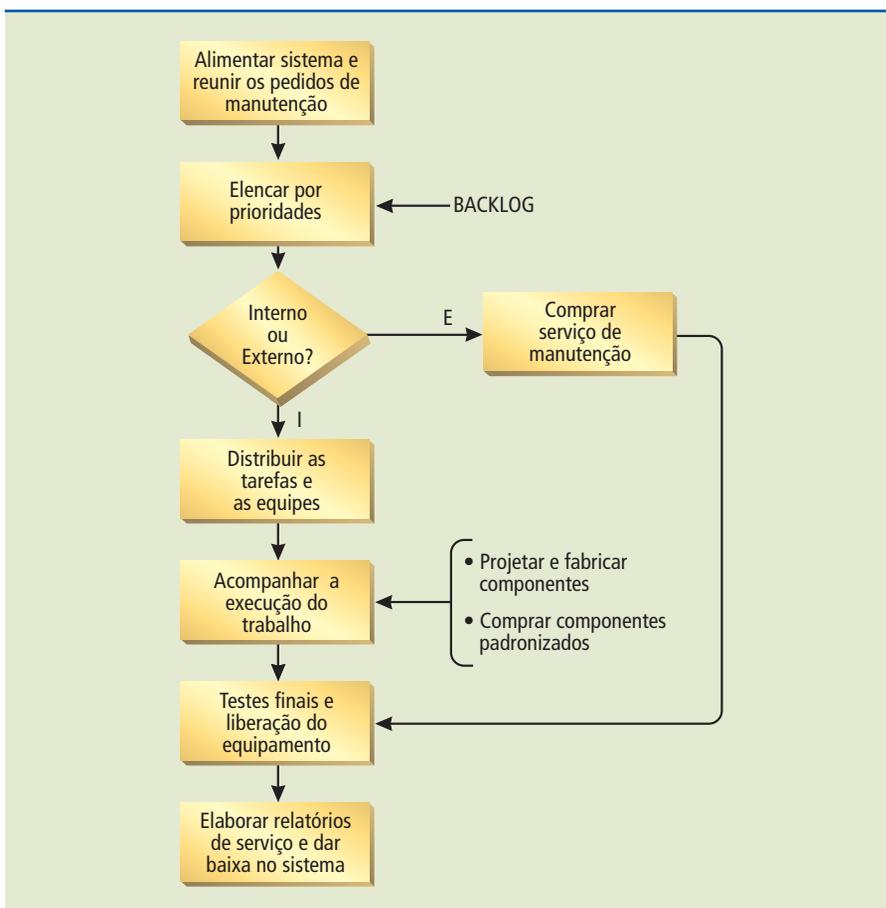


Figura 11.3

Fluxograma do planejamento de manutenção.

11.3 Controle do trabalho

O trabalho de manutenção deve ser orçado, para evitar a insatisfação do cliente (interno ou externo). O orçamento serve para a tomada de decisão sobre fazer ou não a manutenção, em detrimento da substituição do equipamento. Além do mais, o cliente sempre deseja saber o custo e o prazo de realização do serviço.

O gráfico de Gantt é muito usado no planejamento e no controle da execução das atividades de manutenção. Serve para posicionar os diversos trabalhos em forma de projeto, dando o caráter de atividade individual para cada atividade que deve ser planejada e realizada de forma controlada.

Softwares especializados, disponíveis no mercado, ajudam no gerenciamento do trabalho, com controles diários da quantidade de horas, das responsabilidades, da duração do trabalho, além das atividades de fabricação de componentes e controles de compras.

11.4 Controle de custos

Os relatórios de custos de manutenção servem para auxiliar as tomadas de decisão gerenciais, e o histórico de gastos facilita a realização dos cálculos para implementar melhorias, ou a justificativa para efetuar a substituição de máquinas.

11.5 Manutenção produtiva total (MPT)

É a manutenção realizada por todos os colaboradores da empresa, por meio de atividades diárias de pequenos grupos.

Os pilares da manutenção produtiva total são:

- melhorar a eficácia dos equipamentos;
- realizar o autorreparo, ou seja, manutenção autônoma;
- planejar a manutenção;
- treinar o pessoal para aumentar suas habilidades técnicas de manutenção;
- manutenção da qualidade dos produtos pela qualidade dos equipamentos;
- gerir os equipamentos logo no início, considerando seu ciclo de vida;
- segurança, saúde e meio ambiente;
- melhoria dos processos administrativos.

11.5.1 Manutenção autônoma

É realizada pelos operadores dos próprios equipamentos, independentemente da interferência do departamento de manutenção (MORAES, 2004).

Evidências de manutenção produtiva total são percebidas pela organização, pela limpeza dos equipamentos e do ambiente de trabalho. O envolvimento dos funcionários é alcançado utilizando a técnica dos cinco S's: organização, arrumação, limpeza, limpeza pessoal ou padronização e disciplina.



Essa tarefa requer treinamento e pode ser classificada em três níveis:

- Nível de consertos – os operadores executam instruções e não preveem o futuro.
- Nível de prevenção – os operadores anteveem problemas e fazem correções.
- Nível de melhoria – os operadores anteveem problemas, fazem correções e sugerem melhorias.

A manutenção autônoma visa alcançar o rendimento máximo dos equipamentos.

11.5.2 Indicadores de desempenho

OEE

A medida de capacidade produtiva relacionada à manutenção dos equipamentos e/ou os resultados obtidos com a implementação da MPT são medidos mundialmente com a técnica do OEE (Overhall Equipment Effectiveness – Índice Global de Eficácia dos Equipamentos, figura 11.4).

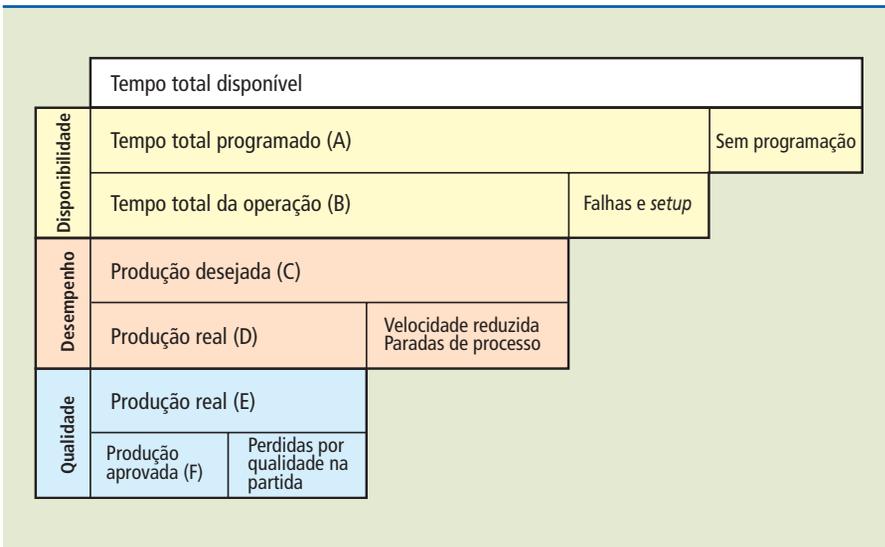


Figura 11.4

OEE – disponibilidade × desempenho × qualidade.

$$OEE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{F}{E} = \text{disponibilidade} \cdot \text{desempenho} \cdot \text{qualidade}$$

As perdas e paradas do equipamento afetam a disponibilidade do equipamento, o desempenho operacional e a qualidade dos produtos.

