

**OS SISTEMAS DE LUBRIFICAÇÃO E OS LUBRIFICANTES NOS
EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS**

1996

ÍNDICE

1- Introdução	1
2- Principais tipos de movimentos onde é necessário a lubrificação	1
3- Os sistema de lubrificação	2
3.1- O cárter	4
3.2- A bomba de óleo	5
3.3- As condutas de óleo	5
3.4- As válvulas de regulação	6
3.5- Os filtros	6
3.5.1- Filtros de papel	9
3.5.2- Filtros centrífugos	10
3.5.3- Filtros magnéticos.	10
3.6- O permutador de calor	10
3.7- Os órgãos de controlo e de segurança	11
4- Os sistemas de lubrificação dos motores a dois tempos	12
4.1- Lubrificação com mistura prévia de óleo	12
4.2- Lubrificação com circuito de óleo separado	13
5- Os lubrificantes	14
5.1 - Atrito e lubrificação	15
5.1.1 - Atrito indireto perfeito (viscoso)	15
5.1.2 - Atrito indireto imperfeito (untuoso)	17
5.2 - Propriedades genéricas dos lubrificantes	18
5.2.1- Grau e índice de viscosidade	19
5.2.2- Ponto de inflamação	21
5.2.3- Ponto de congelação	22
5.3- Aditivos	22
5.4 - Lubrificantes para motores de quatro tempos.....	24
5.4.1 - Classificação com base na viscosidade	24
5.4.2 - Classificação com base nas condições de serviço	28
5.4.2.1- Classificação A.P.I.	28
5.4.2.2- Classificação C.C.M.C.	29
5.4.2.3- Classificação MIL-L do exército americano	30
5.4.3- Equivalência entre as classificações	31
5.5- Óleos para motores a gasolina a dois tempos	32
5.6 - Lubrificantes para transmissões mecânicas	32
5.6.1 - Classificação segundo a viscosidade	33
5.6.2 - Classificação com base nas condições de serviço	35
5.6.2.1- Classificação A.P.I. de serviço	35

5.6.2.2- Especificações militares (MIL-L do exército americano)	36
5.7- Lubrificantes pra transmissões hidráulicas	36
5.7.1- Caraterísticas dos óleos hidráulicos	36
5.7.1.1- Viscosidade	37
5.7.1.2- Compressibilidade	37
5.7.1.3- Solubilidade no ar	37
5.7.1.4- Caraterísticas anti-espuma	37
5.7.1.5- Resistência à oxidação	37
5.7.2- Óleos para transmissões hidrocínéticas	38
5.7.3- Óleos para transmissões hidrostáticas	38
5.8- Óleos multifuncionais	40
6 - Massas lubrificantes	40
6.1- Consistência	42
6.2- Ponto de gota	43
6.3- Resistência à oxidação	43
6.4- Propriedades anti-ferrugem	43
7- Aspetos particulares de lubrificação nos motores de combustão interna	43
7.1 - Condições de lubrificação	44
7.2 - Caraterísticas dos lubrificantes	45
8- Manutenção do sistema de lubrificação	46
Bibliografia	48

1- Introdução

A presença de um circuito de lubrificação prende-se com a necessidade que há de reduzir o atrito entre duas peças que têm movimento relativo e que exercem, entre si, determinada carga. Mesmo as superfícies que aparentam um aspeto perfeitamente polido têm rugosidades que, caso não houvesse lubrificação, entrariam em contato durante o movimento, aumentando o atrito. A intensidade deste dependeria da pressão de contato entre as superfícies e da sua velocidade relativa, o que conduziria à libertação de calor das peças, sua dilatação e, conseqüente, aumento da pressão de contato e sua fusão ("gripagem").

Assim, para diminuir o atrito entre os diferentes elementos em movimento, o que diminui as perdas mecânicas e contribui para preservar o rendimento do motor, é fundamental a presença de um sistema de lubrificação, que interponha entre as superfícies uma fina camada de óleo que evite o contato de metal sobre metal. O termo lubrificar deriva do latim "lubrificare" que significa escorregar.

Para além da lubrificação o óleo contribui para:

- a estanquicidade entre as várias peças, especialmente entre o cilindro e os segmentos;
- a refrigeração do motor;
- a limpeza, pela remoção de impurezas que resultam da aspiração do ar e das limalhas que se desprendem das peças, especialmente na fase de rodagem;
- proteção contra a corrosão;
- a diminuição do ruído, pois funciona como amortecedor entre as peças.

2- Principais tipos de movimentos onde é necessário a lubrificação

A presença de lubrificação é necessária entre as peças que têm movimento, nomeadamente nas que apresentam:

- movimento circular contínuo;
- movimento circular alternativo;
- movimento retilíneo alternativo

O movimento circular contínuo verifica-se nos apoios das árvores de cames e cambota, em que a lubrificação é facilmente efectuada; esta é mais difícil no caso das chumaceiras que estão sujeitas a pressões bastante elevadas, pois, nos motores de ciclo Diesel as pressões são de ± 700 e 900 kg, conforme são motores atmosféricos ou sobrealimentados.

O movimento circular alternativo verifica-se no contato do eixo do êmbolo com o pé da biela, sendo a pressão a que estas peças estão sujeitas semelhante à das chumaceiras.

O movimento retilíneo alternativo dá-se na deslocação das válvulas e dos êmbolos; neste caso a pressão é relativamente baixa mas a superfície de contato e a velocidade relativa das peças é bastante grande.

