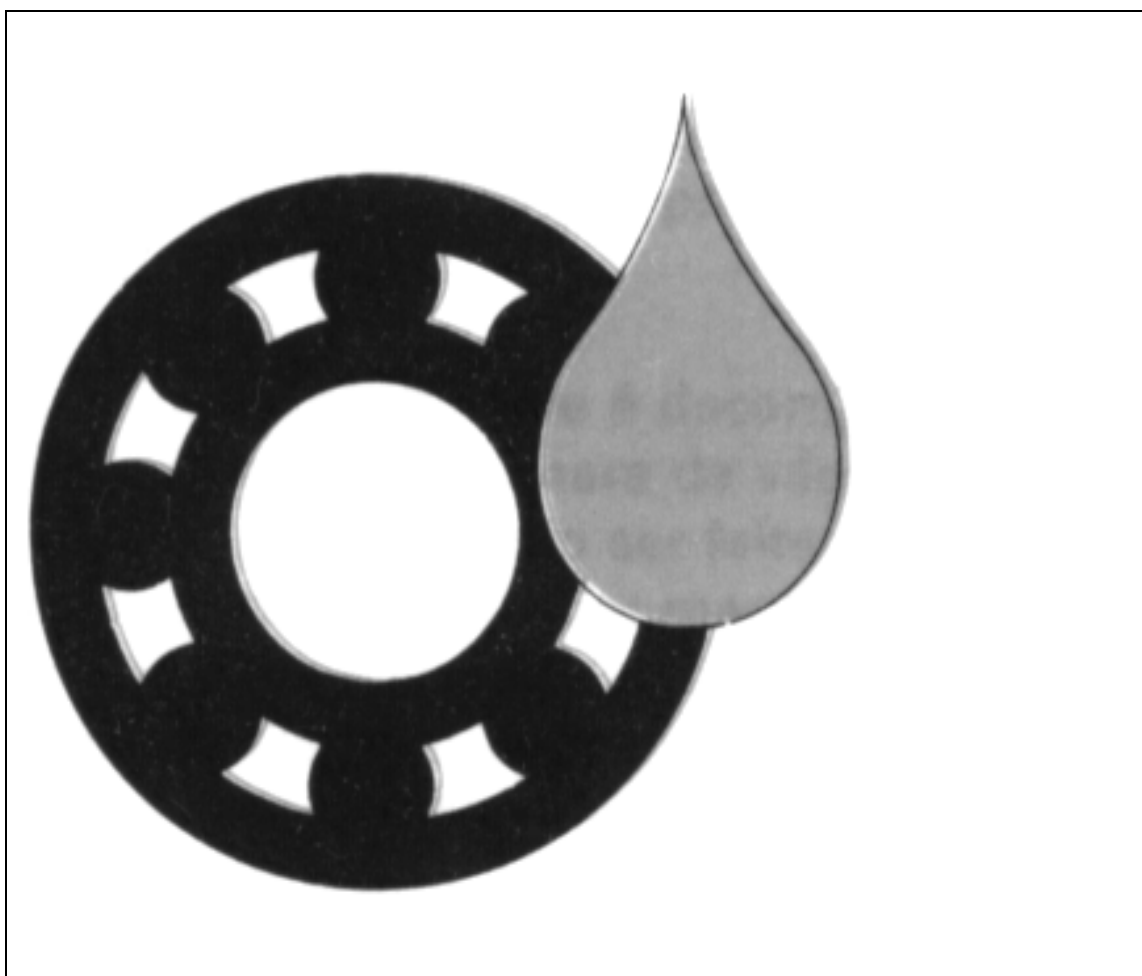

CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção

Mecânica

Lubrificação



Lubrificação - Mecânica

© SENAI - ES, 1997

Trabalho realizado em parceria SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão)

Coordenação Geral	Luís Cláudio Magnago Andrade (SENAI) Marcos Drews Morgado Horta (CST)
Supervisão	Alberto Farias Gavini Filho (SENAI) Rosalvo Marcos Trazzi (CST)
Elaboração	Evandro Armini de Pauli (SENAI) Fernando Saulo Uliana (SENAI)
Aprovação	José Geraldo de Carvalho (CST) José Ramon Martinez Pontes (CST) Tarcílio Deorce da Rocha (CST) Wenceslau de Oliveira (CST)
Editoração	Ricardo José da Silva (SENAI)

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
DAE - Divisão de Assistência às Empresas
Departamento Regional do Espírito Santo
Av. Nossa Senhora da Penha, 2053 - Vitória - ES.
CEP 29045-401 - Caixa Postal 683
Telefone: (027) 325-0255
Telefax: (027) 227-9017

CST - Companhia Siderúrgica de Tubarão
AHD - Divisão de Desenvolvimento de Recursos Humanos
AV. Brigadeiro Eduardo Gomes, s/n, Jardim Limoeiro - Serra - ES.
CEP 29160-972
Telefone: (027) 348-1322
Telefax: (027) 348-1077

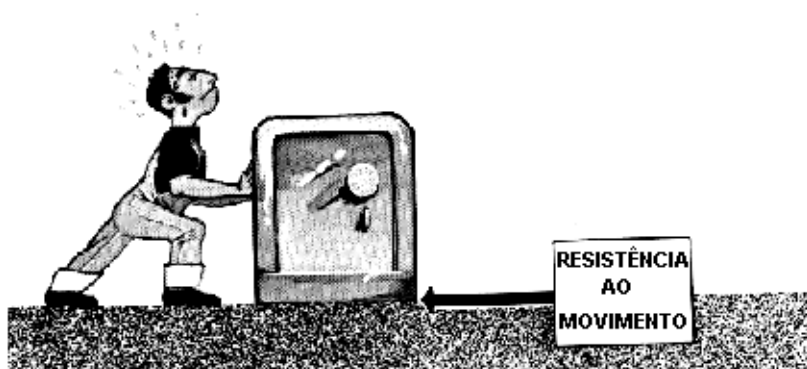
Sumário

Lubrificação.....	03
• Atrito	03
• Lubrificante	07
• Funções dos Lubrificantes	10
• Película Lubrificante	11
• Classificação da Lubrificação	12
• Cunha Lubrificante	14
• Ranhuras	16
Lubrificantes.....	19
• Classificação	19
• Análises	21
• Aditivos	40
Graxas Lubrificantes	47
• Generalidades	47
• Fabricação	47
• Classificação	48
• Características e Aplicações	48
• Critérios de escolha	50
• Aditivos	52

Lubrificação

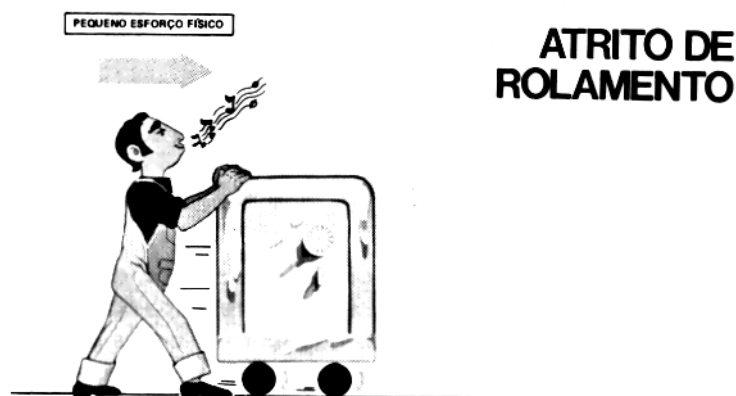
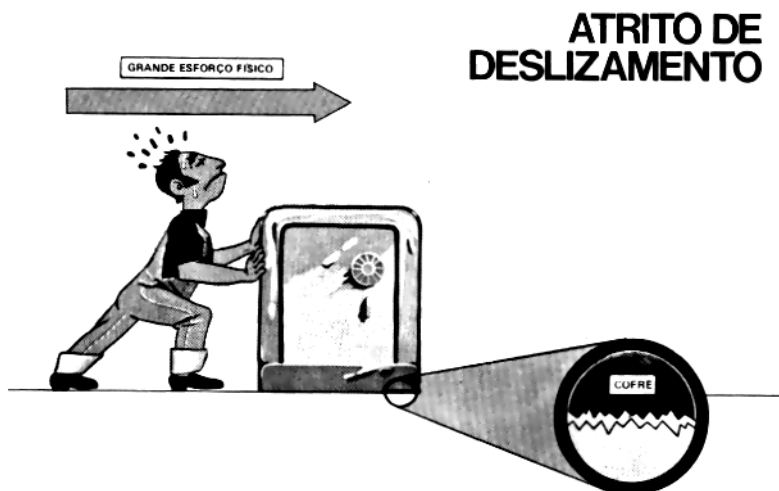
Atrito

O *atrito* é uma designação genérica da resistência que se opõe ao movimento. Esta resistência é medida por uma força denominada força de *atrito*. Encontramos o atrito em qualquer tipo de movimento entre sólidos, líquidos ou gases. No caso de movimento entre sólidos, o atrito pode ser definido como a *resistência que se manifesta ao movimentar-se um corpo sobre outro*.



O atrito tem grande influência na vida humana, ora agindo a favor, ora contra. No primeiro caso, por exemplo, possibilitando o simples caminhar. O segundo preocupa-nos mais de perto e tudo tem sido feito para minimizar esta força. O menor atrito que existe é dos gases, vindo a seguir o dos fluidos e, por fim, o dos sólidos. *Como o atrito fluido é sempre menor que o atrito sólido, a lubrificação consiste na interposição de uma substância fluida entre duas superfícies, evitando, assim, o contato sólido com sólido, e produzindo o atrito fluido*. É de grande importância evitar-se o contato sólido com sólido, pois este provoca o aquecimento das peças, perda de energia pelo agarramento das peças, ruído e desgaste.

O atrito sólido pode se manifestar de duas maneiras: como **atrito de deslizamento** e como **atrito de rolamento**. No atrito de deslizamento, os pontos de um corpo ficam em contato com pontos sucessivos do outro. No caso do atrito de rolamento, os pontos sucessivos de um corpo entram em contato com os pontos sucessivos do outro. *O atrito de rolamento é bem menor do que o atrito de deslizamento.*



As leis que regem o atrito de deslizamento são as seguintes:

1ª Lei

O atrito é diretamente proporcional à carga aplicada. Portanto, o coeficiente de atrito se mantém constante e, aumentando-se a carga, a força de atrito aumenta na mesma proporção.

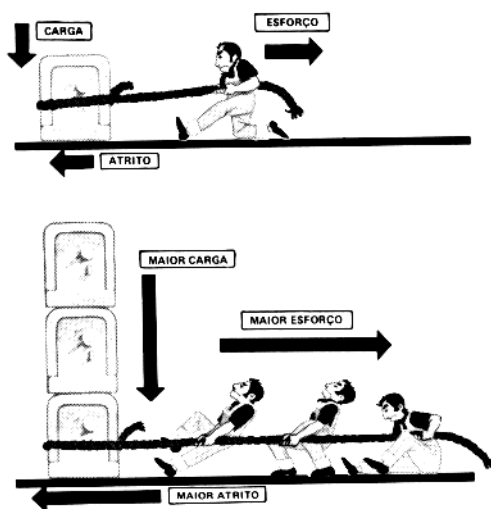
$$F_s = \mu \times P$$

Sendo:

F_s = atrito sólido

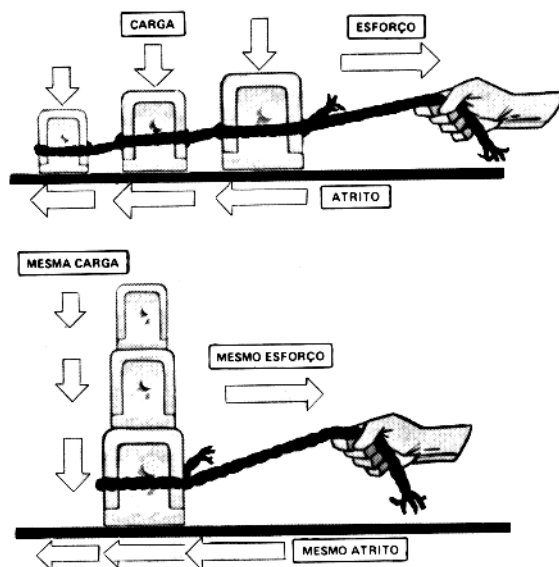
μ = coeficiente de atrito

P = carga aplicada



2ª Lei

O atrito, bem como o coeficiente de atrito, independem da área de contato aparente entre superfícies em movimento.



3ª Lei

O *atrito cinético* (corpos em movimento) é *menor do que o atrito estático* (corpos sem movimento), devido ao coeficiente de atrito cinético ser inferior ao estático.



4ª Lei

O *atrito diminui com a lubrificação e o polimento das superfícies*, pois reduzem o coeficiente de atrito.

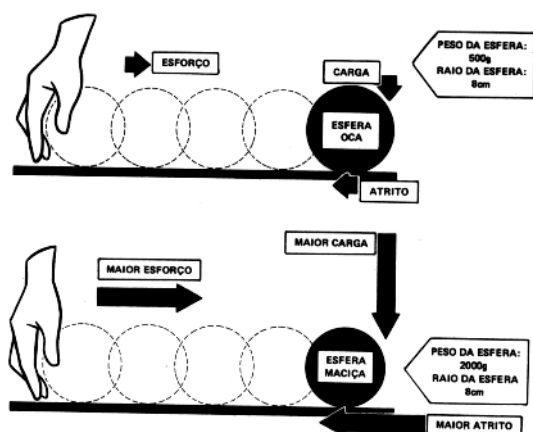


No atrito de rolamento, a resistência é devida sobretudo às deformações. As superfícies elásticas (que sofrem deformações temporárias) oferecem menor resistência ao rolamento do que as superfícies plásticas (que sofrem deformações permanentes). Em alguns casos, o atrito de rolamento aumenta devido à deformação da roda (por exemplo, pneus com baixa pressão).