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas n., o planejadas}}{\text{tempo total programado} - \text{paradas planejadas}} \cdot 100$$

$$\text{Desempenho (\%)} = \frac{\text{tempo teórico de ciclo} \cdot \text{total de peças produzidas}}{\text{tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas n., o planejadas}} \cdot 100$$

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{total de peças produzidas} - (\text{total de refugos} + \text{retrabalhos})}{\text{total de peças produzidas}} \cdot 100$$

Backlog

É um relatório do volume de horas de trabalho. Inclui todo o trabalho da manutenção e é medido em horas estimadas e horas realizadas. O *backlog* reúne as horas estimadas ainda não trabalhadas.

O trabalho da manutenção é acumulado de forma infinita, ou seja, quando chega, é alocado em fila, seguindo o critério de prioridades. Portanto, o volume de trabalho cresce infinitamente: toda requisição de trabalho é aceita e acumulada com as demais. O *backlog* é o volume de tarefas mês a mês, considerando as diferentes prioridades: urgentes, prioritárias e normais.

Com o *backlog* é possível saber se a manutenção da fábrica está com volume alto ou baixo de trabalho, e assim definir o aumento das equipes, a compra de serviço, o investimento na área de manutenção, a terceirização da área, a troca de máquinas e a possibilidade de implantar o gerenciamento autônomo e o controle de custos.

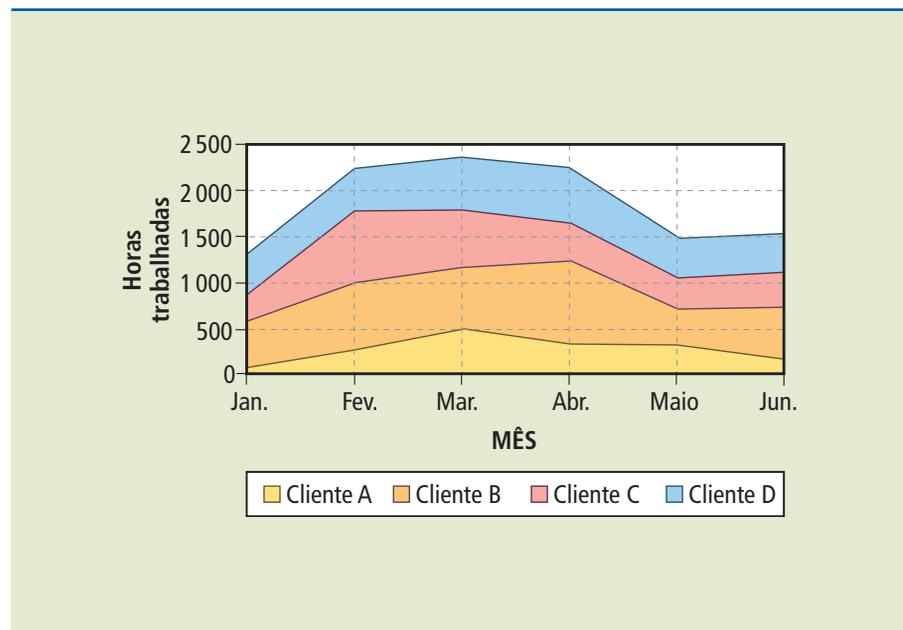
Segundo BRANCO FILHO (2006), o *backlog* pode ser organizado da seguinte maneira:

- listar as ordens de serviço [OS];
- somar as horas-homem estimadas [Hh];
- calcular o tempo-homem disponível [h/dia];
- dividir o total de horas-homem estimadas pelo tempo-homem disponível;
- o resultado será o número de dias que o grupo deverá trabalhar para executar todo o serviço (dias) programado.

Com o valor calculado, montar um gráfico (figura 11.5) ou tabela por área, ou total, e comparar mês a mês, por exemplo.

Figura 11.5

Gráfico de *backlog* – histórico das horas mensais trabalhadas para os clientes A, B, C e D.



Cientes	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.
A	100	270	500	350	325	180
B	500	750	680	900	390	550
C	300	780	580	400	350	400
D	400	450	600	590	430	400

11.6 Atividades operacionais da manutenção

11.6.1 Lubrificação industrial

A lubrificação é fundamental para a manutenção dos mecanismos móveis, pois evita paradas desnecessárias e ajuda a manter o funcionamento e a conservação dos equipamentos. O emprego do óleo e da graxa corretos significa vida mais longa para os dispositivos. O conhecimento e o uso de novos materiais e lubrificantes são muito importantes para a manutenção preventiva das máquinas e dos equipamentos industriais.

Os equipamentos antigos necessitam de muita lubrificação e desperdiçam lubrificantes. Os equipamentos modernos e a preocupação com o meio ambiente reduziram esse desperdício, e os lubrificantes ganharam em qualidade e durabilidade, aumentando a vida dos equipamentos.

O atrito

Qualquer movimento relativo entre corpos sólidos, líquidos e gasosos produz um movimento contrário chamado atrito. Desde a invenção da roda o ser humano tem se preocupado em reduzi-lo. A ciência que estuda o atrito é denominada tribologia (do grego *tribos*, que significa “atrito” e *logia*, “estudo”).

Leonardo da Vinci (1452-1519) constatou que a força de atrito é proporcional à carga e independe da área nominal de contato (STOETERAU, 2004). A industrialização, no século XVIII, levou a novos estudos e à introdução de novas ligas metálicas para mancais deslizantes. O metal patente surgiu nessa época; é um tipo de metal de cor clara, à base de estanho, chumbo, antimônio ou cobre, utilizado para fazer bronzinas, um tipo de bucha bipartida para revestir mancais deslizantes.

A tabela 11.1 apresenta algumas ligas e seus respectivos coeficientes de atrito (estático e dinâmico).

Tabela 11.1

Coeficiente de atrito de alguns materiais

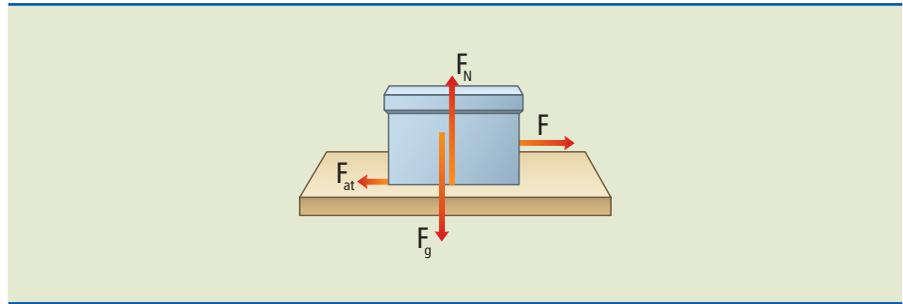
Par de materiais	Aplicação	Coeficiente de atrito estático μ		Coeficiente de atrito dinâmico μ	
		Seco	Lubrificado	Seco	Lubrificado
Aço/aço	Guia de morsa	0,20	0,10	0,15	0,10...0,05
Aço/ferro fundido	Guia de máquina	0,20	0,15	0,18	0,10...0,08

O atrito tem como consequência a geração de perdas no sistema, em forma de calor. Máquinas ou motores têm peças que se interligam provocando atrito e gerando calor. Percebe-se, também, o aparecimento de superfície lisa ou rugosa entre os corpos.