3- Os sistemas de lubrificação dos motores a quatro tempos

A constituição do sistema de lubrificação depende da forma como esta se faz, sendo, nos motores mais pequenos e nos mais antigos, assegurada pela projecção de óleo efetuada por uma espécie de colheres existentes no topo da cabeça das bielas, ou por um rotor. As colheres, quando da rotação da cambota, mergulham no óleo do cárter, projetando-o sobre os êmbolos, cilindros, árvore de cames, etc., sendo depois conduzido, por escorregamento, por umas caleiras, para as chumaceiras; este tipo de lubrificação é designado por **lubrificação por chapinhagem** e a efetuada pelos rotores por **lubrificação por aspersão**.

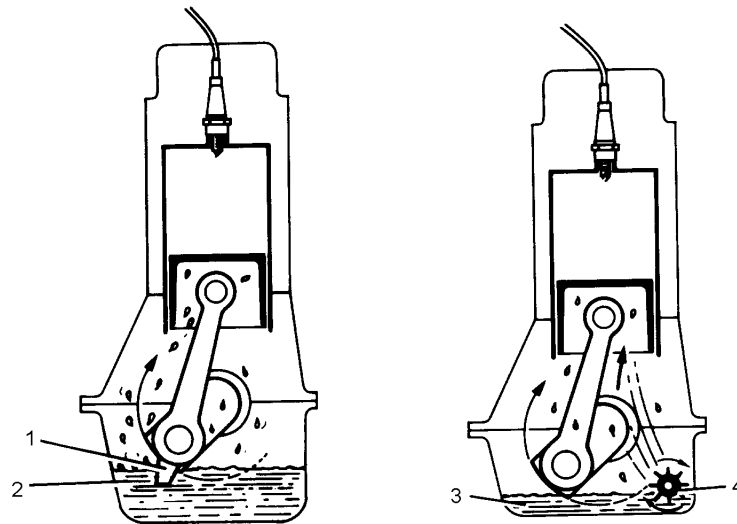


Figura 1- Lubrificação por chapinhagem e aspersão de óleo

1- Colher 2- Óleo 3- Óleo 4- Rotor

Fonte: CEMAGREF (1989)

Nos motores mais recentes a lubrificação dos diferentes órgãos é obtida conferindo ao óleo uma dada pressão sendo conduzido por condutas para os diferentes locais; a pressão é necessária para assegurar a circulação do óleo através das condutas, para vencer as perdas de carga resultantes do seu escoamento e para penetrar entre as peças que exercem uma dada pressão entre si; este tipo de lubrificação é designado por **lubrificação sob pressão** ou **lubrificação forçada**.

A lubrificação e a refrigeração das paredes dos cilindros são obtidas por projeção do óleo dos moentes da cambota ou por projeção de óleo através de injetores.

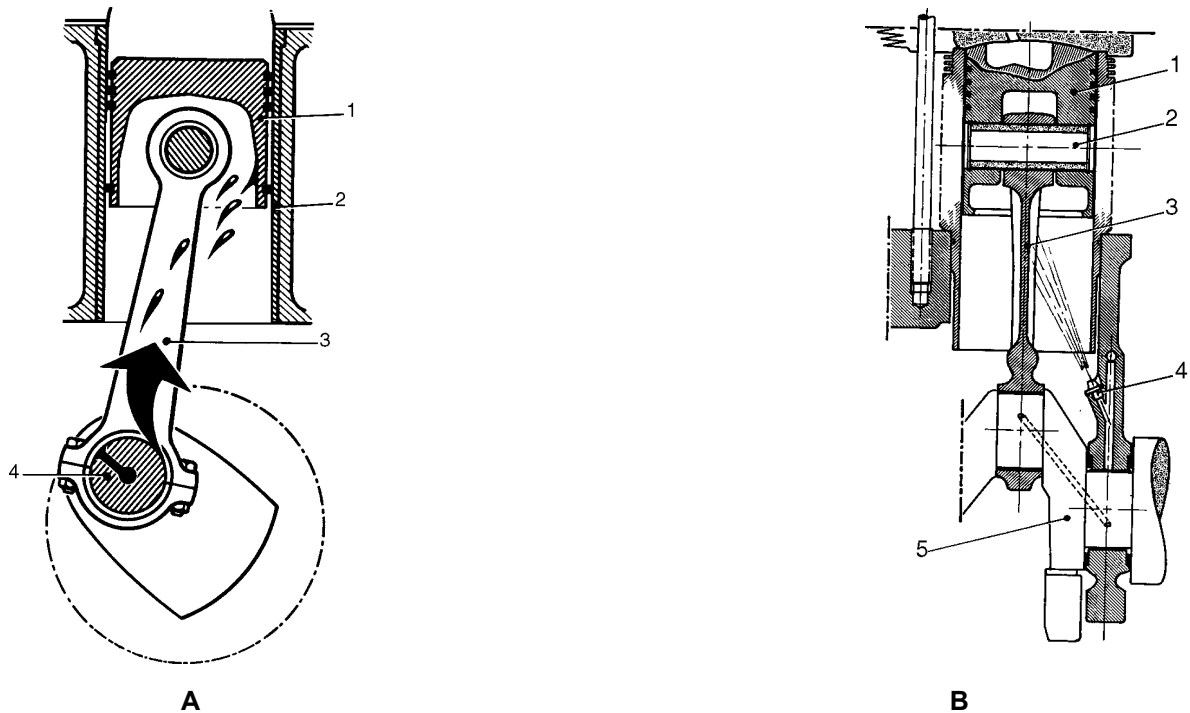


Figura 2- Lubrificação e refrigeração das paredes dos cilindros por projeção do óleo dos moentes da cambota (A) e por um injetor alimentado pela canalização que atravessa a cambota (B).