As leis do atrito de rolamento são as seguintes:

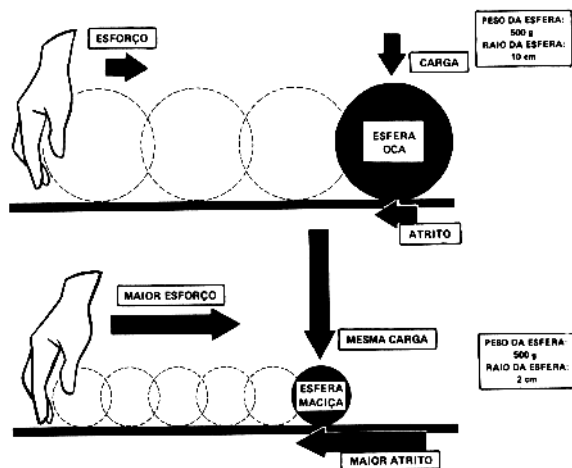
1ª Lei

A resistência ao rolamento é diretamente proporcional à carga aplicada.



2ª Lei

O atrito de rolamento é inversamente proporcional ao raio do cilindro ou esfera.



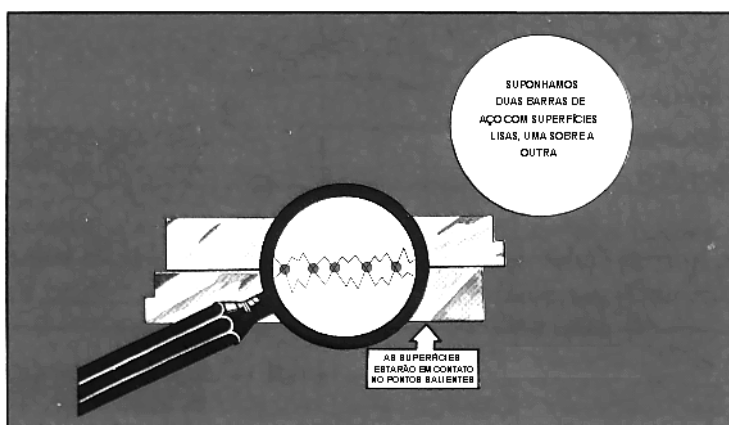
Lubrificante

Exames acurados do contorno de superfícies sólidas, feitas no microscópio eletrônico e por outros métodos de precisão, mostraram que é quase impossível, mesmo com os mais modernos processos de espelhamento, produzir uma superfície verdadeiramente lisa ou *plana*.

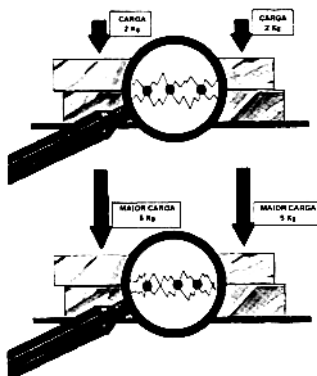
Ampliando-se uma pequena porção de uma superfície aparentemente lisa, temos a idéia perfeita de uma cadeia de montanhas.



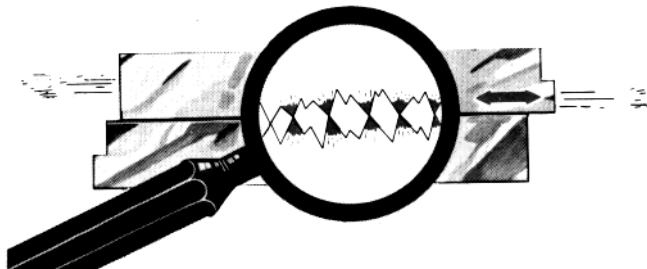
Supondo duas barras de aço com superfícies aparentemente lisas, uma sobre a outra, tais superfícies estarão em contato nos pontos salientes.



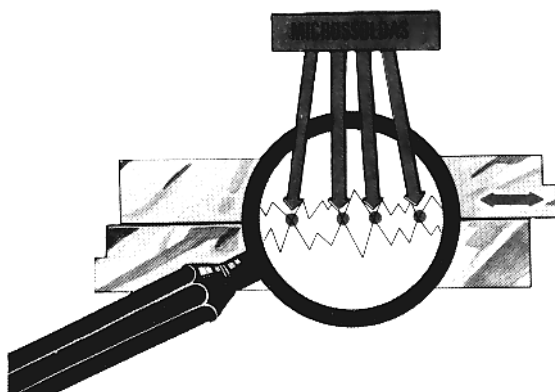
Quanto maior for a carga, maior será o número de pontos em contato.



Ao movimentar-se uma barra de aço sobre a outra haverá um desprendimento interno de calor nos pontos de contato. Devido à ação da pressão e da temperatura, estes pontos se soldam.

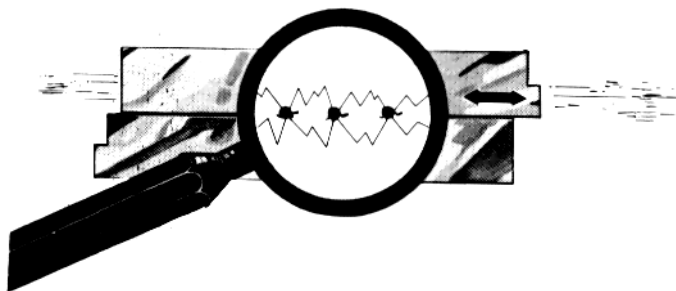


Para que o movimento continue, é necessário fazer uma força maior, a fim de romper estas pequeníssimas soldas (microsoldas).

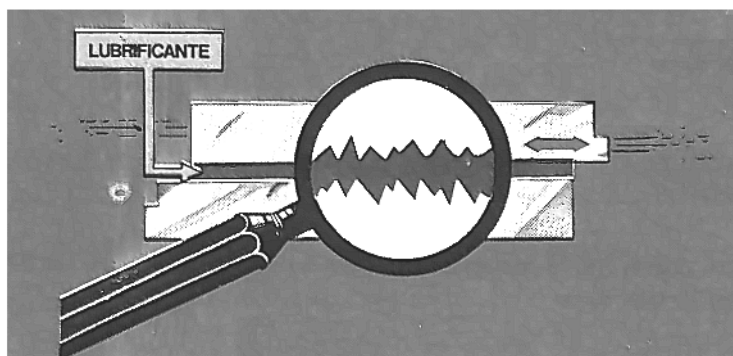


Com o rompimento das microsoldas, temos o desgaste metálico, pois algumas partículas de metal são arrastadas das superfícies das peças.

Quando os pontos de contato formam soldas mais profundas, pode ocorrer a grimpagem ou ruptura das peças.



Uma vez que o atrito e o desgaste provêm do contato das superfícies, o melhor método para reduzi-los é manter as superfícies separadas, intercalando-se entre elas uma camada de lubrificante. Isto, fundamentalmente, constitui a lubrificação.



Portanto, lubrificantes é qualquer material que, interposto entre duas superfícies atritantes, reduza o atrito.

Funções dos Lubrificantes

As principais funções dos lubrificantes, nas suas diversas aplicações, são as seguintes:

- a. Controle do atrito – transformando o atrito sólido em atrito fluido, evitando assim a perda de energia.
- b. Controle do desgaste – reduzindo ao mínimo o contato entre as superfícies, origem do desgaste.
- c. Controle da temperatura – absorvendo o calor gerado pelo contato das superfícies (motores, operações de corte etc.).
- d. Controle da corrosão – evitando que ação de ácidos destrua os metais
- e. Transmissão de força – funcionando como meio hidráulico, transmitindo força com um mínimo de perda (sistemas hidráulicos, por exemplo).
- f. Amortecimento de choques – transferindo energia mecânica para energia fluida (como nos amortecedores dos automóveis) e amortecendo o choque dos dentes de engrenagens.

- g. Remoção de contaminantes – evitando a formação de borras, lacas e vernizes.
- h. Vedação – impedindo a saída de lubrificantes e a entrada de partículas estranhas (função das graxas), e impedindo a entrada de outros fluidos ou gases (função dos óleos nos cilindros de motores ou compressores).

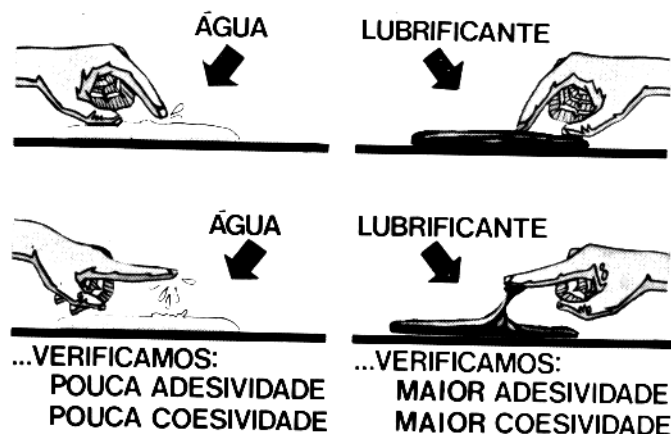
A falta de lubrificação causa uma série de problemas nas máquinas. Estes problemas podem ser enumerados, conforme a ocorrência, na seguinte seqüência:

- a. Aumento do atrito
- b. Aumento do desgaste
- c. Aquecimento
- d. Dilatação das peças
- e. Desalinhamento
- f. Ruídos
- g. Grimpagem
- h. Ruptura das peças

Película Lubrificante

Para que haja formação de película lubrificante, é necessário que o fluido apresente adesividade, para aderir às superfícies e ser arrastada por elas durante o movimento, e coesividade, para que não haja rompimento da película. A propriedade que reúne a adesividade e a coesividade de um fluido é denominada oleosidade.

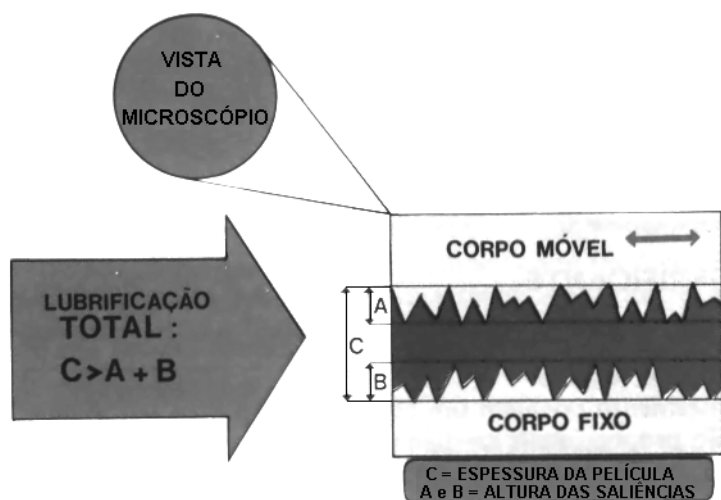
A água não é um bom lubrificante; sua adesividade e coesividade são muito menores que as de um óleo.



Classificação da Lubrificação

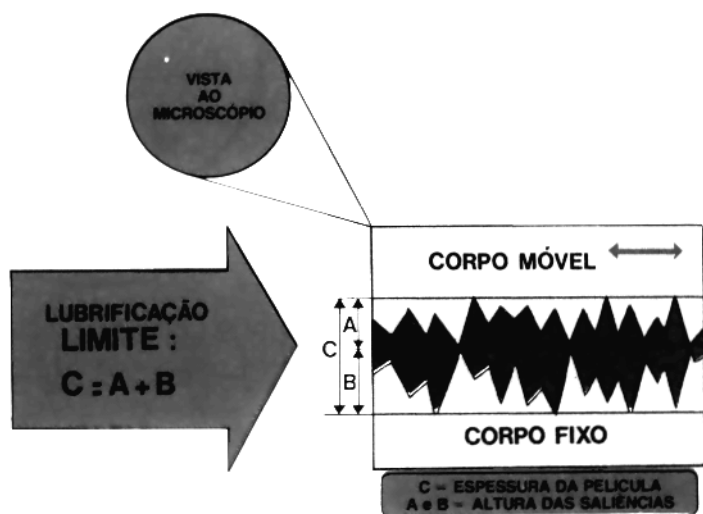
A lubrificação pode ser classificada, de acordo com a película lubrificante, em total ou fluida, limite e mista.

Na lubrificação total ou fluida, a película lubrificante separa totalmente as superfícies, não havendo contato metálico entre elas, isto é, a película possui espessura superior à soma das alturas das rugosidades das superfícies. Serão resultantes, assim, valores de atrito baixos e desgaste insignificantes.

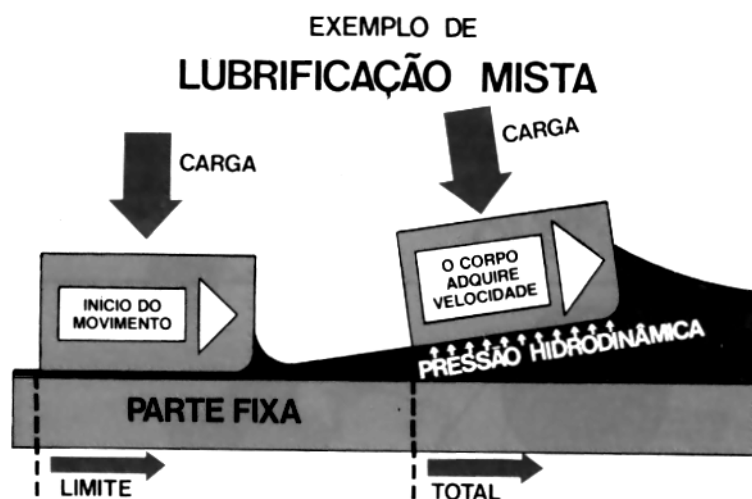


Na *lubrificação limite*, a película, mais fina, permite o contato entre as superfícies de vez em quando, isto é, a película possui espessura igual à soma das alturas das rugosidades das superfícies. Nos casos em que cargas elevadas, baixas velocidades ou operação intermitente impedem a formação de uma película fluida, é conveniente empregar-se um lubrificante com aditivos de oleosidade ou antidesgaste. Onde as condições

são muito severas, e estes aditivos perdem a eficiência, devem ser empregados aditivos de extrema pressão.