O atrito pode ser estático ou dinâmico (também chamado cinético). O atrito é estático quando não existe movimento relativo entre as superfícies. Se uma das superfícies se movimenta em relação à outra temos o atrito cinético (figura 11.6)

Figura 11.6

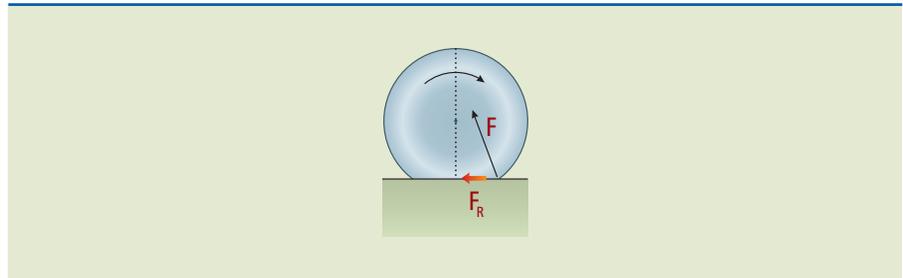
O atrito estático: ocorre enquanto a força F aplicada é insuficiente para movimentar o corpo ($F \leq F_{at.}$). O atrito dinâmico se dá quando a força provoca o movimento do corpo ($F > F_{at.}$).



O atrito dinâmico pode ser deslizante (caso em que uma superfície desliza sobre outra, como um trenó na neve) ou de rolamento (figura 11.7)

Figura 11.7

Atrito de rolamento.



$F_R = \frac{f \cdot F_N}{r} \rightarrow$ força de atrito no caso de rolamento. Exemplo: roda de guindaste em trilho de aço.

$F_R = \mu \cdot F_N \rightarrow$ força de atrito no caso de atrito estático e deslizante.

em que:

F_N = força de atrito (contrária ao movimento)

F = força de movimento

μ = coeficiente de atrito

$F_R = F_{at}$ = força de atrito

f = coeficiente de atrito rolante

r = raio da superfície rolante

Em relação à natureza das superfícies, o atrito pode ser: sólido, quando as superfícies são rígidas; e fluido, quando as superfícies em contato são líquidos ou gases.

O atrito consome energia e, se não é contido, há superaquecimento com consequente dilatação ou soldagem entre as peças. O atrito leva ao desgaste, às trincas e à quebra de equipamentos, reduzindo a eficiência do sistema.

A lubrificação

Para diminuir o atrito entre as superfícies de contato, é necessário usar lubrificantes, ou seja, a interposição de uma película protetora fluida que impede o contato direto entre as peças, o que reduz o calor gerado e o desgaste. A lubrificação consiste em transformar o atrito sólido em atrito fluido.

Diversos tipos de lubrificantes já foram usados no decorrer dos tempos, destacando-se o óleo, a graxa, a gordura, a água, o ar e partículas sólidas muito finas como grafite, dissulfeto de molibdênio ou de titânio.

Formas de lubrificação

Quanto ao movimento relativo entre dois corpos, há dois tipos de contato:

- contato direto ou metálico – quando não há lubrificante, o contato é direto ou metálico, chamado atrito seco. A lubrificação é denominada lubrificação sólida (figura 11.8);

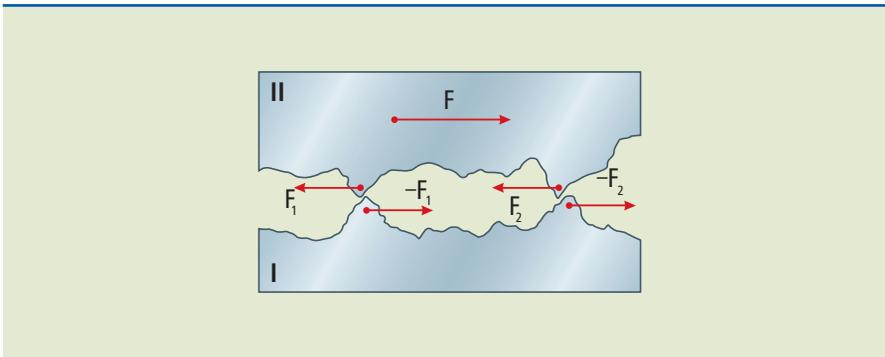


Figura 11.8

Atrito sólido.

- contato separado por película lubrificante – quando isso ocorre, há fricção fluida, em função da viscosidade do meio lubrificante, da velocidade relativa etc. Uma peça desliza sobre a superfície do lubrificante, que desliza sobre a outra peça (figura 11.9).

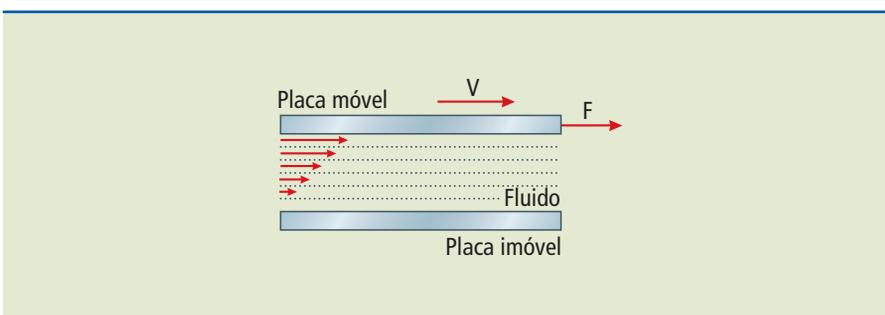


Figura 11.9

Peças deslizantes separadas por fluido.

A lubrificação fluida ou hidráulica é a que proporciona melhores resultados na redução do atrito. A folga entre os corpos é completamente preenchida pelo lubrificante. No caso de um mancal lubrificado, quando o eixo está em movimento de rotação, forma-se uma película lubrificante de contato em todo o diâmetro do eixo e do mancal, como se o eixo flutuasse no lubrificante.

Vantagens da lubrificação fluida:

- eliminação completa do desgaste;
- diminuição das perdas por atrito;
- aumento da segurança em operação;
- diminuição do consumo de lubrificantes.

Tipos de lubrificantes

- **Óleos minerais** – mistura de hidrocarbonetos (hidrogênio e carbono), resultante da destilação fracionada do petróleo, do qual são removidos a cera e o asfalto. Na refinação, o óleo lubrificante passa por um processo de tratamento com ácidos, que lhe confere características variadas: viscosidade, volatilidade, resistência à oxidação etc. A sequência de tratamentos define as características desejadas: óleo mineral puro, óleo composto, óleo com aditivo ou óleo emulsionável.
- **Óleos graxos** – óleos vegetais e animais que oferecem a vantagem de ter maior oleosidade e maior estabilidade às emulsões oleosas. Com a temperatura elevada, o óleo graxo aumenta sua fluidez e melhora a propriedade de penetração. Essa propriedade também o torna seco, em consequência da rápida absorção do oxigênio, e rançoso, permitindo a formação de bactérias.
- **Óleos compostos** – para certas aplicações, o óleo graxo é misturado ao óleo mineral à base de até 25%. Assim, o óleo mineral adquire as vantagens do óleo graxo, excluindo as desvantagens.
- **Graxas** – são dispersões estáveis de sabões em óleos minerais. Os tipos de graxa variam em função do tipo de sabão utilizado: com textura mais ou menos fibrosa e amanteigada. Os sabões também dão a classificação da graxa no mercado. Agentes estabilizantes como glicerina, ácidos graxos e água mantêm a estabilidade para armazenagem. Os produtos resultantes podem ser semifluidos ou pastosos. A graxa é empregada quando é impraticável o suprimento contínuo de óleo, pois apresentam a vantagem de proporcionar vedação e impedir a entrada de impurezas e umidade no sistema.