A: 1- Êmbolo 2- Camisa 3- Biela 4- Cambota

B: 1- Êmbolo 2- Eixo do êmbolo 3- Biela 4- Injetor de óleo 5- Cambota

Fonte: CNEEMA (1978)

O óleo é armazenado num cárter colocado na parte inferior do motor, de onde uma bomba de óleo o aspira e envia, através de várias condutas, para os pontos de lubrificação. Integrado no circuito de lubrificação encontram-se também válvulas de descarga, filtros, um manómetro e, eventualmente, um permutador de calor.

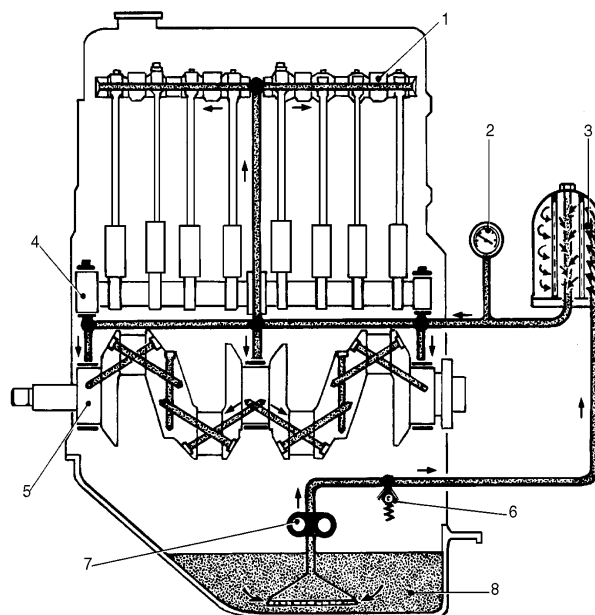


Figura 3- Circuito de lubrificação de um motor com um filtro montado em série (full-flow).

1- Eixo dos balanceiros 2- Manómetro 3- Filtro 4- Árvore de cames 5- Cambota 6- Válvula de descarga 7- Bomba de óleo 8- Cárter de óleo

Fonte: CNEEMA (1978)

3.1- O cárter

O cárter, fabricado em aço ou alumínio, é o reservatório onde se acumula o óleo, sendo a sua capacidade função das características do motor; a sua capacidade não deve ser inferior a 0.1 l/cv, o que, para um débito mínimo de 0.5 l/cv, implica que o volume total de óleo seja bombeado de 12 em 12 segundos (Deterre, 1984).

O cárter, que deve ser um reservatório estanque, por forma a evitar perdas de óleo e a entrada de impurezas, tem na sua parte inferior um bujão, para remoção do óleo, e várias palhetas na sua periferia, para aumentar a superfície de contato com o ar exterior, o que facilita o seu arrefecimento por radiação. Nos equipamentos que funcionam em declives acentuados o cárter deve apresentar um compartimento interior, onde se encontra a conduta de aspiração, que esteja sempre parcialmente cheio, para que a alimentação nunca seja interrompida; há determinados motores em que o cárter é seco estando o óleo armazenado num reservatório separado.

Considerando as variações de volume de ar no interior do cárter, resultantes, fundamentalmente, da passagem de gases do interior dos cilindros, que provocam aumentos de pressão que podem originar fugas de óleo ao nível das chumaceiras, é necessário assegurar a sua ventilação. Para além destes riscos, a "respiração" do cárter implica a entrada de gases carregados de vapor de água e de impurezas resultantes da combustão, que poluem o óleo.

Assim, para se assegurar a remoção dos gases é fundamental que o cárter seja ventilado para o que é necessário a presença de duas ligações, uma para a entrada de ar fresco e outra para evacuação dos gases. A entrada de ar é, normalmente, feita através do bujão de enchimento do cárter, ou por uma abertura, na tampa das válvulas, que deve ter um filtro para evitar a introdução de impurezas. A saída do ar e vapores é feita por uma conduta exterior ou por reaspiração ao nível do coletor de admissão, que assegura também a circulação do ar.

3.2- A bomba de óleo

A bomba de óleo aspira o óleo do cárter através de uma conduta que tem na extremidade um filtro de rede metálica que retém as impurezas de maior dimensão. O débito da bomba, que é função da potência do motor, deve permitir, logo que o motor começa a funcionar, alimentar todos os pontos de lubrificação, quaisquer que seja a viscosidade do óleo e o regime do motor. As bombas de óleo utilizadas nos sistemas de lubrificação são volumétricas, ou seja, o volume de óleo em cada rotação mantém-se constante, dependendo o seu débito da dimensão e regime da bomba; o débito é independente das contrapressões ao nível do circuito.

As bombas de óleo são, geralmente, de carretos e atingem regimes bastante elevados pois não têm válvulas de admissão ou de saída. Neste tipo de bomba o débito depende do regime de funcionamento e as fugas da viscosidade do óleo e da sua temperatura; as fugas devem ser mínimas para se evitar a entrada de ar para o circuito. A pressão conferida ao óleo varia em função da sua viscosidade e da resistência ao escoamento; nas chumaceiras a resistência ao escoamento depende

do binário motor e do seu regime e nos moentes, onde se liga a cabeça das bielas, estes atuam como "bombas centrífugas" alterando a circulação do óleo e, portanto, a resistência ao escoamento.