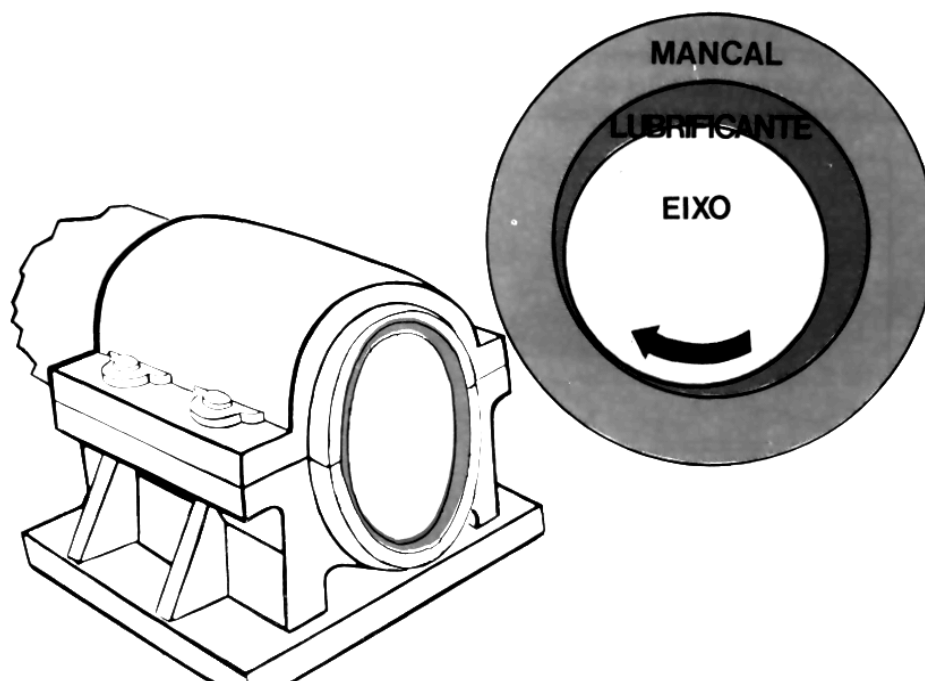
Na *lubrificação mista*, podem ocorrer os dois casos anteriores. Por exemplo, na partida das máquinas os componentes em movimento estão apoiados sobre as partes fixas, havendo uma película insuficiente, permitindo o contato entre as superfícies (lubrificação limite). Quando o componente móvel adquire velocidade, é produzida uma pressão (pressão hidrodinâmica), que separa totalmente as superfícies, não havendo contato entre elas (lubrificação total).



Cunha Lubrificante

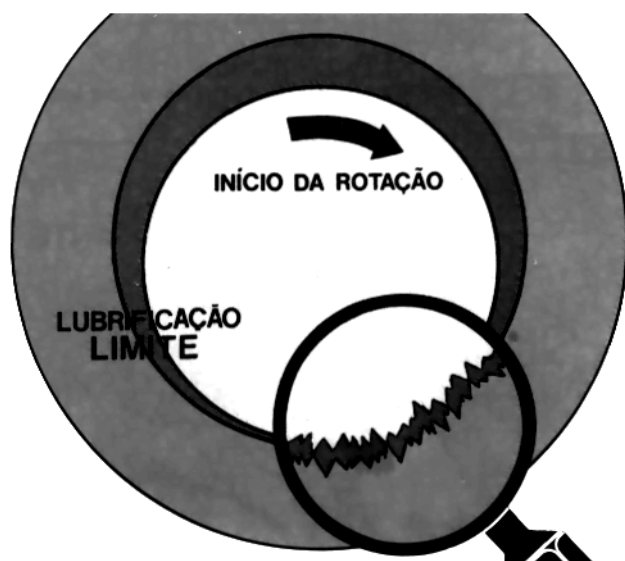
Os mancais são suportes que mantêm as peças (geralmente eixos) em posição ou entre limites, permitindo seu movimento relativo.

Os mancais de deslizamento possuem um espaço entre o eixo e o mancal denominado **folga**. As dimensões da folga são proporcionais ao diâmetro “d” do eixo ($0,0006d$ a $0,001d$) e suas funções são suportar a dilatação e a distorção das peças, bem como neutralizar possíveis erros mínimos de alinhamento. Além disto, a folga é utilizada para *introdução do lubrificante*. O óleo introduzido na folga adere às superfícies dos eixo e do mancal, cobrindo-as com uma película de lubrificante.

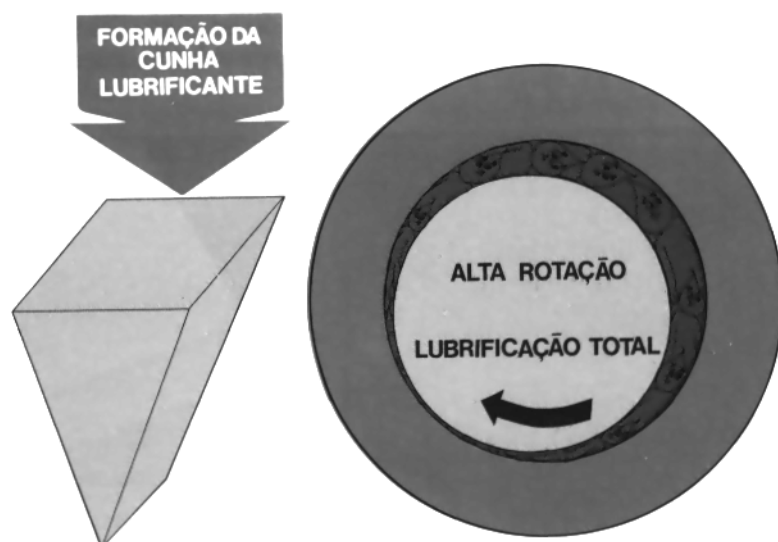


Com a máquina parada, devido à folga o eixo toma uma posição excêntrica em relação ao mancal, apoiando-se na parte inferior. Nesta posição a película lubrificante entre o eixo e o mancal é mínima, ou praticamente nenhuma.

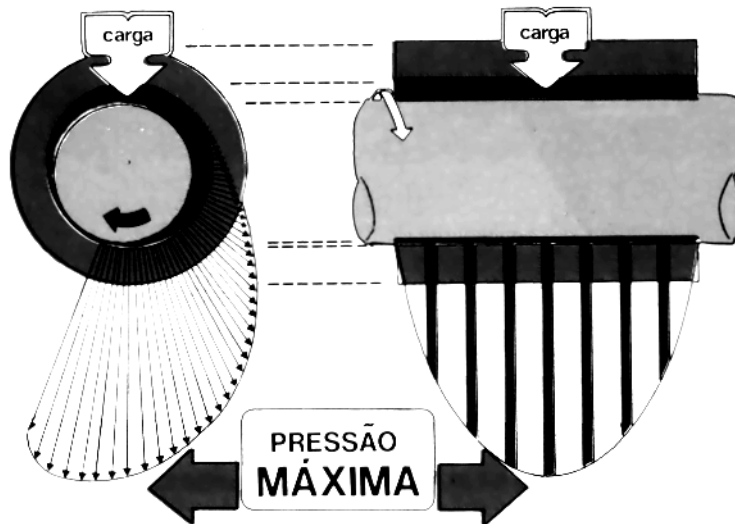
- Na partida da máquina, o eixo começa a girar e o óleo, aderindo à sua superfície, é arrastado, formando-se a *cunha lubrificante*. Durante as primeiras rotações, o eixo sobe ligeiramente sobre a face do mancal, em direção contrária à da rotação, permanecendo um considerável atrito entre as partes metálicas, pois existe contato entre as superfícies (*lubrificação limite*).



À medida que a velocidade aumenta, maior será a quantidade de óleo arrastada, formando-se uma **pressão hidrodinâmica na cunha lubrificante**, que tende a levantar o eixo para sua posição central, eliminando o contato metálico (**lubrificação total**).



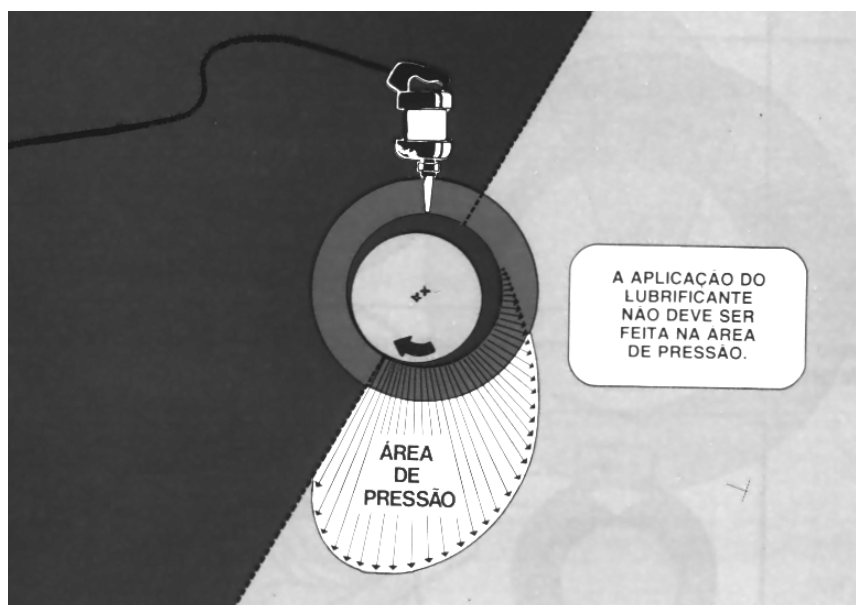
A pressão não se distribui uniformemente sobre o mancal, havendo uma área de pressão máxima e outra de pressão mínima.



Ranhuras

Na lubrificação dos mancais, é de grande importância o local de introdução do lubrificante.

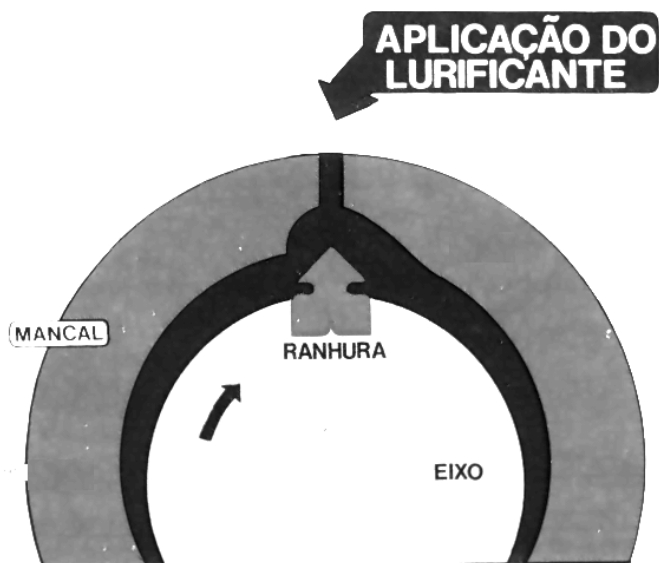
O ponto de aplicação do lubrificante deve ser escolhido em uma área de pressão mínima, caso contrário a sua entrada seria impedida pela pressão do eixo sobre o mancal, seriam necessárias bombas de alta potência.



Para permitir a rápida distribuição do óleo lubrificante ao longo do mancal, nele são feitas as ranhuras. A eficiência da distribuição depende do formato e da localização das ranhuras.

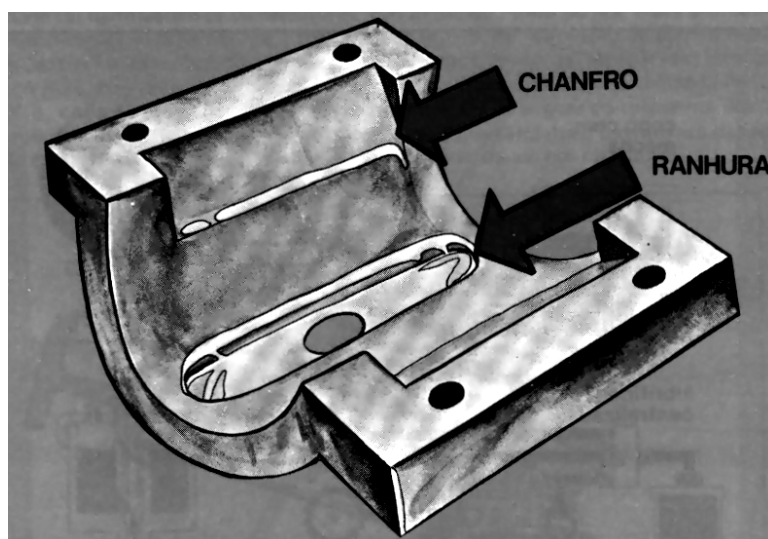
As ranhuras jamais devem ser colocadas nas áreas de pressão máxima, que anulariam suas funções, impedindo a distribuição do lubrificante.

As ranhuras devem ter suas arestas bem chanfradas, a fim de não rasparem o óleo que está sobre o eixo. Não é necessário chanfrar a aresta da ranhura que o eixo encontra primeiramente na sua rotação, pois esta não raspará o óleo do eixo.



As ranhuras não devem atingir as extremidades do mancal, para evitar o vazamento.

As faces das juntas de mancais bipartidos geralmente devem ser chanfradas, para que cada chanfro forme a metade de uma ranhura.



Lubrificantes

Classificação

Os lubrificantes são classificados, de acordo com seu estado físico, em líquidos, pastosos, sólidos e gasosos.

Os lubrificantes líquidos são os mais empregados na lubrificação. Podem ser subdivididos em: óleos minerais puros, óleos graxos, óleos compostos, óleos aditivados e óleos sintéticos.

Os óleos minerais puros são provenientes da destilação e refinação do petróleo.

Os óleos graxos podem ser de origem **animal** ou **vegetal**. Foram os primeiros lubrificantes a serem utilizados, sendo mais tarde substituídos pelos óleos minerais. Seu uso nas máquinas modernas é raro, devido à sua instabilidade química, principalmente em altas temperaturas, o que provoca a formação de ácidos e vernizes.

Os óleos compostos são constituídos de misturas de óleos minerais e graxos. A percentagem de óleo graxo é pequena, variando de acordo com a finalidade do óleo. Os óleos graxos conferem aos óleos minerais propriedades de emulsibilidade, oleosidade e extrema pressão. Os principais óleos graxos são:

óleos animais	{	de sebo bovino (tallow oil)
		de mocotó (neat's foot oil)
		de baleia (sperm oil)
		de banha de porco (lard oil)
		de lanolina (degras oil)

óleos vegetais	{	de mamona (castor oil)
		de colza (rape seed oil)
		de palma (palm oil)
		oliva (olive oil)

Os óleos aditivados são óleos minerais puros, aos quais foram adicionados substâncias comumente chamadas de aditivos, com o fim de reforçar ou acrescentar determinadas propriedades.