Tabela 11.2

Composição das graxas.

As graxas podem ser de diferentes tipos, dependendo de sua composição (tabela 11.2):

Tipo	Utilização e forma de aplicação	Aparência	Ponto de gota	Temperatura de trabalho
Graxas à base de sabão de cálcio	<ul style="list-style-type: none"> • aplicadas com copos graxeiros (tipo Stauffer) ou com pistolas de pressão • peças que trabalham em contato com a água: bombas-d'água, buchas de eixos de hélices marítimas etc. • trabalho em baixa rotação 	<ul style="list-style-type: none"> • untosa • resistente à água 	baixo	até 80 °C

Tipo	Utilização e forma de aplicação	Aparência	Ponto de gota	Temperatura de trabalho
Graxas à base de sabão de sódio	<ul style="list-style-type: none"> em pontos em que a temperatura de trabalho impeça a aplicação de outras graxas uso desaconselhável em presença de umidade, pois o sabão é solúvel em água mancais de fricção e rolamento que trabalhem em alta velocidade e temperatura engrenagens 	<ul style="list-style-type: none"> textura fibrosa alto grau de coesão 	alto	até 180 °C
Graxas à base de alumínio	<ul style="list-style-type: none"> semelhantes à graxa à base de cálcio mancais de baixa velocidade periférica usos variados, sob condições árduas de trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> semelhante à da graxa à base de cálcio, mas com mais transparência e mais brilho 	relativamente alto	até 180 °C
Graxas à base de sabão de lítio	<ul style="list-style-type: none"> aplicação com pistolas e sistemas centralizados de lubrificação substituem bem as graxas de cálcio e de sódio são caracterizadas como graxas de aplicações múltiplas custo mais alto, mas reduz a aplicação, o manuseio, o uso dos equipamentos e as consequentes perdas de resíduos nos equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> similar à de certas graxas de alumínio bastante aderente insolúvel em água substituem bem as graxas de alumínio textura untosa 	alto	até 180 °C

Sempre que possível, deve-se empregar a lubrificação a óleo e usar a graxa apenas quando as condições forem adversas, ou na falta de reservatório para estancar o óleo ou quando houver dificuldade de acesso.

Lubrificantes sintéticos

As limitações dos óleos minerais e dos óleos graxos levaram os pesquisadores a desenvolver os lubrificantes sintéticos.

Essas limitações estão relacionadas à:

- variação da viscosidade com a temperatura;
- relação entre o baixo ponto de fluidez e a baixa viscosidade;
- relação entre o alto ponto de fulgor e a alta viscosidade.

Lubrificantes sintéticos atendem a essas condições, proporcionando menor variação da viscosidade com a temperatura, baixo ponto de fluidez associado a viscosidade elevada e alto ponto de fulgor associado a baixa viscosidade.

Os lubrificantes existentes e de aplicação industrial são os glicóis polialcenos com seus derivados e os silicões.

Por causa do alto custo do lubrificante sintético em relação ao óleo natural, as empresas adotam o óleo mineral refinado, adicionam aditivos e reservam o uso de óleos sintéticos para sistemas específicos, quando o natural não puder ser utilizado.

Características físicas dos lubrificantes

Os lubrificantes possuem as seguintes características físicas:

- óleos: densidade, ponto de fulgor, ponto de combustão, ponto de fluidez, viscosidade, resíduo de carbono e cor;
- graxas: consistência, ponto de gota ou derretimento.

Para representarem o valor dos produtos, essas características devem ser analisadas em conjunto.

Características dos óleos

a) Densidade

A densidade relativa do lubrificante é a relação entre as massas de volumes idênticos de lubrificante à 20 °C e de água à 4 °C.

$$D = \frac{\mu_{\text{óleo}}}{\mu_{\text{água}}} = \frac{V_{\text{óleo}}}{V_{\text{água}}} = \frac{m_{\text{óleo}}}{m_{\text{água}}}$$

D = Densidade relativa

μ = densidade (g/cm³)

m = massa (g)

v = volume (cm³)

A densidade da água a 4 °C é igual a 1 g/cm³.

A densidade do lubrificante é de grande importância para comparar peso e volume. Ela é determinada de acordo com a norma NBR 7148.

Segundo ROUSSO (1980), a densidade API – American Petroleum Institute, medida em graus, é outra forma de medir a densidade do lubrificante.

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\mu_{\text{amostra}} \text{ a } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

b) Ponto de fulgor

O ponto de fulgor é a temperatura mínima para vaporizar o líquido em quantidade suficiente para provocar inflamação momentânea em contato com uma chama. Serve para determinar o ponto de volatilidade, a perda de fluidos leves, o grau de impureza e a segurança do produto.



Os métodos mais usados para medir o ponto de fulgor são o Pensky-Martens Vaso Fechado e o Cleveland Vaso Aberto.

c) Ponto de combustão

Uma vez iniciada a queima no ponto de fulgor, e depois de retirada a chama, o lubrificante continua a queimar durante cinco segundos, analisado nos mesmos equipamentos do processo anterior. Essa característica pouco acrescenta à qualidade do óleo lubrificante.

d) Ponto de fluidez

Indica a temperatura abaixo da qual o óleo deixa de escoar. Constitui a temperatura-limite em que o óleo pode ser usado em sistemas de lubrificação por gravidade. Para essa análise, deve-se levar em conta o tamanho e a forma do recipiente, que influenciam muito no resultado do teste.

e) Viscosidade

O que diferencia um lubrificante de outro é a viscosidade, que é o grau de atrito interno que se produz quando o óleo escoar. Viscosidade é a resistência que um líquido oferece a seu escoamento.

Considerando que uma lâmina de líquido tenderá a deslizar sobre a outra, a força tangencial existente entre as faces das lâminas será proporcional à área das faces e ao gradiente de velocidade entre elas:

$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{\Delta V}{\Delta n}$$

em que: μ = coeficiente de viscosidade dinâmica, cuja unidade é:

$$\left[\frac{\text{dina} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \right] = 1 \text{ poise},$$

no sistema CGS. Um **poise** é a viscosidade de um fluido no qual forças tangenciais de um dina atuam entre faces paralelas de áreas iguais a 1 cm^2 , que deslizam entre si a uma velocidade de 1 cm/s .

No sistema MKS técnico:

$$\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right] = 98,1 \text{ poise}$$

Dividindo o valor do coeficiente pela massa específica do fluido, obtém-se o coeficiente de viscosidade cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Nome dado em homenagem ao médico francês Jean Louis Marie Poiseuille, que estudou o fenômeno da viscosidade.

O óleo deve ser suficientemente viscoso para cumprir seu papel de lubrificante e manter uma película entre as peças em movimento relativo.

O viscosímetro é o aparelho usado para medir a viscosidade. Há diversos tipos de viscosímetro. Os do tipo empírico expressam a viscosidade em segundos (escoamento através de um orifício) ou em graus (vazamento através de uma placa). Os viscosímetros mais empregados são o Saybolt Universal, o Redwood nº 1 e o Engler em graus.