A velocidade imprimida ao óleo dada por estas bombas não deve ser muito alta para se evitem contrapressões no sistema, nem muito baixa para que a lubrificação se faça logo que o motor se põe em funcionamento. Segundo Deterre (1984), a velocidade do óleo é de ± 4 m/s, sendo o binário necessário para o seu acionamento, quando o motor está frio, de ± 10 vezes o binário nominal do motor. O período a seguir ao arranque a frio é aquele em que o desgaste é maior.

3.3- As condutas de óleo

As condutas de óleo, que podem ser exteriores ao motor ou feitas em determinadas peças deste, devem ter um diâmetro que permita o escoamento do óleo com o mínimo de perdas de carga e riscos de entupimento e uma alimentação rápida dos pontos a lubrificar. As condutas exteriores são fabricadas em cobre ou aço, e fixas por forma a evitar trepidações; as interiores são perfuradas no bloco motor e na cambota.

3.4- As válvulas de regulação

As válvulas de regulação ou de descarga permitem regular o débito e pressão do circuito de óleo; a pressão varia segundo o quadrado do regime, ou seja, quando este aumenta duas vezes a pressão aumenta quatro, o que faz com que a sua variação seja muito grande. Como é necessário uma pressão bastante alta a baixos regimes, quando estes são elevados a pressão atinge valores que podem provocar ruturas nas condutas, filtros ou perdas significativas de potência.

Assim, para se evitem os problemas referidos, quando a pressão atinge valores de 3 - 5 bar, as válvulas deixam passar o óleo para um circuito de retorno; o volume deste óleo pode chegar a representar cerca de 75% do débito da bomba (Deterre, 1984). Estas válvulas são geralmente constituídas por uma esfera, que se mantém na sua sede pela pressão de uma mola, mas que se abre quando a pressão do óleo é suficiente para a comprimir.

3.5- Os filtros

Os filtros de óleo têm como função reter as impurezas que podem ser:

- metais provenientes do desgaste do motor;
- sílica resultante da fundição de peças (bloco motor) ou aspiradas do ar e não retidas pelos filtros de ar;
- impurezas diversas que penetram pelo orifício de enchimento do cárter ou pela admissão do ar;
- resíduos resultantes da combustão, de fugas do sistema de refrigeração por água, ou dos permutadores de calor, etc.

A capacidade dos filtros deve ser suficientemente pequena para se encherem rapidamente quando da sua substituição, mas sem originar perdas de carga importantes; a presença dos filtros provoca perdas de carga variáveis conforme a sua constituição, débito de óleo e sua viscosidade.

Considerando a forma como os filtros são montados no circuito tem-se:

- filtros em derivação;
- filtros em série.

Quando os filtros estão colocados em derivação (paralelo), existem duas alternativas para o trajeto do óleo, uma que conduz o óleo para os pontos de lubrificação e outra que o conduz para o cárter através do filtro. O volume de óleo que passa no filtro representa cerca de 5 - 10% do óleo do circuito, o que implica que uma partícula possa circular entre 10 - 20 vezes sem ser filtrada. Atendendo a este tipo de limitação as bombas utilizadas apresentam um débito relativamente elevado.

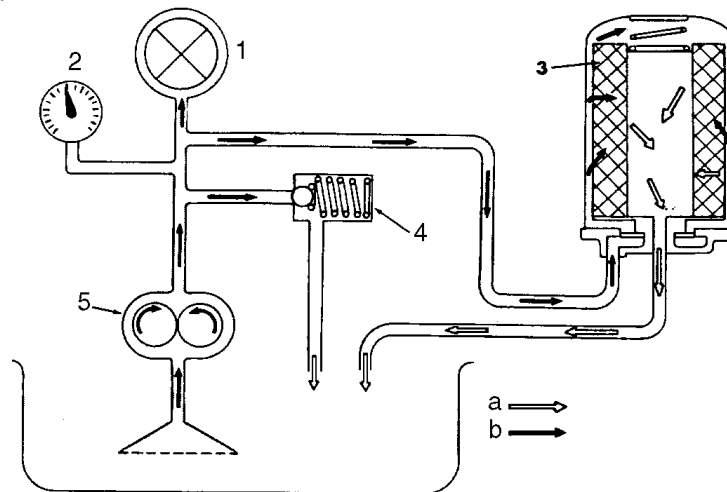


Figura 4- Circuito de lubrificação com o filtro montado em paralelo.

1- Chumaceira a lubrificar 2- Manómetro 3- Filtro 4- Válvula de descarga 5- Bomba de óleo
a- óleo filtrado b- óleo não filtrado

Fonte: TMA **820** (1984)

Nos circuitos de lubrificação com os filtros em série, também designados por circuitos de lubrificação de débito total, todo o óleo proveniente da bomba é filtrado antes de atingir os órgãos a lubrificar, pelo que a superfície filtrante é bastante elevada. Nestes circuitos, e no caso de obstrução do filtro, este cria uma perda de carga que provoca a abertura da válvula de descarga, sendo o óleo conduzido para o cárter sem ser filtrado. Para evitar esta situação utiliza-se uma válvula de derivação ("by-pass"), regulada para uma pressão inferior à válvula de descarga, que permite conduzir o óleo para os diferentes pontos sem passar pelo filtro; esta situação pode-se verificar, também, quando o óleo está frio, em que as perdas de carga ao nível do filtro são grandes. A passagem do óleo através da válvula de derivação, como resultado da obstrução do elemento filtrante, implica um desgaste do motor superior, em cerca de 30 vezes, ao desgaste verificado em condições normais de funcionamento (Deterre, 1984).