Os óleos sintéticos são provenientes da indústria petroquímica. São os melhores lubrificantes, mas são também os de custo mais elevado. Os mais empregados são os polímeros, os diésteres etc. Devido ao seu custo, seu uso limitado aos locais onde os óleos convencionais não podem ser utilizados.

Outros líquidos são às vezes empregados como lubrificantes, dado a impossibilidade de se utilizarem quaisquer dos tipos mencionados. A água, algumas vezes empregada, possui propriedades lubrificantes reduzidas, além de ter ação corrosiva sobre os metais.

Os pastosos, comumente chamados **graxas**, são empregados onde os lubrificantes líquidos não executam suas funções satisfatoriamente. As graxas podem ser subdivididas em: **graxas de sabão metálico**, **graxas sintéticas**, **graxas á base de argila**, **graxas betuminosas** e **graxas para processo**.

As **graxas de sabão metálico** são as mais comumente utilizadas. São constituídas de óleos minerais puros e sabões metálicos, que são a mistura de um óleo graxo e um metal (cálcio, sódio, lítio, etc.). Como os óleos, estas graxas podem ser aditivadas para se alcançarem determinadas características.

As **graxas sintéticas** são as mais modernas. Tanto o óleo mineral, como o sabão, podem ser substituídos por óleos e sabões sintéticos. Como os óleos sintéticos, devido ao seu elevado custo, estas graxas têm sua aplicação limitada aos locais onde os tipos convencionais não podem ser utilizados.

As **graxas á base de argila** são constituídas de óleos minerais puros e argilas especiais de granulação finíssima. São graxas especiais, de elevado custo, que resistem a temperaturas elevadíssimas.

As **graxas betuminosas**, formuladas à base de asfalto e óleos minerais puros, são lubrificantes de grande adesividade. Algumas, devido à sua alta viscosidade, devem ser aquecidas para serem aplicadas. Outras, são diluídas em solventes que se evaporam após sua aplicação.

As **graxas para processo** são graxas especiais, fabricadas para atenderem a processos industriais como a estampagem, a moldagem etc. Algumas contêm materiais sólidos como aditivos.

Os **lubrificantes sólidos** são usados, geralmente, como aditivos de lubrificantes líquidos ou pastosos. Algumas vezes, são aplicados em suspensão, em líquidos que se evaporam após a sua aplicação. A **grafite**, o **molibdênio**, o **talco**, a **mica** etc., são os mais empregados. Estes lubrificantes apresentam grande resistência a elevadas pressões e temperaturas.

Os **lubrificantes gasosos** são empregados em casos especiais, quando não é possível a aplicação dos tipos convencionais. São normalmente usados o **ar**, o **nitrogênio** e

os **gases halogenados**. Sua aplicação é restrita, devido à vedação exigida e às elevadas pressões necessárias para mantê-los entre as superfícies.

Análises

A formulação de um óleo lubrificante é um trabalho complexo, em que o técnico deve estudar a compatibilidade entre os diversos tipos de óleos minerais puros (chamados óleos básicos), entre os diversos tipos de aditivos e entre os óleos minerais puros e os aditivos, de acordo com sua finalidade.

Para se atingirem as características desejadas em um óleo lubrificante, realizam-se análises físico-químicas, que permitem fazer uma pré-avaliação de seu desempenho. Algumas destas análises não refletem as condições encontradas na prática, mas são métodos empíricos que fornecem resultados comparativos de grande valia quando associado aos métodos científicos desenvolvidos em laboratórios.

Entre as análises realizadas com os lubrificantes temos:

- A) Densidade
- B) Viscosidade
- C) Índice de viscosidade
- D) Ponto de fulgor (ou de lampejo) e ponto de inflamação (ou de combustão)
- E) Pontos de fluidez e névoa
- F) Água por destilação
- G) Água e sedimentos
- H) Demulsibilidade
- I) Extrema pressão
- J) Diluição
- K) Cor
- L) Cinzas oxidadas
- M) Cinzas sulfatadas
- N) Corrosão em lâmina de cobre
- O) Consistência de graxas lubrificantes
- P) Ponto de gota

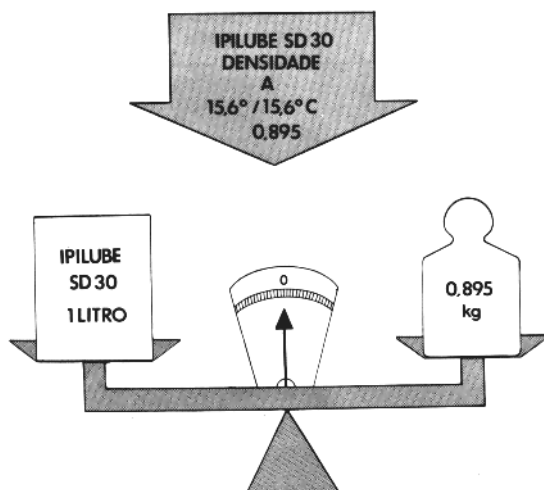
A) **Densidade**

A maior parte dos produtos líquidos do petróleo são manipulados e vendidos na base de volume; porém, em alguns casos, é necessário conhecer o peso do produto.

O petróleo e seus derivados expandem-se quando aquecidos, isto é, o volume aumenta e o peso não se modifica. Por esta razão, a *densidade é medida a uma temperatura padrão* ou, então, convertida para esta temperatura por meio de tabelas.

A densidade é um número que define o peso de um certo volume de uma substância quando submetida a uma determinada temperatura.

A densidade de uma substância é a relação entre o peso do volume dessa substância medido a uma determinada temperatura e o peso de igual volume de outra substância padrão (água destilada), medido na mesma temperatura (sistema inglês: 60°F / 60°F) ou em outra temperatura (sistema métrico: 20°C / 20°C).



No Brasil, a temperatura normal de referência do produto é 20°C, podendo em alguns casos ser expressa a 15°C ou 25°C.

Conhecendo a densidade de cada produto, é possível diferenciar imediatamente quais os produtos de maior ou menor peso.

A densidade de óleos novos não tem significado quanto à sua quantidade, mas é de grande importância no cálculo de conversão de litros em quilos, ou vice-versa.

Por meio de densidade, pode ser determinado o número de tambores de 200 litros de óleo que um caminhão poderá transportar. O cálculo é feito da seguinte maneira:

Exemplo:

- densidade do óleo 0,895
- carga máxima do caminhão 12.000kg
- peso do tambor vazio 17kg
- peso de 200 litros de óleo $200 \times 0,895 = 179\text{kg}$
- peso total do tambor com 200 litros de óleo
 $179 + 17 = 196\text{kg}$
- número máximo de tambores que o caminhão pode
transportar $\frac{12.000}{196} \cong 61$ tambores

A densidade API (*American Petroleum Institute*) é unicamente empregada para o petróleo e seus subprodutos. É determinada pela fórmula:

$$\text{Densidade API} = \frac{141,5}{\text{densidade } 60^{\circ}\text{F} / 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

O **densímetro** graduado na escala normal, ou na escala API, é o aparelho para se medir a densidade.

B) **Viscosidade**

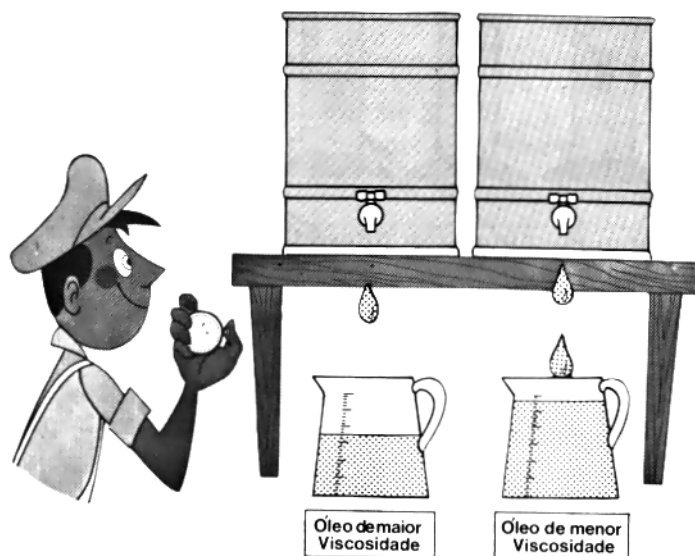
B.1 Conceito

É a principal propriedade física dos óleos lubrificantes.

A viscosidade está relacionada com o atrito entre as moléculas do fluido, podendo ser definida como a *resistência ao escoamento que os fluidos apresentam*.

Viscosidade é a medida da resistência oferecida por qualquer fluido (líquido ou gás) ao movimento ou ao escoamento.

Um dos métodos utilizados para determinar a viscosidade (ver ilustração abaixo) é verificar o **tempo gasto para escoar determinada quantidade de óleo, a uma temperatura estabelecida, através de orifício de dimensões específicas**.



O ar como os gases, oferece considerável resistência ao movimento, especialmente quando há grandes velocidades. Esse fato é familiar a qualquer pessoa que tenha andado de bicicleta contra o vento, ou posto a mão fora da janela de um automóvel conduzido a grande velocidade.

Essa resistência ao movimento é que dá lugar à sustentação dos aviões em vôo, ao ricochete de uma pedra lisa quando se choca com a superfície líquida e à sustentação de um eixo em movimento no mancal.

Na prática, é muito comum confundir a viscosidade com oleosidade. Várias vezes, vimos lubrificadores, em postos de serviço, prender entre os dedos uma pequena quantidade de lubrificante e, depois de afastá-los dizer: "Este óleo não tem viscosidade". O certo seria dizer que "o óleo perdeu a oleosidade".

A oleosidade é a propriedade que um lubrificante possui de aderir às superfícies (**adesividade**) e permanecer coeso (**coesividade**). Como exemplo, citaremos a água, que não possui adesividade nem coesividade.

Colocando uma gota de água sobre uma superfície plana e dando um golpe sobre esta gota, verificaremos que a mesma se divide em várias pequenas gotas, pois não possui coesividade. Verificamos, ainda, que a adesão da água ao dedo e à superfície é praticamente nula. O mesmo não acontece se, em vez de uma gota de água, for usado o óleo lubrificante.

B.2 Métodos de Medição da Viscosidade

A viscosidade é determinada em aparelhos chamados **viscosímetros**.

São os seguintes os viscosímetros mais comumente usados para medir viscosidade de óleo lubrificantes:

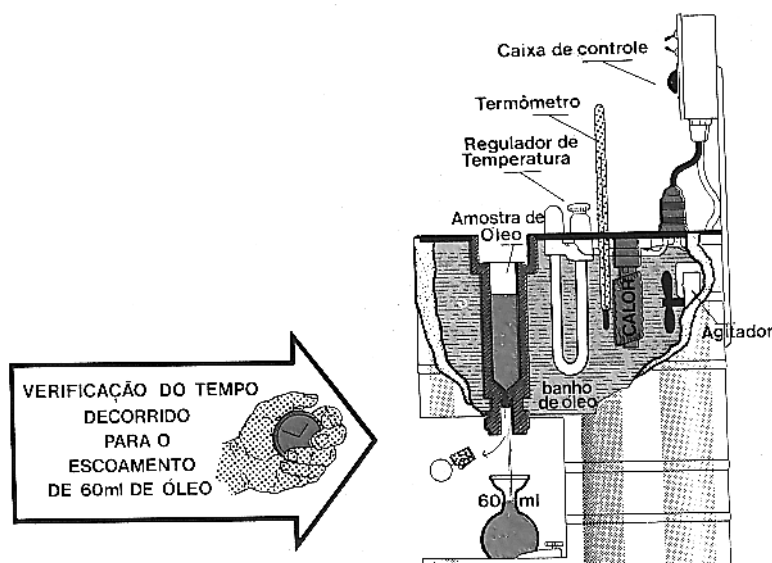
- *Saybolt* (**Estados Unidos**)
- *Redwood* (**Inglaterra**)
- *Engler* (**Alemanha**)
- *Cinemático* (**Uso Universal**)

Os Viscosímetros **Saybolt**, **Redwood** e **Engler** têm uma construção semelhante. Todos eles se compõem basicamente de um tubo de seção cilíndrica, com um estreitamento na parte inferior. Uma determinada quantidade de fluido é contida no tubo que, por sua vez, fica mergulhada em banho de água ou óleo de temperatura controlada por termostato. Uma vez atingida e mantida a temperatura escolhida, deixa-se escoar o líquido através de orifício inferior, ao mesmo tempo que se começa a contagem de tempo. Recolhe-se o fluido em frasco graduado e, no momento em que o nível atingir o traço de referência do gargalo, faz-se parar o cronômetro.

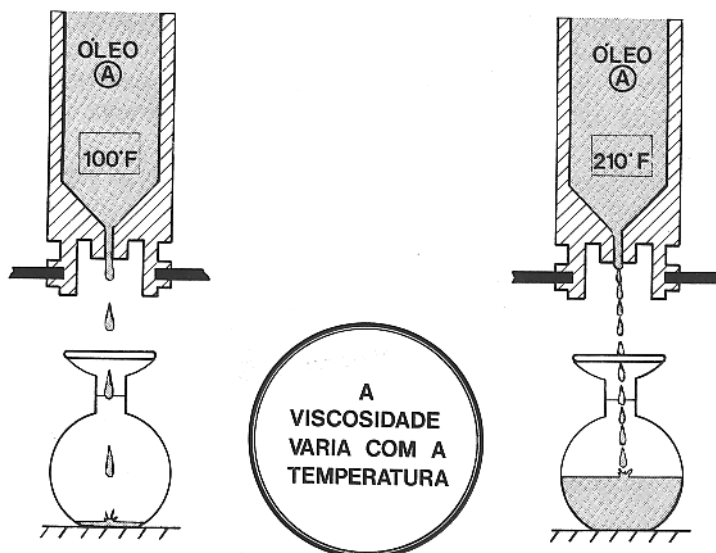
O **Viscosímetro Cinemático** é basicamente constituído de um tubo capilar de vidro, através do qual se dá o escoamento do fluido.