O processo de medição nos medidores Saybolt Universal e Redwood nº 1 consiste em aquecer o lubrificante no viscosímetro até alcançar a temperatura de teste. Em seguida, abre-se o orifício inferior do viscosímetro, deixa-se escoar e mede-se o tempo. Esse tempo contado em segundos e a dada temperatura é considerado a viscosidade do produto.

No outro modelo de medidor, o Engler, a viscosidade é medida em graus. É considerado o tempo (em segundos) que leva para escorrer certa quantidade de óleo em um aparelho padronizado, e a relação entre esse tempo e o tempo que leva para escorrer, sob as mesmas condições, água a 20 °C. Essa escala denomina-se grau Engler e representa-se por °E. Existem também os viscosímetros cinemáticos. Os mais comuns são os centistokes, que medem óleos com baixa viscosidade, através de um tubo capilar.

O índice de viscosidade (tabela 11.3) indica a capacidade que o lubrificante tem em manter viscosidade em determinada temperatura. Um baixo índice de viscosidade revela a tendência do óleo em apresentar grande variação de densidade com pequena variação de temperatura.

Tabela 11.3

Viscosidade de fluidos a 20 °C.

Fluido	Centipoise
Mel (aproximado)	1 500
Óleo mineral, SAE 50	800
Glicerina	500
Óleo mineral, SAE 30	300
Óleo de oliva	100
Óleo mineral, SAE 10	70
Água	1,0
Ar	0,018

Areologia é o estudo dos fenômenos de mudança na forma e no fluxo do material, que inclui fatores como viscosidade, plasticidade, elasticidade e escoamento da matéria. As pesquisas nesse campo voltam-se para o aproveitamento máximo do óleo lubrificante antes de seu descarte.

f) Resíduos de carbono

É fato que os derivados de petróleo possuem resíduos de carbono. Em certas temperaturas, alguns óleos podem sofrer evaporação e liberar os resíduos de carbono, que são determinados de acordo com métodos e aparelhos padronizados (Conradson, Ramsbottom). Servem para a comparação de tendências de formação de carbono nos óleos lubrificantes para motores de combustão interna.

Em um motor a combustão, em condições normais de operação, a medida do resíduo de carbono não deve ser levada em consideração isoladamente. Ela depende não só das características do óleo, mas também das características da combustão e do combustível.

g) Cor

A cor dos derivados do petróleo é observada pela luz refletida ou transmitida e define o grau de uniformidade do lubrificante. Pode indicar o fabricante, mas não tem nenhuma relação com a qualidade, e não está relacionada com a viscosidade.

Características das graxas

a) Consistência

A graxa pode apresentar consistência mole, dura, rígida etc., que muda com o uso. No laboratório é simulado o trabalho que a graxa deveria ter na operação, e depois é feito o ensaio.

A consistência da graxa pode ser determinada por meio de um aparelho chamado penetrômetro, que mede a penetração, em décimos de milímetros, exercida por um cone sobre uma amostra de graxa padronizada, durante cinco segundos e à temperatura de 25 °C.

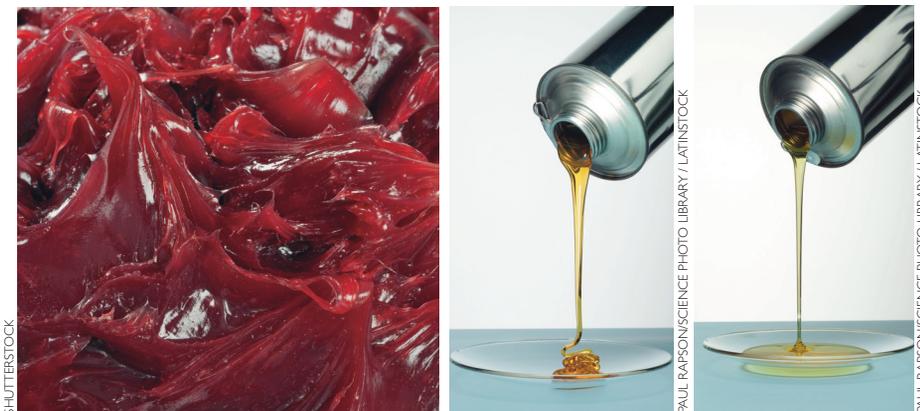


Figura 11.10

Consistência dos lubrificantes.

Os ensaios de consistência seguem a norma da ASTM (American Society for Testing of Materials), cujo resultado é apresentado na tabela 11.4, produzida pelo NLGI (National Lubricating Grease Institute), correspondendo às diferentes faixas de penetração.

Tabela 11.4
Ensaio de consistência.

Número de consistência (NLGI)	Penetração trabalhada (ASTM)
0	355 – 385
1	310 – 340
2	265 – 295
3	220 – 250
4	175 – 205
5	130 – 160
6	85 – 115

b) Ponto de gota ou derretimento

Esse ensaio permite definir:

- a temperatura de trabalho em que a graxa passa do estado sólido ou semissólido para o estado líquido; e
- a comparação das graxas diante da correlação da temperatura de trabalho e ponto de gota.

O ensaio consiste em aquecer a graxa em condições padronizadas e observar a temperatura em que ocorre a primeira gota de graxa liquefeita.

Aditivos

São produtos que adicionados ao lubrificante melhoram suas propriedades técnicas (tabela 11.5).

Tabela 11.5
Aditivos e suas características.

Aditivos	Característica
Detergentes	Mantêm o carbono de motores em suspensão e dispersos no lubrificante.
Antioxidantes	Retardam a oxidação formada em regime de trabalho e presença de calor.
Anticorrosivos	Evitam o enferrujamento das peças e das partes metálicas expostas da máquina.

Aditivos	Característica
Antiespumantes	Impedem a formação de espuma causada pela movimentação do lubrificante.
Extrema pressão	Evitam o desgaste de peças que trabalham sob pressão de contato.
Antidesgaste	Mantêm a lubrificação e evitam o desgaste na condição de baixa velocidade com lubrificação no limite.
Rebaixadores do ponto de fluidez	Reduzem a fluidez quando o regime de trabalho necessita de temperaturas mais baixas.
Aumento do índice de viscosidade	Provocam menor variação da viscosidade em diferentes temperaturas.
Agentes emulsionantes	1. Emulsionantes que facilitam a mistura da água com o óleo, resultando um óleo solúvel para resfriar e lubrificar ferramentas de corte durante a usinagem. Aparência leitosa e baixa viscosidade. 2. Emulsionantes que protegem o lubrificante contra a presença de água. Ideais para a lubrificação de mancais e de peças de motores marítimos.
Formulação especial	1. Óleo lavável – quando respingado, é facilmente removido com um jato-d'água, sabão etc. 2. Óleo adesivo – uma película fina adere à superfície sem pingar. Lubrificação de máquinas na indústria têxtil.
Óleos graxos	Adição de pequena quantidade de óleos graxos ao óleo mineral puro lhe confere a oleosidade necessária para torná-lo emulsionante em vapor-d'água. Lubrificação de máquinas a vapor.

Métodos de aplicação de lubrificantes e graxas

A aplicação depende do lubrificante a ser usado. O óleo lubrificante pode ser aplicado das seguintes formas:

- aplicação manual e simples, utilizando uma almotolia (figura 11.11), bomba manual que lubrifica os pontos expostos dos mecanismos e os botões de lubrificação instalados;



STILLFXSHUTTERSTOCK

Figura 11.11

Almotolia.