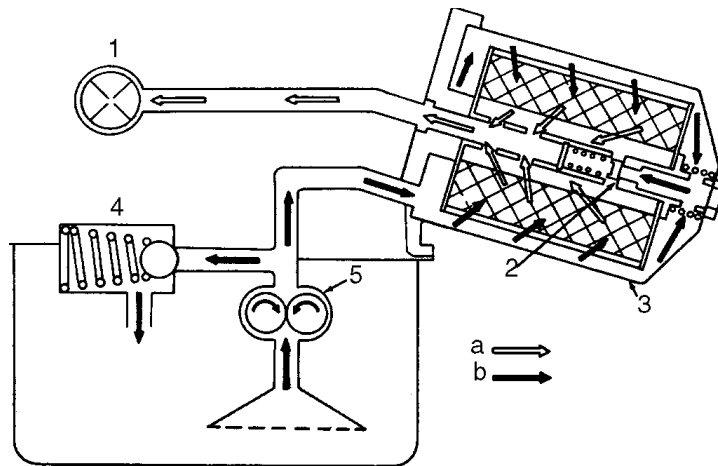


Figura 5- Circuito de lubrificação com o filtro montado em série.

1- Chumaceira a lubrificar 2- Válvula de derivação 3- Filtro 4- Válvula de descarga 5- Bomba de óleo
a- óleo filtrado b- óleo não filtrado

Fonte: TMA **820** (1984)

A escolha entre a montagem dos filtros em paralelo ou série, ou seja, entre uma filtração parcial ou total, nem sempre é fácil, pelo que a tendência é para se utilizarem as duas soluções. A porosidade dos filtros montados em série é, para se diminuïrem as perdas de carga, de $\pm 40 \mu\text{m}$, pelo que as partículas de $\pm 10 \mu\text{m}$, que já provocam um desgaste importante, não são retidas; esta solução deve ser complementada com um filtro em paralelo, que tem uma malha suficientemente apertada para reter as impurezas com aquela dimensão.

Ensaïos efetuados por uma marca conhecida de filtros para testar as diferentes soluções de montagem, deram os resultados apresentados na figura 6.

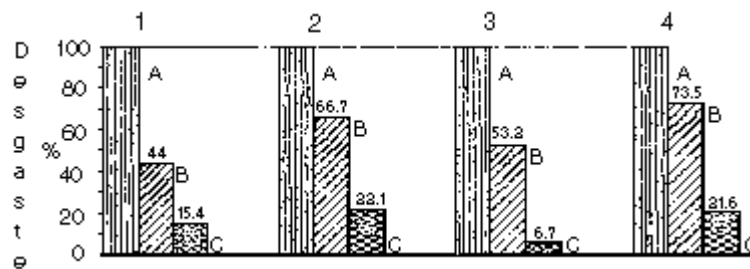


Figura 6- Comparação entre os desgastes (%) observados em diferentes partes do motor com diferentes tipos de montagem de filtros.

1- Camisas 2- Casquilhos da cambota 3- Casquilhos da biela 4- Êmbolos
A- Sem filtros B- Filtros montados em paralelo C- Filtros montados em série

Fonte: TMA Nº 822 (1984)

Atendendo às características dos filtros estes são identificados em função de vários aspetos, nomeadamente:

- dimensão e natureza das partículas a reter;
- características do óleo, especialmente a viscosidade a quente e frio;

- nível de filtração a obter, que é função da tecnologia do motor, do tipo de admissão, das perdas de carga admissíveis na passagem do filtro, o tipo de circuito adotado (série ou paralelo), etc.;
- condições de utilização;
- periodicidade das manutenções;
- potência do motor;
- débito da bomba;
- etc.

Assim, e considerando os aspetos enunciados, os filtros podem ser divididos em:

- filtros de papel;
- filtros centrífugos;
- filtros magnéticos.

3.5.1- Filtros de papel

Os filtros de papel são caracterizados por o elemento filtrante (cartucho) ser constituído por papel impregnado de resina, em que a superfície de filtração é proporcional ao seu débito, e por uma armadura metálica perfurada envolvente. O elemento filtrante pode ser substituível (filtro com elemento filtrante substituível) ou formar um conjunto com o corpo do filtro (filtro de óleo monobloco), que se enrosca diretamente no bloco motor. No primeiro caso apenas o elemento é substituível e no segundo é todo o conjunto.