B.3 Viscosidade Saybolt

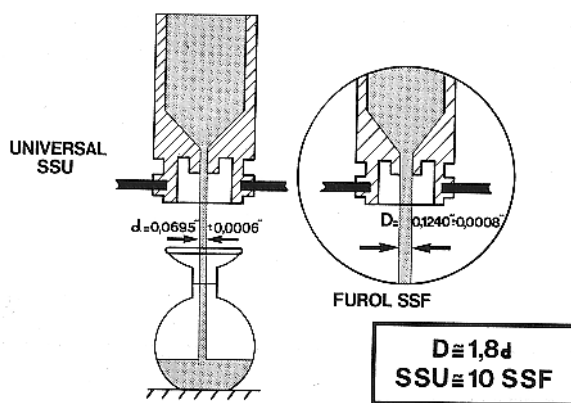
No método **Saybolt**, a passagem de óleo de um recipiente no aparelho é feita através de um orifício calibrado, para um frasco de 60 ml, verificando-se o tempo decorrido para seu enchimento até o traço de referência.



Como a viscosidade varia com a temperatura, isto é, quanto mais aquecido estiver o óleo, menor será a sua viscosidade, seu valor deve vir acompanhado da temperatura em que foi determinada. Assim sendo, este método utiliza as temperaturas padrões de 100°F (37,8°C) e 210°F (98,9°C).



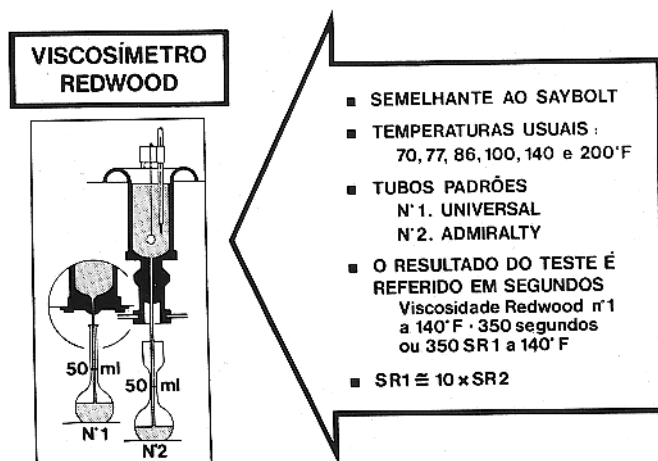
O viscosidade **Saybolt** possui dois tipos de tubos: **universal** e **furol**. A diferença entre os dois está no diâmetro do tubo capilar que regula o escoamento do fluido, sendo que o tubo furol permite um escoamento em tempo aproximadamente **dez vezes menor do que o tubo universal**. A leitura de tempo do cronômetro dará diretamente a indicação da viscosidade Saybolt do fluido, em **Segundos Saybolt Universal (SSU)**, ou **Segundos Saybolt Furol (SSF)**, conforme o tubo utilizado. Normalmente, o Saybolt universal é empregado para óleos com 32 até 1.000 SSU; acima de 1.000 SSU, deve-se empregar o **tubo furol**.



Para converter SSF em SSU é empregada a seguinte fórmula:
 $SSU \cong 10.SSF$, pois o valor numérico da viscosidade em SSU é aproximadamente igual a **dez vezes** o valor numérico da viscosidade em SSF.

B.4 Viscosidade Redwood

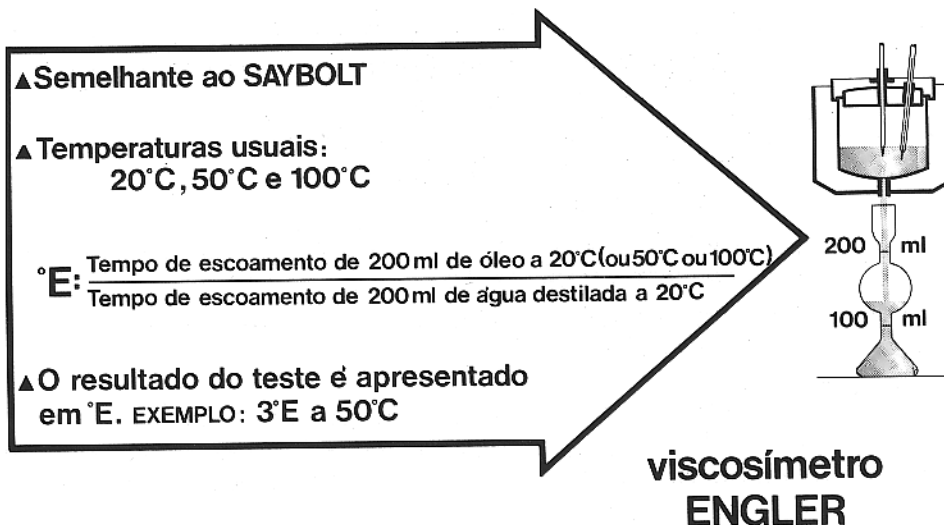
O viscosímetro Redwood é semelhante ao Saybolt. As temperaturas usuais de determinação são: 70, 77, 86, 100, 140, e 200°F. Como no Saybolt, este método possui dois tubos padrões: o n.º 1, universal, e n.º 2, admiralty, sendo o valor numérico em SR1 aproximadamente igual a dez vezes o valor numérico em SR2. A leitura do cronômetro dará a viscosidade Redwood em **Segundos Redwood n.º 2 (SR2)**.



B.5 Viscosidade Engler

O viscosímetro **Engler** é também semelhante ao **Saybolt**. Este método utiliza as seguintes temperaturas padrões: 20°C, 50°C e 100°C. O resultado do teste é referido em **grau Engler (°E)** que, por definição, é a relação entre o tempo de escoamento de 200 ml de óleo, a 20°C(ou 50°C ou 100°C) e o tempo de escoamento de 200 ml de água destilada a 20°C.

$$^{\circ}E = \frac{\text{tempo de escoamento de 200ml de óleo a 20°C (ou 50°C ou 100°C)}}{\text{tempo de escoamento de 200ml de água destilada a 20°C}}$$



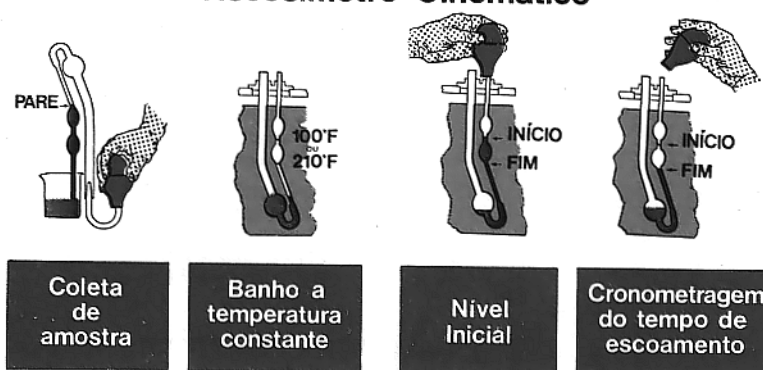
B.6 Viscosidade Cinemática

No método **cinemático**, um tubo capilar é abastecido até determinado nível. Por sucção, o óleo é levado até uma marca em um dos lados do tubo. Parando-se de succionar, o óleo tende a voltar para a posição inicial, passando por uma segunda marca de referência. É anotado o tempo, segundos, que o nível do óleo leva para passar pelos dois traços de referência. Para cada faixa de viscosidade dos óleos é utilizado um tubo capilar com determinado diâmetro e, para cada tubo, é determinado um fator de correção "C" do tubo para o cálculo da viscosidade em centistokes (cSt):

$$\text{Viscosidade em cSt} = C \times t$$

sendo t, o tempo de escoamento, em segundos, determinado no viscosímetro **cinemático**.

Viscosímetro Cinemático



O viscosímetro cinemático apresenta maior precisão em relação aos viscosímetros Saybolt, Redwood e Engler.

B.7 Importância da Viscosidade

A viscosidade é, indubitavelmente, a propriedade física principal de um óleo lubrificante. A viscosidade é um dos principais fatores na seleção de um óleo lubrificante, sendo sua determinação influenciada por diversas condições, sendo as mais comuns as seguintes:

- **Velocidade** – maior a velocidade, menor deve ser a viscosidade, pois a formação da película lubrificante é mais fácil.
Os óleos de maior viscosidade possuem maiores coeficientes de atrito interno, aumentando a perda de potência, isto é, a quantidade de força motriz absorvida pelo atrito interno do fluido.
- **Pressão** – quanto maior for a carga, maior deverá ser a viscosidade para suportá-la e evitar o rompimento da película.
- **Temperatura** – como a viscosidade diminui com o aumento da temperatura, para manter uma película lubrificante, quanto maior for a temperatura, maior deverá ser a viscosidade.
- **Folgas** – quanto menores forem as folgas, menor deverá ser a viscosidade para que o óleo possa penetrar nelas.
- **Acabamento** – quanto melhor o grau de acabamento das peças, menor poderá ser a viscosidade.

Podemos, assim, verificar que existem condições inversas, isto é, umas que exigem uma baixa viscosidade e outras, alta viscosidade, e que podem ocorrer ao mesmo tempo. Isto torna a determinação da viscosidade um estudo complexo, que deverá ser realizado pelos projetistas de máquinas e motores.

A modificação da viscosidade determinada pelos fabricantes das máquinas poderá melhorar algum fator (por exemplo, o consumo de óleo), mas poderá prejudicar a máquina em diversos outros fatores e ocasionar sua quebra.

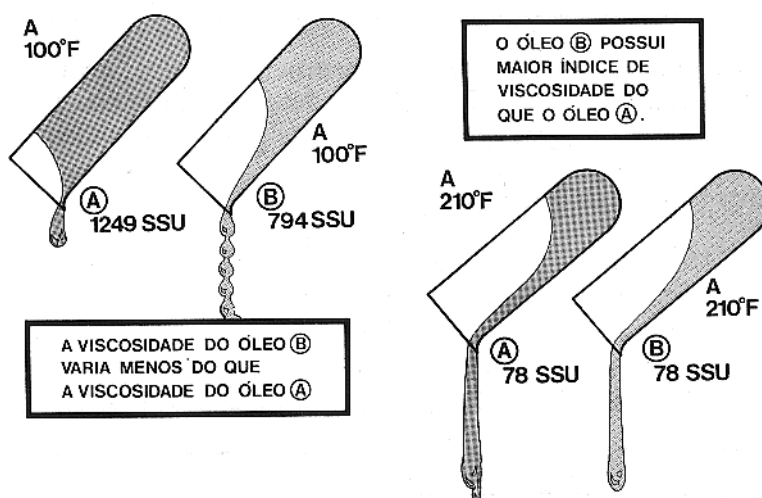
Com a análise dos óleos usados, podemos determinar:

- Redução da viscosidade – ocasionada por contaminação por combustível ou outros produtos menos viscosos.
- Aumento da viscosidade – poderá indicar a oxidação do óleo, presença de água, de sólidos em suspensão ou contaminação com outro óleo mais viscoso.

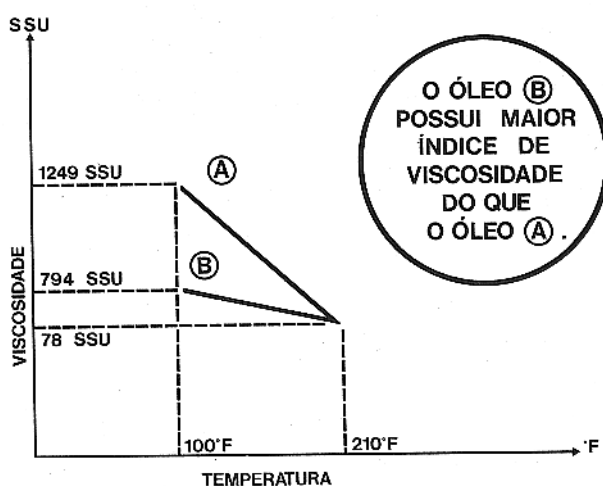
C - Índice de viscosidade

Índice de viscosidade é um valor numérico que indica a variação da viscosidade em relação à variação da temperatura.

Alguns líquidos tendem a ter sua viscosidade reduzida, quando aquecidos, e aumentada, quando são resfriados. *Maior o índice de viscosidade menor será a variação da viscosidade com a temperatura.* Por exemplo, se dois óleos, a uma determinada temperatura, possuírem a mesma viscosidade, quando resfriados ficará mais espesso aquele que possuir menor índice de viscosidade.



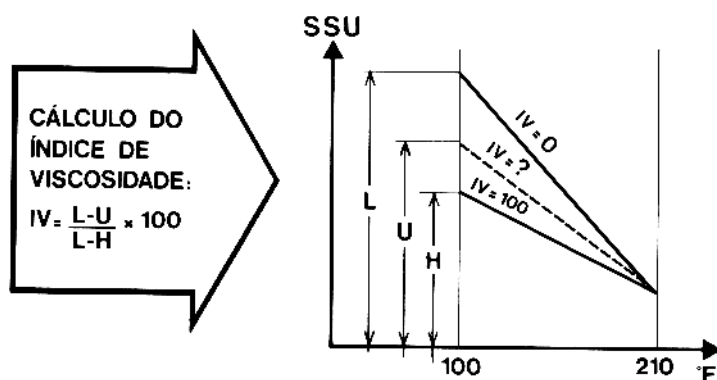
O exemplo da ilustração anterior pode ser representado pelo seguinte diagrama:



Para determinar o índice de viscosidade de um óleo, do qual conhecemos a viscosidade a determinada temperatura, é aplicada a seguinte fórmula:

$$IV = \left(\frac{L-U}{L-H} \right) 100$$

Sendo: L: visc. do óleo de IV = 0
H: visc. do óleo de IV = 100
U: visc. do óleo de IV desconhecido

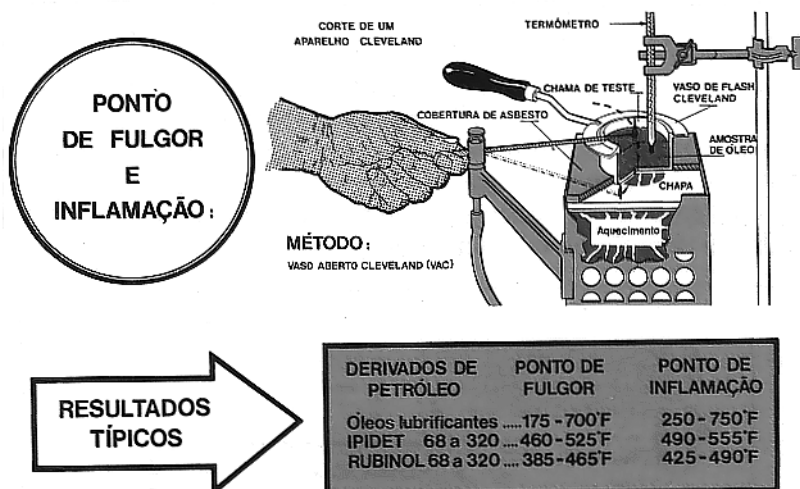


D- Pontos de fulgor e ponto de inflamação

Ponto de fulgor ou lampejo é a temperatura em que o óleo, quando aquecido em aparelho adequado, desprende os primeiros vapores que se inflamam momentaneamente (**lampejo**) ao contato de uma chama.