Figura 11.12



K&D FOSTER PHOTOGRAPHERS/SHUTTERSTOCK

- copo com agulha ou vareta – um copo com furo e uma haste em seu interior. A haste, ligeiramente afastada do munhão, permite descer o lubrificante sobre o munhão em rotação;
- copo com torcida ou mecha – um copo com um duto central no qual a lubrificação ocorre pelo fenômeno da capilaridade. Uma mecha com uma extremidade mergulhada no interior do copo desce pelo duto, conduzindo o lubrificante até o munhão;
- oleaderia conta-gota – um copo com um regulador de quantidade e interrupção de aplicação do lubrificante;
- lubrificação por anel – no compartimento do eixo, um reservatório mantém o lubrificante. Um anel de diâmetro maior que o eixo repousa em volta do munhão. A parte inferior desse eixo fica mergulhada no lubrificante. Ao girar, o anel carrega o lubrificante do compartimento para o eixo;
- lubrificação por colar – semelhante ao sistema por anel, considerando que o colar está preso ao eixo e mantém parte de sua extremidade mergulhada no lubrificante;
- banho de óleo – mancais verticais mantêm o conjunto munhão-mancal mergulhado em óleo. A aplicação é muito comum em caixas de engrenagens, nas quais as engrenagens inferiores arrastam óleo para as engrenagens superiores;
- estopa ou almofada – a parte inferior do munhão tangencia certo volume de estopa embebido em óleo. Utilizado em vagões de estradas de ferro. Requer cuidado na preparação e manutenção para evitar o envidramento da superfície de contato da estopa, que prejudica o processo de lubrificação;
- salpico ou borrifo – o sistema em velocidade contém peças móveis (por exemplo, pás), que mergulham no cárter e elevam o lubrificante para as partes superiores do mecanismo. A velocidade transforma esse processo em borrifo;
- sistema de circulação por gravidade – uma bomba recalca o óleo da parte inferior para a parte superior, que depois desce por gravidade. O sistema de lubrificação pode ser acionado pelo mecanismo que movimenta o eixo ou por um conjunto acionado separadamente.

Os sistemas graxeiros mais comuns são:

- a) copo dosador com mola – a mola pressiona a saída da graxa de seu interior para o mecanismo a ser engraxado;
- b) bomba de lubrificação manual – utilizada para colocar graxa, manualmente, em pinos graxeiros dispostos nas máquinas;
- c) pino graxeiro – componente fixado à máquina para lubrificar componentes nos quais a temperatura, em regime de trabalho, é mais alta;
- d) copo de graxa tipo Stauffer – mantém a lubrificação constante e livre de sujeira. No enchimento do copo não deve ser deixada nenhuma bolha de ar.



Figura 11.13

Lubrificação manual.

A aplicação de óleo com almotolia precisa ser periódica e regular, e os tipos que possuem reservatório devem ter o nível mantido por verificações regulares. Os sistemas têm de ser cuidados para:

- manter os dutos limpos e livres para fluir a lubrificação;
- impedir a entrada de ar para evitar a formação de espumas;
- remover a água do sistema, onde houver centrífuga;
- dosar o óleo na frequência e medida certas.

Lubrificação em mecanismos

Mancais

Os mancais devem ser bem projetados para promover a manutenção da película de óleo lubrificante. A lubrificação pode ser feita por óleo ou graxa.

Nos mancais de rolamento, o atrito é menor, a carga máxima diminui com o aumento da rotação, e o esforço para vencer a inércia inicial é menor do que para manter o elemento rodando. Assim, a lubrificação deve reduzir o atrito entre as partes rodantes, proteger as superfícies contra ferrugem, dissipar o calor gerado e evitar a entrada de impurezas.

Engrenagens

A lubrificação atende a engrenagens expostas e fechadas. O objetivo é reduzir o desgaste por atrito nos dentes. A lubrificação deve ser feita com óleo. De modo geral, quanto maior a resistência do material da engrenagem à tração, tanto maior será a carga nos dentes e maior a viscosidade do óleo lubrificante. Quanto maior o diâmetro primitivo, menor o esforço por dente e menor a viscosidade do óleo. O óleo indicado costuma ser o mineral puro, que suporta trabalhos em alta temperatura.

Sistema hidráulico

O meio hidráulico requer óleo pouco compressível e suficientemente fluido. O sistema hidráulico pode gerar umidade e corrosão, portanto o óleo deve ter a capacidade de se separar rapidamente da água. Precisa ter também boas propriedades de aderência ao metal para manter uma película protetora lubrificante na superfície do sistema.

Máquinas a vapor

Nas máquinas a vapor, o objetivo é reduzir o atrito e o desgaste das superfícies deslizantes. O lubrificante deve ter viscosidade elevada para suportar o trabalho em altas temperaturas. Os óleos minerais puros superam os óleos compostos, porque os elementos graxos tendem a se decompor por causa do aumento da temperatura, o que faz com que eles se misturem com a água. O óleo mineral puro, básico filtrado, tem preferência sobre os óleos compostos. A lubrificação precisa ser suficiente e não em excesso, com viscosidade controlada para evitar ruídos e atritos, e com controle de viscosidade para evitar perdas. O sistema tem de ser livre de impurezas no vapor para não contaminar o óleo e causar ferrugem.

Motores a diesel

Deficiência nos cilindros altera o comportamento dos motores a diesel. Para impedir a formação de vernizes e depósitos nos êmbolos, anéis e ranhuras dos anéis o óleo recebe aditivos. Esses aditivos especiais ajudam a manter o funcionamento adequado do motor.

Compressores

Compressores alternativos, menores, de estágio único, fazem a lubrificação por salpico, e unidades maiores possuem sistema de circulação sob pressão. O óleo deve ser mineral puro de boa qualidade, fornecido ao sistema em quantidade mínima para não haver acúmulo nas válvulas.

Compressores rotativos exigem óleo com maior viscosidade que as máquinas alternativas, para reduzir o atrito e aumentar a vedação.

Em compressores de frigoríficos, o óleo não deve se congelar no refrigerador e em outras partes frias do sistema. Tem de ter baixo ponto de fluidez e baixa

tendência à formação de cera, pureza e alta estabilidade química. Existem óleos minerais puros, altamente refinados, com viscosidade adequada para cada tipo de compressor.

Turbinas

O óleo deve lubrificar, refrigerar e proteger contra a ferrugem, e tem a tendência de se deteriorar por estar em presença da água. Os óleos minerais, altamente refinados, com aditivos antioxidantes e anticorrosivos, são indicados para turbinas a vapor. Turbinas hidráulicas verticais e engrenagens fechadas de turbinas verticais requerem óleo mineral puro, altamente refinado, com faixa de viscosidade ampla. Os óleos emulsionáveis de baixa viscosidade são indicados para turbinas horizontais.

Usinagem

Na usinagem, destacam-se os óleos emulsionáveis. A água, embora possua alto poder de refrigeração, não molha suficientemente o metal. Fluidos aquosos, adicionados à água, melhoram seu poder umectante e oferecem propriedades antioxidantes.

Óleos minerais puros e óleos compostos também são usados em situações de usinagem em que o óleo emulsionável não é necessário: usinagem leve e tornos automáticos.