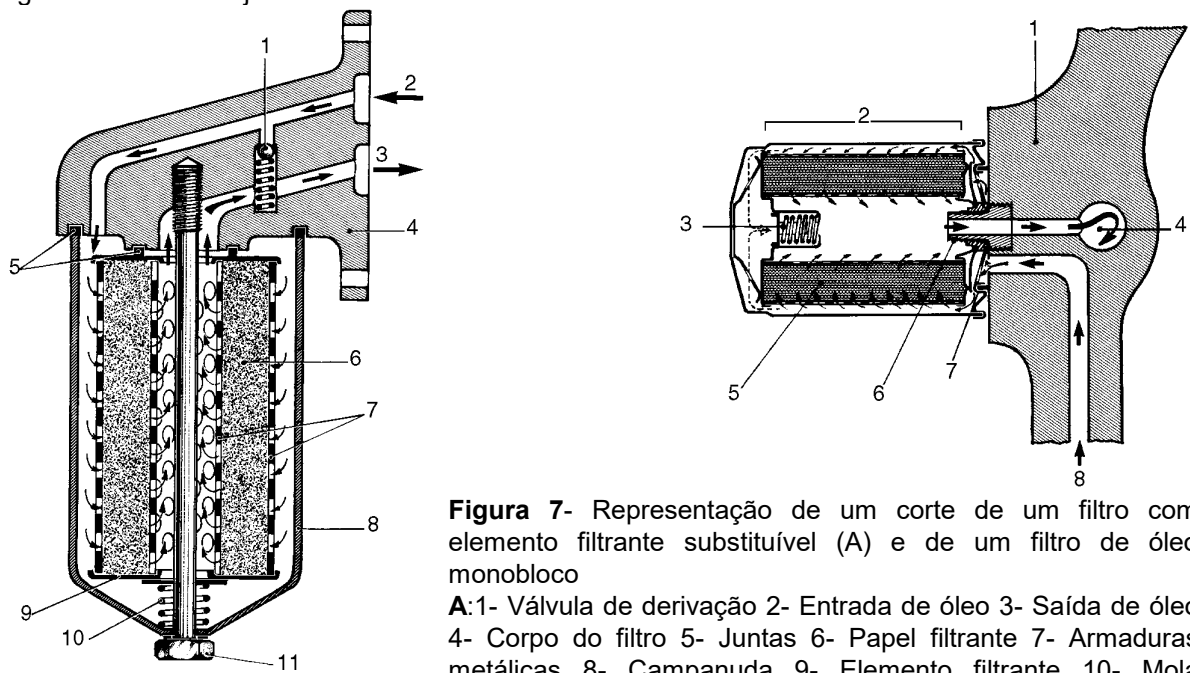


Figura 7- Representação de um corte de um filtro com elemento filtrante substituível (A) e de um filtro de óleo monobloco

A: 1- Válvula de derivação 2- Entrada de óleo 3- Saída de óleo 4- Corpo do filtro 5- Juntas 6- Papel filtrante 7- Armaduras metálicas 8- Campanuda 9- Elemento filtrante 10- Mola 11- Parafuso de fixação **B:** 1- Bloco motor 2- Elemento filtrante monobloco 3- Válvula de derivação 4- Saída do óleo para as diferentes partes do motor 5- Papel filtrante 6- Rosca 7- Junta do filtro 8- Chegada de óleo

Fonte: CNEEMA (1978)

No seu trajecto o óleo entra pela periferia e sai pelo centro do cartucho, ou seja, circula do exterior para o interior do filtro. À entrada deste existe uma válvula antirretorno que evita que o óleo regresse à bomba quando o cartucho está colocado a um nível elevado e com o orifício de entrada de óleo para baixo. Os cartuchos filtrantes são submetidos a vários tipos de testes tendo em consideração os seguintes aspetos:

- pressão a que pode ser sujeito o elemento filtrante e a carcaça (campânula);
- variações bruscas (pulsações) de pressão;
- vibrações, especialmente nas zonas de ligação do cartucho à carcaça;
- da estanquicidade da válvula antirretorno;
- a filtração dos aditivos do óleo;
- a progressividade da abertura da válvula de segurança do filtro;
- a resistência do papel à temperatura, fogo e humidade.

3.5.2- Filtros centrífugos

Os filtros centrífugos utilizam a velocidade de circulação do óleo e a forma da trajetória do fluido para, a partir da massa das impurezas, fazer a sua separação do óleo. Estes filtros são de dois tipos, os giratórios e os fixos.

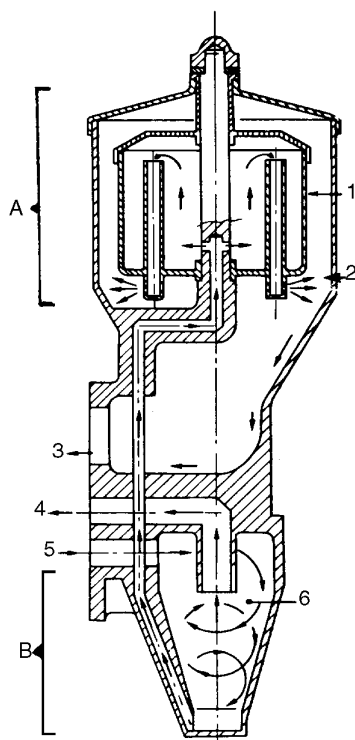


Figura 8- Representação de um conjunto de dois filtros centrífugos, um do tipo giratório e outro do tipo fixo.

A- Filtro centrífugo giratório B- Filtro centrífugo fixo

- 1- Cuba rotativa 2- Pulverizador 3- Saída de óleo do filtro giratório
4- Saída de óleo do filtro fixo para o circuito 5- Entrada de óleo
6- Separação das partículas em suspensão no óleo

Fonte: TMA Nº 822 (1984)

Os filtros giratórios têm uma cuba, cheia de óleo, que gira como reação ao débito de óleo que sai a grande velocidade de dois pulverizadores diametralmente opostos; o regime da cuba depende do diâmetro dos orifícios dos pulverizadores e da sua distância assim como da viscosidade e temperatura do óleo. Como resultado do movimento da cuba as impurezas do óleo são centrifugadas, ficando "coladas" à sua parede, saindo o óleo filtrado pelos pulverizadores.