Ponto de inflamação ou combustão é a temperatura na qual o óleo, aquecido no mesmo aparelho, inflama-se em toda a superfície por mais de 5 segundos, ao contato de uma chama.

A amostra de óleo é contida em um recipiente (**vaso de Flash Cleveland**), sob o qual coloca-se uma fonte de calor. Uma chama-piloto é passada por sobre o recipiente a intervalos regulares de amostra vaporizada. Continuando-se a operação, quando a chama produzida permanece por 5 segundos ou mais, o ponto de inflamação foi atingido. O ponto de inflamação encontra-se $\pm 50^\circ\text{F}$ acima do ponto de fulgor.



Este ensaio não tem maior significado para óleos novos, uma vez que seu ponto de fulgor é bem mais elevado do que as temperaturas de manuseio. No entanto, os óleos para motor e algumas máquinas industriais necessitam ter um ponto de fulgor elevado, para evitar-se o risco de incêndio.

No caso de óleos usados, o aumento do ponto de fulgor significa perda das partes leves por evaporação, enquanto que sua redução indica que houve contaminação por combustível ou outro produto de menor ponto de fulgor.

E- Ponto de fluidez e de névoa

Quando resfriamos um subproduto do petróleo suficientemente, este deixa de fluir, mesmo sob a ação da gravidade, devido a cristalização das parafinas ou o aumento da viscosidade (congelamento).

Ponto de fluidez é a menor temperatura, expressa em múltiplos de 3°C, na qual a amostra ainda flui, quando resfriada e observada sob condições determinadas.

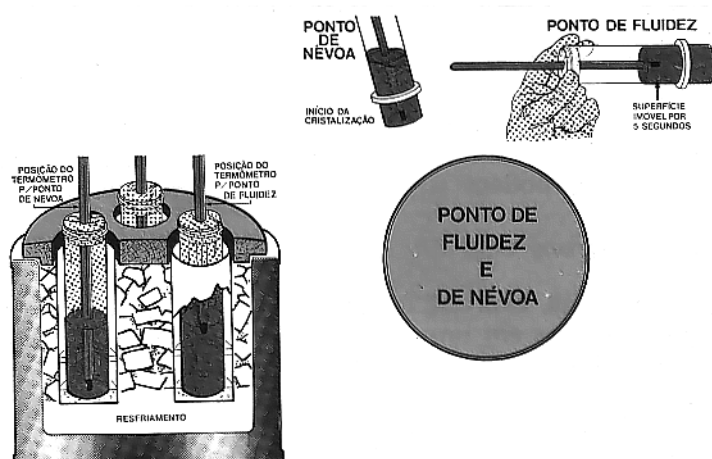
O método P-MB-820 para determinação do ponto de fluidez consiste em resfriar uma amostra a um ritmo pré-determinado, observando-se a sua fluidez a cada queda de temperatura de 3°C até que virtualmente a superfície da amostra permanece imóvel por 5 segundos ao se colocar o tubo de ensaio em posição horizontal, conforme ilustração abaixo.

Somando 3°C à temperatura anotada no momento em que a superfície permanece imóvel por 5 segundos, obtemos o *ponto de fluidez*, P-MB-820.

O ponto de fluidez dá uma idéia de quanto determinado óleo lubrificante pode ser resfriado sem perigo de deixar de fluir.

O *ponto de névoa* é a temperatura em que, resfriando-se um produto, a cristalização da parafina dá uma aparência turva a este produto. Caso o ponto de fluidez seja atingido antes que seja notado o ponto de névoa, isto significa que o produto possui poucos componentes parafínicos. Os produtos naftênicos, em geral, possuem ponto de fluidez inferior aos parafínicos.

Estes ensaios só tem maior significação para lubrificantes que trabalham em baixas temperaturas.

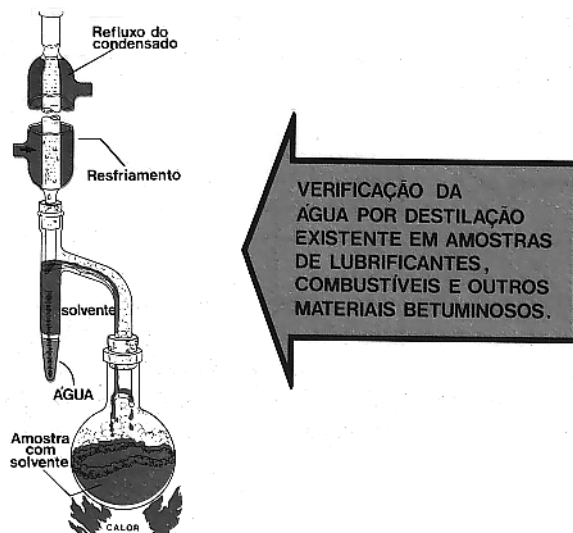


F- Água por destilação

A água, quando misturada aos óleos lubrificantes, pode provocar a oxidação do óleo, a corrosão das partes metálicas, o aumento da viscosidade do óleo, a segregação dos aditivos e formação de espuma. Quando separada, a água provoca um escoamento irregular do óleo e falhas na lubrificação.

Para determinação do teor de água, fazemos uma destilação parcial do óleo usado, de modo que somente a água evapore e seja condensada em um recipiente graduado.

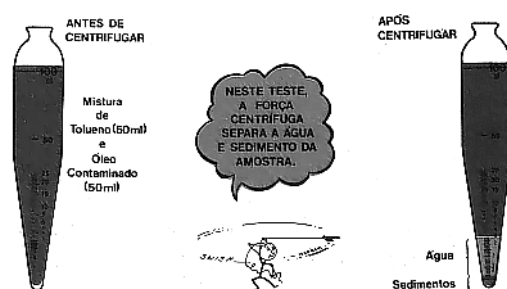
A água pode ser proveniente de má estocagem dos óleos, de vazamento dos sistemas de refrigeração das máquinas ou da má vedação de máquinas que trabalhem com água.



G- Água e sedimentos

Por este método, podemos determinar o teor de partículas insolúveis contidas numa amostra de óleo, somadas com a quantidade de água presente nesta mesma amostra.

Este teste consiste em centrifugar-se uma amostra de óleo usado em um recipiente graduado. Como a água e os sedimentos possuem maior densidade do que o óleo, estes se depositam no fundo do recipiente, sendo então medidos.

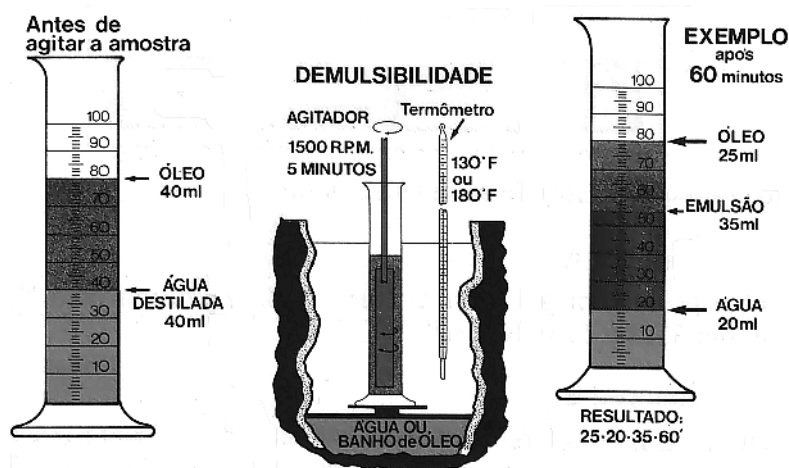


H- Demulsibilidade

Demulsibilidade é a capacidade que possuem os óleos de se separarem da água. Por exemplo, o **Ipitur HST** possui um grande poder demulsificante, ou seja, separa-se rapidamente da água, não formando emulsões estáveis. A demulsibilidade é de grande importância na lubrificação de equipamentos, como

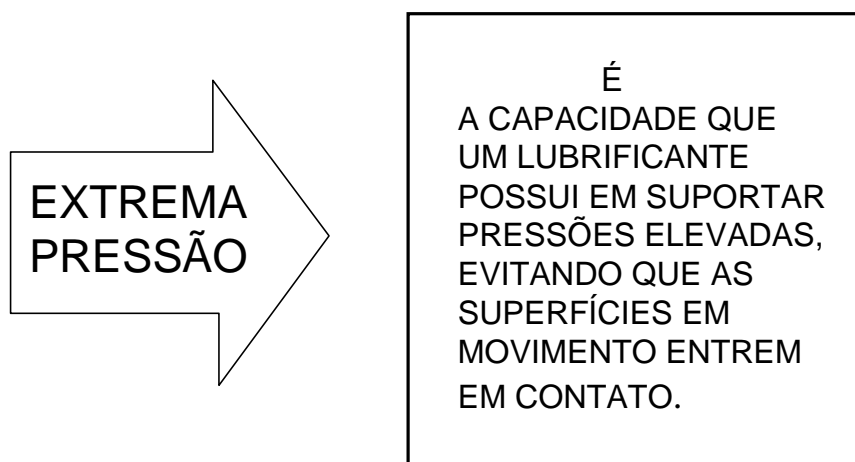
turbinas hidráulicas e a vapor, onde os lubrificantes podem entrar em contato com a água ou vapor.

Um dos métodos para determinar a demulsibilidade dos óleos lubrificantes consiste em colocar, em uma proveta, 40ml de óleo a testar e 40ml de água destilada. A seguir o óleo e a água são agitados (1500 RPM) durante 5 minutos, a uma certa temperatura (130°F para óleos de viscosidade inferior a 450 SSU e 180°F quando a viscosidade do óleo for superior a 450 SSU a 100°F). Finalmente, é observado o tempo necessário para a completa separação da água. O resultado é dado por 4 números, representando, respectivamente, as quantidades de óleo, água, emulsão e tempo. Exemplo: 25 - 20 - 35 - 60' ... Após 60 minutos temos na proveta 25ml de óleo, 20ml de água e 35ml de emulsão.

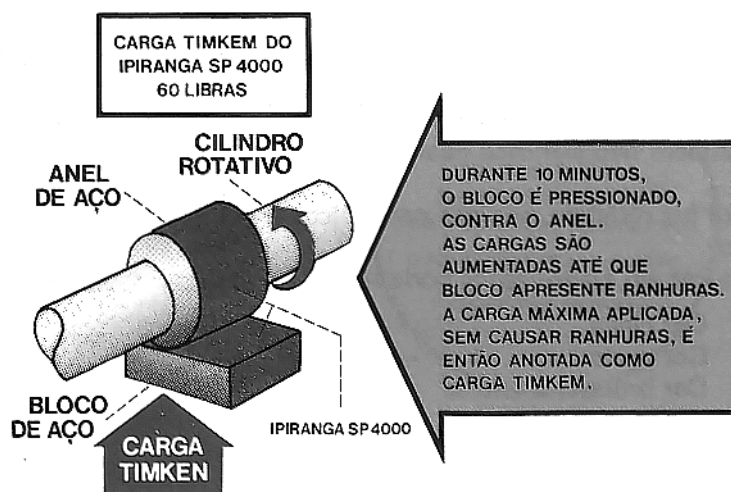


I- Extrema pressão

Existem diversos métodos para se avaliar a *capacidade de carga* de um óleo ou graxa lubrificante.

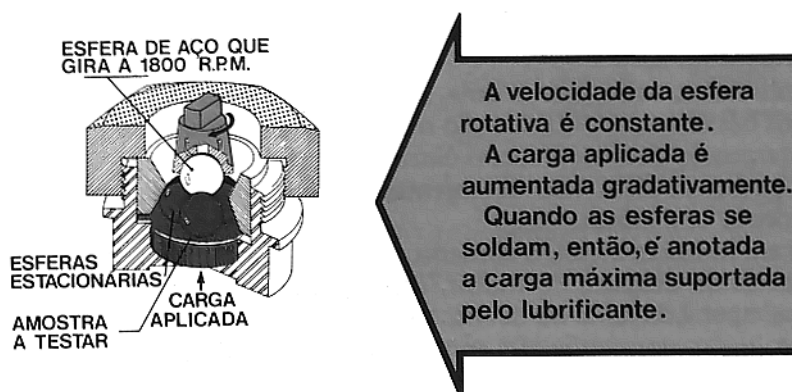


O teste **Timkem** mede a capacidade de carga dos lubrificantes. Consiste de um cilindro rotativo e um braço de alavanca, sobre o qual são colocadas cargas graduadas, para aumentar a pressão que o bloco de aço exerce sobre o anel de aço preso ao cilindro rotativo. As cargas são aumentadas até que o bloco apresente ranhuras. A carga máxima aplicada sem causar ranhuras é então anotada como **carga Timkem**.



No teste de quatro esferas (*four ball*), três esferas são dispostas juntas horizontalmente, e uma quarta, presa a um eixo, gira sobre elas a uma velocidade de 1800 RPM. Para determinar-se a capacidade de carga, a velocidade da esfera girante é constante, e a carga sobre ela é aumentada gradativamente. Quando as esferas se soldam, é então anotada a carga máxima suportada pelo lubrificante.

TESTE DE 4 ESFERAS (Four Ball)



J- Diluição

Devido à combustão parcial, folgas e vazamentos, os lubrificantes de motor podem ser contaminados por combustíveis. Esta contaminação reduz a viscosidade do lubrificante impedindo a formação de uma película adequada e provocando o desgaste. Com o abaixamento do ponto de fulgor, também devido à contaminação, ficam ampliados os riscos de incêndio.