No tratamento térmico, os óleos de têmpera indicados são os minerais, especialmente refinados, resistentes à corrosão, à formação de borra e resistentes ao aumento da viscosidade.

Máquinas têxteis

Os fatores de trabalho desejados nesse segmento são: economizar energia, evitar a oxidação e não manchar os tecidos. A diversidade de máquinas e mecanismos exige ampla variedade de lubrificantes com características especiais, como os óleos minerais puros de grande estabilidade química, com aditivos antioxidantes, antiferrugem, antiespumantes e antidesgastantes.

Transformadores

Na função de dissipar o calor produzido pelos geradores e transformadores, é necessário óleo mineral altamente refinado, com alta estabilidade química e de desempenho prolongado. O óleo deve ter boas propriedades dielétricas e ser de baixa viscosidade para dissipar mais rapidamente o calor.

Cuidados na armazenagem

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) impõe normas para a embalagem dos lubrificantes: óleo comercializado em tambores de 200 litros, pesando de 170 a 180 kg cada, e graxa comercializada em quilogramas.



Os locais de armazenagem e o manuseio do óleo requerem cuidados especiais. Tambores devem ser armazenados deitados, em locais limpos e secos, de preferência cobertos. Não podem ser colocados no chão, mas organizados em prateleiras ou paletes, para evitar corrosão. Precisam ser mantidos limpos e longe de poeira.

No local de retirada do óleo, os tambores devem ficar suspensos, deitados em uma estante especial. É necessário colocar uma torneira apropriada para a retirada do lubrificante. O piso tem de ser protegido com bandeja para evitar respingos e contaminação do solo, e mantido limpo, sem respingos; toda a estopa usada precisa ser acondicionada para reciclagem.

Os acessórios de trabalho como funis, bombas, galões etc. devem ser mantidos em ordem para evitar a contaminação do local e também a mistura dos produtos.

O pessoal da lubrificação

O trabalho de lubrificação é de extrema importância no processo produtivo e requer cuidados específicos. Qualquer esquecimento põe em risco a vida da máquina ou a qualidade do produto.

O lubrificador é a pessoa encarregada de manter as máquinas e equipamentos da produção lubrificados. Seu trabalho consiste em atender aos seguintes itens:

- não se expor a riscos de contaminação, usar luvas e equipamentos adequados à sua segurança;
- manter o local de trabalho em ordem e os equipamentos limpos;
- não misturar produtos para evitar a contaminação entre os diferentes produtos;
- seguir as normas de descarte de resíduos de produtos lubrificantes;
- não respingar produtos no piso para não contaminar o solo e para evitar a insegurança das pessoas que trafegam pelo local;
- ter cuidado na movimentação dos tambores para evitar choque, amassamento e quedas dos tambores, e também amassamento dos pés e das mãos no manuseio;
- observar as características e o plano de lubrificação de cada máquina;
- cuidar das informações sobre seu trabalho, anotando as ocorrências e situações divergentes;
- comunicar a ocorrência de causas inseguras ou procedimentos fora do normal.

Análise de falhas

Análise do lubrificante

Os resíduos, quando descartados na natureza, causam enormes prejuízos; por isso, no caso de volume muito grande, é interessante analisar o estado do óleo e adicionar os aditivos, a fim de evitar o descarte desnecessário. Um estudo comum é a análise ferrográfica (o ferrógrafo é o aparelho usado nessa análise). Esse tipo de análise permite verificar falhas do equipamento por meio da percepção de resíduos metálicos na amostra recolhida de óleo lubrificante.



O estudo da ferrografia foi desenvolvido na década de 1970. É muito importante para a economia obtida da análise de falhas. As partículas ficam suspensas no óleo durante algum tempo. O método consiste em passar o óleo por um filtro e contar as partículas que ficaram retidas, à luz do microscópio. É aplicado para máquinas de grande porte, com grande volume de óleo, como os turbocompressores e as locomotivas.

Com a análise ferrográfica é possível acompanhar o desgaste do equipamento (manutenção preditiva) e promover uma parada programada (preventiva) para a manutenção.

Análise de vibrações e ruídos

O fenômeno da vibração ocorre quando qualquer movimento se repete, exatamente, após determinado intervalo de tempo. A figura 11.14 mostra o gráfico de um movimento vibratório, em que estão indicados alguns de seus parâmetros principais. RMS (*root mean square*) é a sigla inglesa para média quadrática, conceito que veremos adiante.

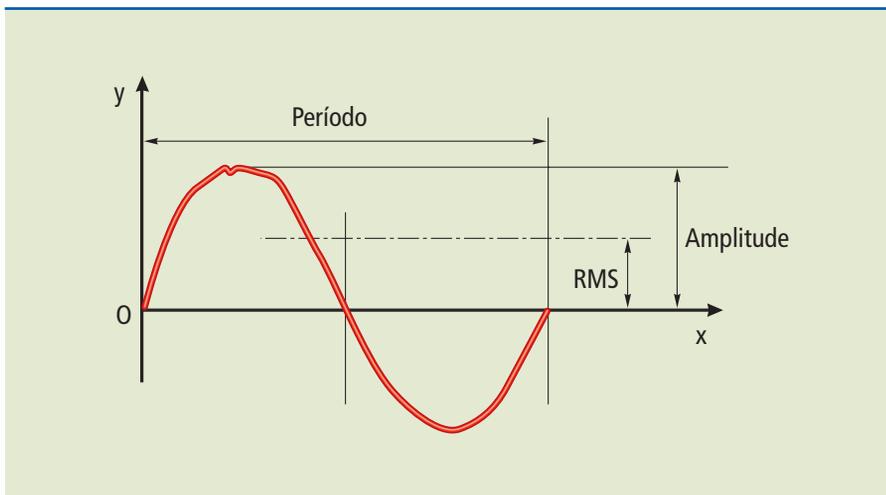


Figura 11.14

Análise de vibração.

Um equipamento vibra quando um ponto (M) localizado em seu eixo longitudinal (x) oscila na mesma distância, para cima e para baixo, na direção y . A amplitude é o deslocamento para cima ou para baixo igual à altura da crista da onda. Na mecânica, essa altura varia em torno de $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$.

As vibrações podem ser livres ou forçadas. Nas vibrações livres, o movimento periódico continua mesmo depois de cessar a força atuante. Nas vibrações forçadas, o **movimento vibratório** existe somente enquanto dura a causa ou perturbação.

Na mecânica, todo movimento vibratório é do tipo livre, por causa da perda de energia do sistema, denominada fator de amortecimento ou constante de amortecimento. Um sistema amortecido é aquele em que a perda de energia decresce rapidamente.

Denomina-se **período (T)** de uma vibração, um ciclo simples completo de vibração. A **frequência (f)** é uma sequência de ciclos que ocorre durante uma unidade de tempo.

Frequência natural é a frequência de uma vibração livre. Quando a frequência forçada se iguala à frequência natural, o sistema entra em **ressonância**.

A unidade de frequência no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o hertz (Hz), (1 Hz = 60 rpm), que é igual a um ciclo por segundo. Pelas definições, temos:

$$T = \frac{1}{f} \text{ e } \lambda = v \cdot T \text{ ou } \lambda = \frac{v}{f} \text{ e } v = f \cdot \lambda$$

em que:

λ = comprimento da onda; distância entre duas cristas consecutivas ou entre dois pontos consecutivos, em concordância de fase;

v = velocidade do ponto M, em metros por segundo, no SI. A velocidade do ponto M desacelera para cima e para baixo e alcança a velocidade máxima em $y = 0$.