Os filtros centrífugos fixos, do tipo ciclone, têm um corpo em forma de cone invertido ao qual chega o óleo, segundo uma trajetória tangencial, saindo filtrado pela parte superior central; o movimento de rotação a que o óleo é sujeito obriga à deposição das impurezas no fundo do corpo.

Como se pode observar na figura 8, as duas soluções anteriores podem ser utilizadas ao mesmo tempo, pois o óleo filtrado proveniente do filtro fixo vai para o circuito de lubrificação e o que contém impurezas é conduzido para o giratório para ser filtrado.

3.5.3- Filtros magnéticos.

Os filtros magnéticos apresentam vários discos magnetizadas que atraem as partículas metálicas em suspensão no óleo.

3.6- O permutador de calor

Os permutadores de calor são, normalmente, utilizados nos motores de grande potência, ou nos motores em que a refrigeração do óleo é insuficiente, e têm como função dissipar o calor absorvido pelo óleo durante o seu trajeto no circuito de lubrificação; os permutadores são fundamentais nos motores sobrealimentados devido à existência de partes do motor com temperaturas muito elevadas.

Nos motores mais rotativos dos tratores (2200 - 2500 rpm) o óleo motor atinge temperaturas de ± 100 °C, podendo mesmo, em condições desfavoráveis, chegar aos 140 °C, o que favorece a sua oxidação devido ao contato com o ar e vapor de água resultantes da combustão e acidificação com os produtos ácidos, resultantes da combustão incompleta do gasóleo e da formação de compostos oxigenados de enxofre e azoto.

Relativamente à sua colocação no motor pode ser interior ou exterior, sendo a sua constituição baseada num conjunto de tubos colocados num cárter, no interior do qual circula o líquido de refrigeração que aquece em contato com o óleo, sendo depois o calor dissipado no radiador.

Considerando a posição relativamente ao circuito de lubrificação, os permutadores podem ser montados em paralelo (derivação) ou em série. No primeiro caso, o permutador é alimentado através de um termóstato que evita que o óleo o atravesse quando a sua temperatura seja baixa; o permutador só é atravessado pelo óleo quando este atinge os 70 °C. Esta situação evita perdas de carga elevadas pois, por exemplo, a perda de carga de 0.1 bar originada num permutador quando o óleo está a 80 °C, sobe para os 8 bar quando a temperatura baixa para 0 °C.

Quando o permutador está montado em série é atravessado pelo óleo, mesmo quando este está frio; neste caso, o líquido de refrigeração que aquece mais rapidamente que o óleo faz com que este atinja mais depressa a temperatura de funcionamento. Neste tipo de montagem, e na situação em que a água aquece o óleo, o filtro de óleo deve estar colocado depois do permutador, para que a temperatura daquele seja a mais alta possível, diminuindo-se assim as perdas de carga; na situação contrária, ou seja, quando a água refrigera o óleo, o filtro deve estar antes do permutador.

Nos motores refrigerados a ar a presença dos permutadores é mais importante que nos motores refrigerados a água, sendo naqueles casos a perda de calor verificada num radiador ar-óleo.

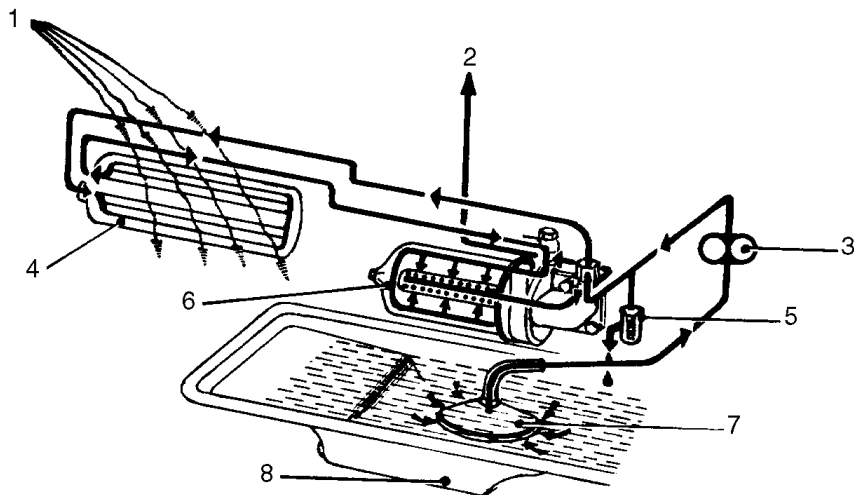


Figura 9- Circuito de lubrificação com permutador de calor de um motor refrigerado por ar.
 1- Corrente de ar proveniente da turbina 2- Saída de óleo 3- Bomba de óleo 4- Radiador do óleo
 5- Válvula de descarga 6- Filtro de óleo 7- Filtro de rede metálica 8- Cárter do óleo
 Fonte: CNEEMA (1978)

3.7- Os órgãos de controlo e de segurança

Os órgãos de controlo e de segurança permitem ao operador conhecer o estado de funcionamento do sistema de lubrificação e indicar o aparecimento de qualquer anomalia.