No caso da gasolina, podemos fazer uma destilação parcial, isto é, aquecer o óleo usado a uma temperatura na qual somente a gasolina se evapore, determinando-se assim o teor da contaminação. No caso do diesel, como não podemos separá-lo do óleo por destilação, empregamos uma tabela onde, a partir das viscosidades do diesel, do óleo novo e do óleo usado determinamos o teor da contaminação.

L- Cor

A cor dos produtos de petróleo varia amplamente. Os teste, em geral, comparam uma amostra com padrões conhecidos, através de um aparelho chamado **colorímetro**.

A cor clara de um lubrificante não significa baixa viscosidade, havendo óleos brancos de alta viscosidade. A cor também não significa qualidade.

Até certo ponto, por luz refletida, os óleos parafínicos tem uma cor verde, enquanto os naftênicos apresentam-se azulados.

A transformação da cor em óleos usados pode significar uma contaminação:

Cor cinza	- chumbo da gasolina
Cor preta	- fuligem
Cor branca ou leitosa	- água

M- Cinzas oxidadas

Este ensaio fornece uma idéia das matérias que formam cinzas. Geralmente, estas cinzas são consideradas como impurezas ou contaminações. Este método determina o teor de cinzas de óleos lubrificantes e combustíveis, não se aplicando, porém, a lubrificantes que contenham aditivos organometálicos.

Neste ensaio, uma amostra do produto é queimada, sendo seu resíduo reduzido a cinzas em uma mufla. As cinzas são então resfriadas e pesadas.

N- Cinzas sulfatadas

O teste de cinzas sulfatadas determina a quantidade de materiais incombustíveis contidos no óleo. Os óleos minerais puros não possuem cinzas sulfatadas. Os óleos aditivados, porém, possuem combinados metálicos, que não são totalmente queimados, deixando um resíduo apreciável.

Os óleos usados possuem limalha metálica do desgaste da máquina e muitas vezes estão contaminados com poeira, ambas incombustíveis.

No controle de fabricação de óleos com aditivos metálicos, este teste é usado para verificação do teor desses aditivos na formulação.

Para óleos desconhecidos, este teste é uma indicação do nível de detergência. Porém, algumas combinações de óleos básicos com o aditivo são mais efetivas que outras. Além disto, existem certos tipos de aditivos detergentes que não deixam cinza alguma. A quantidade de cinzas poderá também ser proveniente de outros aditivos não detergentes. O único meio de se medir, efetivamente, a detergência é uma prova em motor.

Com óleos usados em motores diesel, o aumento das cinzas poderá ser causado por contaminação, por poeira ou partículas do desgaste do motor, enquanto que seu abaixamento poderá significar o consumo dos aditivos, operação falha ou defeito mecânico.

Em motores a gasolina, a contaminação com **chumbo tetraetila** da gasolina provoca o aumento de cinzas.

O- Corrosão em lâmina de cobre

Este ensaio é usado para combustíveis, solventes, óleos e graxas lubrificantes. Consiste em deixar-se, por determinado tempo, uma lâmina de cobre imersa no produto aquecido.

De acordo com a descoloração da lâmina, por comparação com um tabela, determinamos o grau de corrosão.

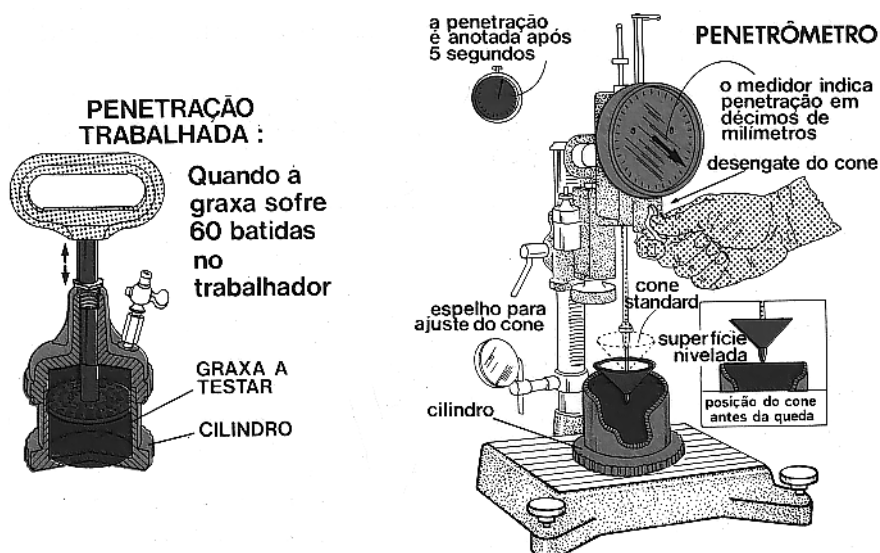
Os óleos minerais puros e aditivos, em geral, não são corrosivos. No entanto, existem aditivos de enxofre e cloro ativos, usados, por exemplo, em óleos de corte, que são nocivos aos metais não ferrosos. A presença de aditivos de enxofre ou cloro em um óleo não significa que este óleo seja corrosivo, pois isto se dá, somente, quando estes elementos são ativos.

P- Consistência de graxas lubrificantes

Consistência de uma graxa é a resistência que esta opõe à deformação sob a aplicação de uma força.

A consistência é a característica mais importante para as graxas, assim como a viscosidade o é para os óleos.

Num aparelho chamado **penetrômetro**, coloca-se a graxa em um cilindro. Um pequeno cone, ligado a uma haste, é preso a um suporte com escala graduada, e sua ponta é encostada na superfície da graxa. Soltando-se, o cone penetra na graxa e a escala do suporte indica quantos mm/10 penetrou. Como a consistência varia com a temperatura, este ensaio é sempre realizado a 25°C.



Diz-se que a penetração é **trabalhada**, quando a graxa no cilindro é socada por um dispositivo especial, por 60 vezes ou mais. A penetração é **não trabalhada** quando a graxa não é socada.

Baseando-se em valores de penetração trabalhada, o **NLGI** (*National Lubricating Grease Institute*) estabeleceu uma classificação para as graxas, para facilitar sua escolha.

Penetração trabalhada (em mm/10)	Grau NLGI
445/475	000
400/430	00
355/385	0
310/340	1
265/295	2

220/255	3
175/205	4
130/160	5
85/115	6

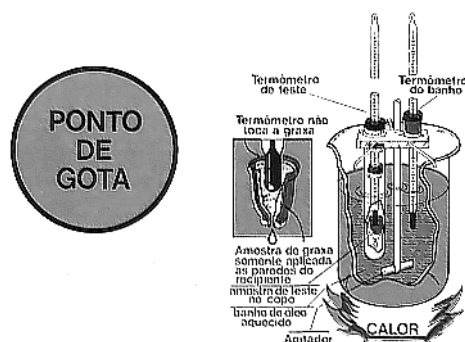
As graxas menos consistentes que 0 (zero) são chamadas **semi-fluidas**, e as mais consistentes que 6 (seis) são as graxas de bloco.

Q- Ponto de gota

O ponto de gota de uma graxa é a temperatura em que se inicia a mudança do estado pastoso para o estado líquido (primeira gota).

O ponto de gota varia de acordo com o sabão metálico empregado, as matérias-primas usadas e com o método de fabricação. Na prática, usa-se limitar a temperatura máxima de trabalho em 20 a 30°C abaixo do ponto de gota das graxas. As **graxas de argila não possuem ponto de gota** podendo assim ser usadas a elevadas temperaturas.

Neste ensaio a graxa é colocada em um pequeno recipiente, com uma abertura na parte inferior. O recipiente é colocado em um banho, que é aquecido gradativamente. A temperatura em que pingar a primeira gota do recipiente é ponto de gota.



Aditivos

Devido ao constante aperfeiçoamento das máquinas, tornou-se necessário melhorar ou acrescentar qualidades aos óleos minerais puros, com substâncias genericamente chamadas de aditivos.

Existem diversos tipos de aditivos, que possuem a mesma finalidade. A escolha de um deles depende da susceptibilidade do óleo básico para com o aditivo, a compatibilidade do básico para com o aditivo, e destes entre si.

Como cada companhia usa aditivos diferentes, não é aconselhável misturarem-se óleos de marcas ou tipos diferentes, principalmente quando se tratar de óleos para engrenagens.

Entre os diversos tipos de aditivos, temos os seguintes:

- a. Detergente-dispersante
- b. Antioxidante
- c. Anticorrosivo
- d. Antiferrugem
- e. Extrema pressão
- f. Antidesgaste
- g. Abaixador do ponto de fluidez
- h. Aumentador do índice de viscosidade

a. ***Detergente-dispersante***

- ***Aplicações:*** Motores de combustão interna.
- ***Finalidades*** - Este aditivo tem a função de limpar as partes internas dos motores, e manter em suspensão, finamente dispersos, a fuligem formada na queima do combustível e os produtos de oxidação do óleo.

Quando o lubrificante não possui aditivo detergente-dispersante, os resíduos se agrupam e precipitam, formando depósitos.

Nos óleos que contêm detergente-dispersante, o aditivo envolve cada partícula de resíduo com uma camada protetora, que evita o agrupamento com outros resíduos e, conseqüentemente, a sua precipitação.

É observado um rápido escurecimento do óleo, que ainda é mal entendido por alguns mecânicos e usuários, que acreditam que o lubrificante se deteriora rapidamente. No entanto, o escurecimento significa que as partículas que iriam formar borras, lacas e vernizes estão sendo mantidas em suspensão e serão drenadas junto com o óleo.

A quantidade de material disperso depende da quantidade e do tipo dos aditivos. Isto significa que, após determinados períodos de uso, os aditivos saturam-se e os óleos necessitam ser drenados, para não ocorrer a formação de depósitos.

As maiores partículas encontradas em suspensão no óleo mediram 1,5 micra, enquanto que a menor folga é de 2 micra. As partículas são então incapazes de obstruir as folgas ou de promover o desgaste abrasivo.

b. **Antioxidante**

- **Aplicações:** Motores de combustão interna, turbinas, compressores, motores elétricos, fusos, sistemas hidráulicos, sistemas de circulação de óleo etc.
- **Mecanismo da oxidação** - Um óleo, simplesmente exposto ao ar, tende a oxidar-se devido à presença de oxigênio. Esta oxidação se processa lenta ou rapidamente, conforme a natureza do óleo. Óleos em serviços estão mais sujeitos à oxidação, devido a vários fatores: contaminação, calor, hidrocarbonetos oxidados. Exquemmatizando o mecanismo da oxidação, temos:

1) Primeiras reações:

Oxigênio + hidrocarbonetos $\xrightarrow{\text{calor}}$ compostos ácidos.

2) Partículas metálicas, principalmente de cobre e hidrocarbonetos oxidados, funcionam como catalisadores, acelerando a oxidação.

Oxigênio + hidrocarbonetos $\xrightarrow{\text{calor}}$ compostos ácidos.
partículas metálicas

Oxigênio + hidrocarbonetos $\xrightarrow{\text{calor}}$ compostos ácidos.
hidrocarbonetos oxidados

3) Os compostos ácidos, misturando-se com a fuligem e água, formam a “borra”.

Compostos ácidos + fuligem + água $\xrightarrow{\text{calor}}$ borra.

4) Nos pontos de temperatura elevada (cabeça dos pistões, anéis de pistão, válvula etc...), os compostos ácidos decompõem-se, formando vernizes e lacas.

Compostos ácidos $\xrightarrow{\text{calor elevado}}$ vernizes e lacas.

- **Mecanismo do antioxidante:** O aditivo antioxidante combate a oxidação do óleo lubrificante da seguinte maneira:

1) O oxigênio é neutralizado com o aditivo antioxidante, formando compostos inofensivos.

Antioxidante + Oxigênio \longrightarrow compostos inofensivos.

2) Os compostos ácidos formados reagem com os aditivos, formando compostos inofensivos.

Compostos ácidos + antioxidante \longrightarrow compostos inofensivos.

- 3) As superfícies das partículas metálicas de desgaste são cobertas pelo aditivo antioxidante, evitando a ação das mesmas na oxidação do lubrificante.

É evidente que, após um certo período de trabalho do óleo lubrificante, o aditivo antioxidante é consumido (**depleção**) e, a partir deste ponto, o óleo lubrificante se oxidará rapidamente.

c. **Anticorrosivo**

- **Aplicações:** Motores de combustão interna, turbinas, compressores, motores elétricos, fusos, sistemas hidráulicos, sistemas de circulação de óleo etc.
- **Finalidades** - Os anticorrosivos têm por finalidade a neutralização dos ácidos orgânicos, formados pela oxidação do óleo, dos ácidos inorgânicos, no caso de lubrificantes de motores, e proteger as partes metálicas da corrosão. No funcionamento dos motores, são formados ácidos sulfúrico e nítrico, devido à presença de enxofre e nitrogênio nos combustíveis, que são altamente corrosivos.

d. **Antiferrugem**

- **Aplicações:** Óleos protetivos, turbinas, sistemas hidráulicos, compressores, motores de combustão interna, sistemas de circulação de óleo etc.
- **Finalidades** - Semelhante ao anticorrosivo, este aditivo tem a finalidade de evitar a corrosão dos metais ferrosos pela ação da água ou umidade. A presença de sais na água acelera consideravelmente a ferrugem. Envolvendo as partes metálicas com uma película protetora, o aditivo antiferrugem evita que a água entre em contato com as superfícies.

e. **Antiespumante**

- **Aplicações:** Óleos para máquinas e motores em geral.
 - **Finalidades** - A formação da espuma é devido à agitação do óleo. Quando a bomba de óleo alimenta as partes a lubrificar com uma mistura óleo-ar, dá-se o rompimento da película de óleo, o contato metal com metal e o conseqüente desgaste.
- O aditivo antiespumante tem a função de agrupar as pequenas bolhas de ar, existentes no seio do óleo, formando bolhas maiores, que conseguem subir à superfície, onde se desfazem.

f. **Extrema pressão**

- **Aplicações:** Óleos para transmissões automotivas, óleos para mancais ou engrenagens industriais que trabalham com excesso de carga e óleos de corte.
- **Finalidades** - Tanto os aditivos de extrema pressão, como os antidesgastes, lubrificam quando a película é mínima.

Quando a pressão exercida sobre a película de óleo excede certos limites, e quando esta pressão elevada é agravada por uma ação de deslizamento excessiva, a película de óleo se rompe, havendo um contato metal com metal. Se o lubrificante possuir aditivo de extrema pressão, havendo o rompimento da película, este aditivo reage com as superfícies metálicas, formando uma película lubrificante que reduzirá o desgaste.