A vibração cujo movimento muda de caráter durante o período é chamada vibração transiente, e aquela cujo movimento se repete em cada ciclo sucessivo é denominada vibração em regime permanente. Em um movimento mecânico, a vibração inicial é transiente durante certo tempo, e depois passa a ser em regime permanente, em consequência da perda de energia no sistema.

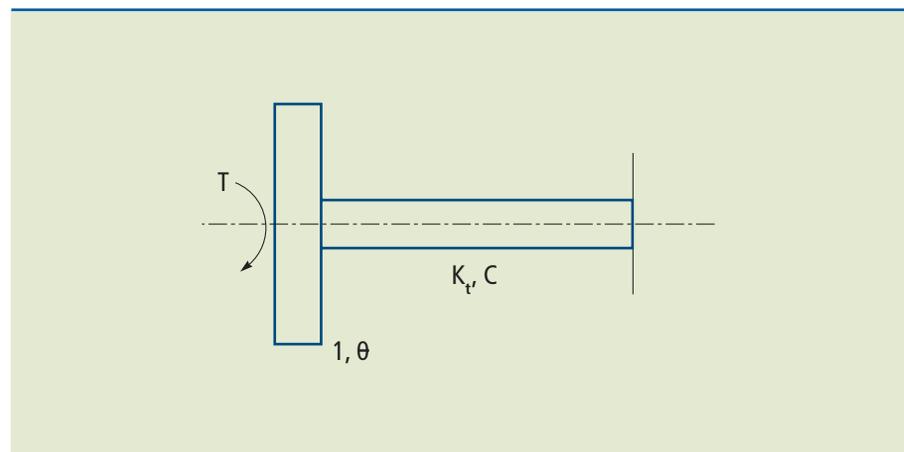
A compreensão da vibração fica mais clara se considerarmos que os corpos deixam de ser rígidos, e que as máquinas vibram porque são elásticas.

Vibração torcional

Exemplo (SHIGLEY, 1969)

Uma polia de momento de inércia I é montada na extremidade de um eixo sem peso (figura 11.15).

Figura 11.15
Polia montada na extremidade de um eixo sem peso.



Solução:

$$k_t = \frac{T}{\theta} \left[\frac{\text{lb} \cdot \text{pol}}{\text{rad}} \right], \text{ em que:}$$

k_t = constante de rigidez torcional do eixo. Representa o torque capaz de produzir um ângulo de torção igual a um radiano;

T = torque necessário para produzir uma deflexão angular na polia.

$$c = \frac{T}{\dot{\theta}} \left[\frac{\text{lb} \cdot \text{pol} \cdot \text{seg}}{\text{rad}} \right], \text{ em que:}$$

c = fator de amortecimento torcional

$T = f(t)$

Então, a equação do movimento torcional fica:

$$-k_t \theta - c \dot{\theta} + f(t) + (-I \ddot{\theta}) = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{c}{I} \dot{\theta} + \frac{k_t}{I} \theta = \frac{1}{I} f(t)$$

Aplicando torque na polia, o eixo sofre torção. Se o torque é retirado repentinamente, a polia vibra torcional e livremente em certa frequência natural. Durante essa vibração, a polia tenta girar. No instante inicial, a quantidade de movimento angular do sistema, em relação ao eixo de rotação, é nula, porque a polia está em repouso. Como o centro de gravidade da polia está sobre o eixo de rotação, o momento das forças externas, em relação ao eixo, é nulo. E o coeficiente de variação da quantidade de movimento angular do sistema, em relação à linha de centro do eixo, deve ser nulo.

Aplicação da análise de vibração

A análise de vibração permite detectar falhas escondidas no interior das máquinas e equipamentos. O analista encosta o sensor em pontos estratégicos do equipamento e coleta dados para análise. A análise de vibração permite detectar:

- engrenagens com dentes gastos, danificados, ou quebrados;
- rolamentos avariados;
- rotores desbalanceados;
- mancais e eixos gastos e com folgas;
- cavitação em sistema hidráulico;
- falha de lubrificação;
- conjuntos desalinhados;
- corrente elétrica;
- folgas generalizadas.

As principais causas são:

- desbalanceamento – má distribuição da massa de um rotor;
- excentricidade – vibrações radiais, percepção semelhante ao desbalanceamento;
- desalinhamento – em decorrência de desgaste de componentes;
- folgas – ocasionadas pela presença de componentes soltos e trincas;
- correias – desgastadas ou com folgas;
- engrenagens com dentes quebrados;
- defeitos em mancais de deslizamento – excesso de carga, folgas e falta de lubrificação;
- defeitos em mancais de rolamentos – defeitos em pista, elementos rodantes e gaiola;
- problemas em motores elétricos.

O método de percepção das vibrações consiste em coletar ruídos do interior da máquina por meio de um sensor e analisar as diferenças, os solavancos cíclicos cuja oscilação é percebida na forma de um espectro gráfico. Os dados são registrados e analisados. Picos e vales fora do padrão podem demonstrar que há problema no interior da máquina. Então, conhecendo seu interior, por meio de desenhos e catálogos, é possível saber onde está o defeito.

O valor de pico resulta de impactos de curta duração, deslocamentos vibratórios da máquina. A média quadrática, ou valor RMS indica a média da energia do movimento vibratório, o potencial destrutivo da vibração.

$$\text{RMS} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \text{amplitude} = 0,707 \cdot \text{amplitude}$$

$$\text{Média} = \frac{1}{2} \cdot \text{amplitude}$$

A vibração é reconhecida por três parâmetros:

Velocidade: identifica vibrações hidráulicas, rolamentos com defeitos e engrenagens com problemas.

Deslocamento: analisa as várias alterações de vibração, mas não é indicada para o desbalanceamento e desalinhamento.

Aceleração: identifica desbalanceamento, folgas e problemas em rolamentos. Pode ser analisada sob dois parâmetros:

- aceleração RMS – que detecta falhas com frequência de até 1 000 Hz. Esse parâmetro é indicado para análise de falhas em rolamentos, engrenamentos e lubrificação;
- aceleração pico a pico – pela análise dos picos do espectro gráfico é possível identificar falhas relevantes, de qualquer natureza.

Falhas geradas em rolamentos e engrenagens utilizam a técnica do envelope, composta de um conjunto de procedimentos aplicados ao sinal, que reúne: definição da faixa de filtragem, refino da amplitude, de modulação da frequência e filtragem da frequência com defeito.

As faixas de frequências identificam as falhas nos rolamentos:

- 50 a 1000 Hz = folgas;
- 500 a 1000 Hz = desbalanceamento.

Equipamentos usados para análise de vibração

Sensores

Os sensores captam as oscilações de torque e transmitem para um sistema de controle e análise. Existem sensores para variadas finalidades. Podem ser: eletrodinâmicos, piezoelétricos (figura 11.16) e indutivos (figura 11.17).



ELECTRONISTOCK/ALAMY/OTHERIMAGES

Figura 11.16

Sensor piezoelétrico.



Figura 11.17

Sensor indutivo sem contato.

Medidores e analisadores de vibração

A figura 11.18 mostra um aparelho mais moderno usado para medições globais em mm/s e rms, segundo a norma NBR 10082.

Figura 11.18

Medidores.