Quase todos os aditivos de extrema pressão são compostos químicos que contêm **enxofre, fósforo, cloro e chumbo**.

g. **Antidesgaste**

- **Aplicações:** Motores de combustão interna, sistemas hidráulicos etc.
- **Finalidades** - Estes aditivos são semelhantes aos de extrema pressão, mas têm ação mais branda. Seus principais elementos são o **zinco** e o **fósforo**.

h. **Abaixadores do ponto de fluidez**

- **Aplicações:** Podem ser empregados nos óleos de máquinas e motores que operem com o óleo em baixas temperaturas.
- **Finalidades** - Este aditivo tem a função de envolver os cristais de parafina que se formam a baixas temperaturas, evitando que eles aumentem e se agrupem, o que impediria a circulação do óleo.

i. **Aumentadores do índice de viscosidade**

- **Aplicações:** Motores de combustão interna.
- **Finalidades** - A função destes aditivos é reduzir a variação da viscosidade dos óleos com o aumento da temperatura. Devido à manutenção de uma viscosidade menor variável, o consumo de lubrificante é reduzido e as partidas do motor em climas frios tornam-se mais fáceis.

O mecanismo dos aditivos aumentadores do índice de viscosidade é o seguinte:

- Em temperaturas menores, as moléculas do aditivo estão contraídas em seus invólucros;
- Em temperaturas elevadas, as moléculas distendem-se em seus invólucros, aumentando de volume. O escoamento do óleo é dificultado, apresentado uma maior viscosidade.

Além dos aditivos citados, existem outros, como os emulsificantes (óleos de corte solúveis, óleos para amaciamento de fibras têxteis, óleos para ferramentas pneumáticas etc.), os de adesividade (óleos para máquinas têxteis etc.), grafite (óleos de moldagem etc.).

Existem alguns aditivos que englobam diversas funções como dispersantes, antioxidantes, anticorrosivos e antidesgaste: são os chamados **multifuncionais**.

É altamente desaconselhável a adição de novos aditivos a um óleo já aditivado. Sobre este assunto, muitos fabricantes de máquinas e motores vêm-se manifestando, distribuindo circulares a seus usuários e representantes, desaconselhando o uso de tais produtos. Um óleo formulado para determinado fim tem todos os aditivos necessários para desempenhar sua função, não necessitando de novos aditivos, que não se sabe como reagirão quimicamente com os já existentes.

Graxas Lubrificantes

Generalidades

As graxas podem ser definidas como produtos formados pela dispersão de um **espessante** em um óleo lubrificante.

O espessante, também chamado **sabão**, é formado pela neutralização de um ácido graxo ou pela saponificação de uma gordura por um metal. O **metal empregado dará seu nome à graxa**.

A estrutura das graxas, observadas ao microscópio, mostra-se como uma malha de fibras, formada pelo sabão, onde é retido o óleo.

As graxas apresentam diversas vantagens e desvantagens em relação aos óleos lubrificantes.

Entre as vantagens, podemos citar:

- As graxas promovem uma melhor vedação contra a água e impurezas.
- Quando a alimentação de óleo não pode ser feita continuamente, empregam-se as graxas, pois elas permanecem nos pontos de aplicação.
- As graxas promovem maior economia em locais onde os óleos escorrem.
- As graxas possuem maior adesividade do que os óleos.

As desvantagens são:

- Os óleos dissipam melhor o calor do que as graxas.
- Os óleos lubrificam melhor em altas velocidades.
- Os óleos resistem melhor à oxidação.

Fabricação

Existem dois processos para a fabricação das graxas: formar o sabão em presença do óleo ou dissolver o sabão já formado no óleo.

A fabricação é feita em tachos, providos de um misturador de pás e envoltos por um camisa de vapor para aquecer o produto.

Quando o sabão é formado em presença do óleo, o tacho é munido de um autoclave, para a necessária saponificação.

Acabada a fabricação, a graxa, ainda quente e fluida, passa por filtros de malhas finíssimas, sendo então envasilhada.

A filtragem evita que partículas de sabão não dissolvidas permaneçam na graxa e o envasilhamento imediato impede que as graxas sejam contaminadas por impurezas.

Classificação

De acordo com a natureza do sabão metálico utilizado em sua fabricação, as graxas podem ser classificadas em: graxas de sabão de **lítio**, graxas de **cálcio**, graxas de **complexo de cálcio** e graxas de **bases mistas**.

Além dos sabões metálicos mencionados, podemos ter graxas de **alumínio**, de **bário** etc., que são, porém, menos empregadas.

Existem graxas em que o espessante é a **argila**. Estas graxas são insolúveis na água e resistem a temperaturas elevadíssimas. Embora sejam multifuncionais, seu elevado custo faz com que suas aplicações sejam restritas aos locais onde as graxas comuns não resistem às temperaturas elevadas (acima de 200°C).

As graxas **betuminosas** também podem ser classificadas como óleos. São formadas à base de asfalto. Possuem uma grande aderência, e suas maiores aplicações são os cabos de aço, as engrenagens abertas e as correntes. Não devem ser usadas em mancais de rolamentos. Alguns mancais planos que possuem grande folga, ou suportam grandes cargas, podem, às vezes, utilizá-las.

Características e Aplicações

Abaixo são dadas algumas aplicações e características das graxas, classificadas de acordo com a natureza do sabão.

- **Graxas de sabão de cálcio**

Em sua maioria, possuem textura macia e amanteigada. São resistentes à água.

Devido ao fato de a maioria das graxas de cálcio conter 1 a 2% de água em sua formulação, e como a evaporação desta água promove a decomposição da graxa, elas não são indicadas para aplicações onde as temperaturas sejam acima de 60°C (rolamentos, por exemplo).

As graxas de complexo de cálcio (acetato de cálcio), não contêm água em sua formulação, podendo ser usadas com temperaturas elevadas.

As maiores aplicações das graxas de cálcio são a lubrificação de mancais planos, os chassis de veículos e bombas d'água.

- **Graxas de sabão de sódio**

As graxas de sódio possuem uma textura que varia de fina até fibrosa. Resistem a altas temperaturas, sendo, porém, solúveis em água. Suas maiores aplicações são os mancais de rolamentos e as juntas universais, desde que não haja presença de água, pois elas se desfazem.

- **Graxas de sabão de lítio**

São as chamadas graxas *multipurpose* (múltiplas finalidades). Possuem textura fina e lisa, são insolúveis na água e resistem a elevadas temperaturas. Podem substituir as graxas de cálcio e de sódio em suas aplicações, e possuem ótimo comportamento em sistemas centralizados de lubrificação.

A vantagem do emprego de uma graxa *multipurpose* é evitarem-se enganos de aplicação, quando se têm diversos tipos de graxas, e a simplificação dos estoques.

- **Graxas de complexo de cálcio**

As graxas de complexo de cálcio possuem elevado ponto de gota, boa resistência ao calor e ao trabalho. Apresentam a propriedade de engrossar quando contaminadas com água. No caso de serem formuladas com teor de sabão elevado, a tendência a engrossar manifesta-se quando submetidas ao trabalho. Podem ser aplicadas em mancais de deslizamento e de rolamentos.

- **Graxas mistas**

As graxas de bases mistas possuem as propriedades intermediárias dos sabões com que são formadas.

Assim, podemos ter graxas de cálcio-sódio, cálcio-lítio etc.

As graxas de sódio e lítio não são compatíveis, não devendo ser misturadas.

Critérios de escolha

Para definir a graxa adequada para determinada aplicação, devem ser observados os seguintes fatores:

• Consistência

O conhecimento da consistência da graxa é importantíssimo para sua escolha. No Brasil, onde a temperatura ambiente não atinge extremos muito rigorosos, é mais empregada a graxa NLGI 2. Em locais onde a temperatura é mais elevada, emprega-se a NLGI 3, e onde a temperatura é mais baixa, a NLGI 1.

Como nos óleos, quanto maior for a velocidade e mais baixas forem a temperatura e a carga, menor deverá ser a consistência. Por outro lado, com baixas velocidades e altas temperaturas e cargas, deve ser usada uma graxa mais consistente.

Em sistemas centralizados de lubrificação, deve ser empregada uma graxa com fluidez suficiente para escoar.

• Ponto de gota

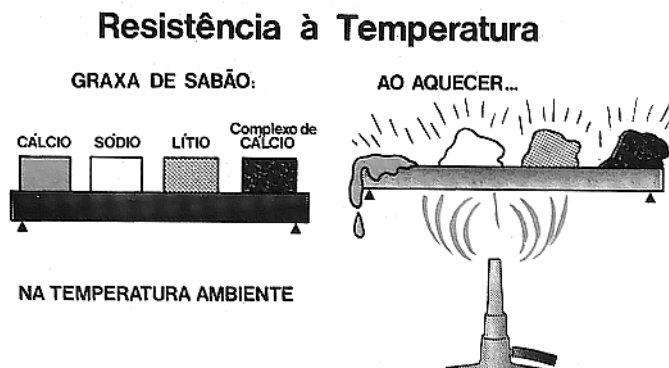
O ponto de gota de determinada graxa limita a sua aplicação. Na prática, usa-se limitar a temperatura máxima de trabalho em 20 a 30°C abaixo de seu ponto de gota.

Em geral, as graxas possuem seu ponto de gota nas seguintes faixas:

- graxas de cálcio 65 a 105°C
- graxas de sódio 150 a 260°C
- graxas de lítio 175 a 220°C
- graxas de complexo de cálcio 200 a 290°C

As graxas de argila não possuem ponto de gota, podendo assim ser usadas em elevadas temperaturas.

Na ilustração abaixo, é apresentada a resistência à temperatura de acordo com a natureza do sabão das graxas. A graxa de cálcio é a única que possui baixa resistência à temperatura.



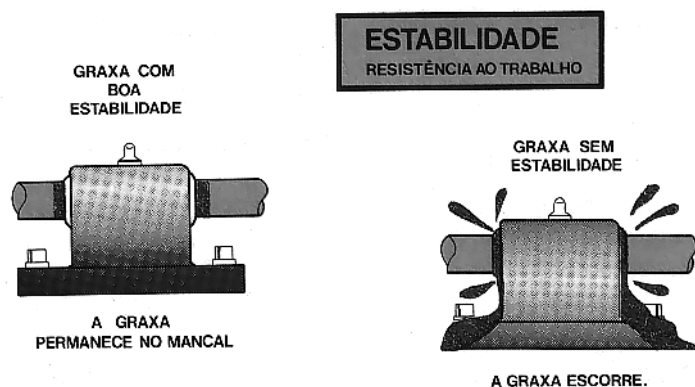
• Resistência à água

O tipo de sabão comunica ou não à graxa a resistência à ação da água. Dos tipos citados anteriormente, a graxa de sabão de sódio é a única que se dissolve em presença da água.



• Resistência ao trabalho

As graxas de boa qualidade apresentam estabilidade quando em trabalho, e não escorrem das partes a lubrificar. As graxas de lítio possuem, geralmente, uma ótima resistência ao trabalho.



As graxas de lítio, além da ótima resistência ao trabalho, têm resistência muito boa à ação da água, na qual são insolúveis e suportam temperaturas elevadas.

QUADRO COMPARATIVO	SABÃO	RESISTÊNCIA		
		À Temperatura	À Água	Ao Trabalho
P = POBRE R = REGULAR B = BOM MB= Muito Bom O = ÓTIMO	SÓDIO	MB	P	B
	CÁLCIO	RaB	O	RaB
	COMPLEXO DE CÁLCIO	MB	MB	MB
	LÍTIO	MB	MB	O

• **Bombeabilidade**

Bombeabilidade é a capacidade da graxa fluir pela ação do bombeamento.

A bombeabilidade de uma graxa lubrificante é um fator importante nos casos em que o método de aplicação é feito por sistema de lubrificação centralizada.

A bombeabilidade de uma graxa depende de três fatores:

- 1) viscosidade do óleo;
- 2) consistência da graxa;
- 3) tipo de sabão.

Aditivos

Como nos óleos lubrificantes, as características das graxas podem ser melhoradas com o uso de aditivos. Entre os mais usados, temos:

⇒ **Extrema pressão**

- **Aplicações:** Graxas para mancais de laminadores, britadores, equipamentos de mineração etc., e para mancais que trabalham com cargas elevadas.
- **Finalidades** - Como nos óleos, quando a pressão excede o limite de suporte da película de graxa, torna-se necessário o acréscimo destes aditivos. Usualmente, os aditivos empregados para este fim são à base de **chumbo**. Os lubrificantes sólidos, como **molibdênio**, a **grafite** e o **óxido de zinco** também são empregados para suportarem cargas, mas, em geral, estes lubrificantes não são adequados para mancais de rolamentos.

⇒ **Adesividade**

- **Aplicações:** Graxas de chassis e aquelas empregadas em locais de vibrações ou onde possam ser expelidas.
- **Finalidades** - Aditivos como o **látex** ou **polímeros orgânicos**, em pequenas quantidades, aumentam enormemente o poder de adesividade das graxas. Estes aditivos promovem o “fio” das graxas.

As graxas a serem aplicadas em locais com vibração, como os chassis, ou em locais em que a rotação das peças pode expulsá-las, como as engrenagens abertas, devem ter bastante adesividade.

⇒ **Antioxidantes**

- **Aplicações:** Graxas para mancais de rolamentos.
- **Finalidades** - O óleo, como já vimos, é passível de oxidação; no entanto, os sabões são mais instáveis que o óleo. As graxas de rolamentos, que são formuladas para permanecerem longos períodos em serviço e onde as temperaturas são elevadas, devem ser resistentes à oxidação, para não se tornarem corrosivas. Graxas formuladas com gorduras mal refinadas ou óleos usados não possuem resistência à oxidação.

⇒ **Anticorrosivos e antiferrugem**

- **Aplicações:** Graxas para mancais de rolamentos.
- **Finalidades** - Para neutralizar os ácidos formados pela oxidação ou a ação da água, as graxas necessitam destes aditivos. Como as graxas de sódio se misturam com água, esta perde seu efeito corrosivo, sendo então dispensados os aditivos antiferrugem.

Além destes aditivos, muitos outros podem ser usados, como os de **oleosidade**, os **lubrificantes sólidos**, **corante**, **fios de lã** etc.