O primeiro elemento de controlo é a vareta do óleo onde se encontra gravado o "mín" e o "máx" ou seja, o nível mínimo e máximo que o óleo deve ter no cárter.

Outro elemento é o indicador de pressão que pode ser um manómetro ou um avisador luminoso. O manómetro, que pode ser mecânico ou elétrico, indica o valor da pressão do óleo na conduta principal do bloco; os manómetros mecânicos (clássicos) têm uma peça deformável em função da pressão do óleo, que está ligada a uma agulha de leitura; o sistema elétrico é constituído por um captor que transforma a pressão do óleo num sinal elétrico, que é transmitido a um recetor, colocado no painel de controlo, que converte esse sinal numa indicação visual.

O avisador luminoso compreende um captor calibrado com um dado valor, semelhante a um interruptor, que é acionado pela pressão do óleo; se a pressão desce para além de um valor mínimo, o interruptor fecha-se deixando passar corrente elétrica que acende uma lâmpada colocada no painel de instrumentos.

4- Os sistemas de lubrificação dos motores a dois tempos a gasolina

A lubrificação dos motores a dois tempos pode ser feita misturando óleo ao combustível ou utilizando um circuito de óleo separado.

4.1- Lubrificação com mistura prévia de óleo

Este tipo de lubrificação implica que haja uma mistura prévia de óleo com o combustível, 2 a 5 % de óleo, e que este esteja perfeitamente misturado com aquele e que conserve as suas

caraterísticas; considerando que o óleo aumenta o teor de resíduos carbonosos há tendência para utilizar concentrações baixas (2 - 3 %), devendo, nestes casos, preparar muito bem a mistura, utilizar óleos próprios para esse feito e ter em atenção a refrigeração do motor.

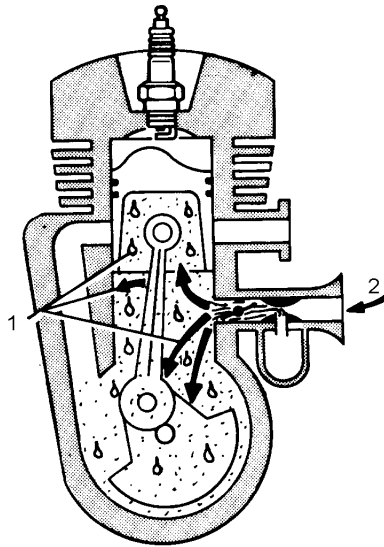


Figura 10- Lubrificação de um motor a dois tempos em que o óleo é misturado com a gasolina
 1- Deposição do óleo 2- Entrada de gasolina + óleo
 Fonte: CEMAGREF (1989)

4.2- Lubrificação com circuito de óleo separado

Os motores em que a lubrificação é efetuada com um circuito de óleo separado utilizam gasolina normal ou super sendo a mistura feita no coletor de admissão.

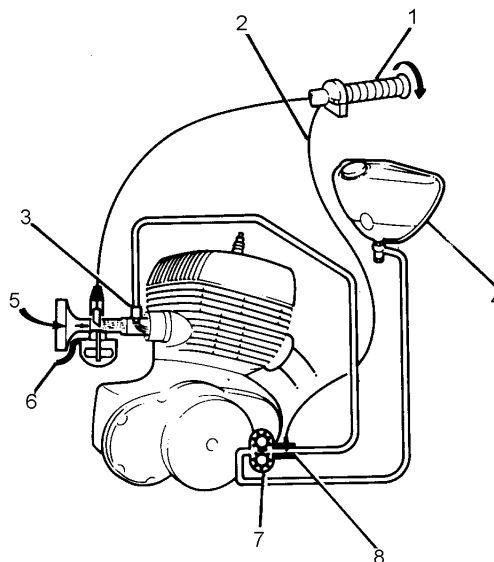


Figura 11- Lubrificação de um motor com circuito de óleo separado
 1- Comando do combustível e óleo 2- Comando do débito de óleo 3- Difusor do óleo 4- Reservatório do óleo 5- Ar 6- Gasolina 7- Bomba de óleo 8- Doseador
 Fonte: CEMAGREF (1989)

5- Os lubrificantes

Se por um lado o mundo em que vivemos não podia subsistir sem a existência dos fenómenos de atrito, de tal forma a estabilidade dos materiais, ou a possibilidade de movimentos controlados, dele dependem, por outro lado não se pode conceber o funcionamento de nenhuma máquina, desde o mais minúsculo mecanismo ao maior trator de centenas de cavalos de potência, sem se admitir a existência de meios para reduzir o atrito, isto é, de lubrificação.

Os lubrificantes são, portanto, elementos vitais e indispensáveis ao funcionamento das máquinas, sendo a lubrificação um problema universal no campo da técnica e, mais do que isso, um problema permanente.

Além da função primária de reduzir as forças de atrito ou resistências parasitas o lubrificante pode desempenhar simultaneamente outras funções igualmente importantes, tais como:

- combater o desgaste e a corrosão dos órgãos das máquinas;
- participar no equilíbrio térmico do sistema;
- contribuir para a obtenção da estanquicidade de gases ou líquidos;
- transporte das impurezas e detritos resultantes do trabalho da máquina por meio da sua circulação e retenção nos sistemas de filtragem.

Do conjunto destas funções resulta como efeito da técnica de lubrificação:

- economia da força motriz;
- maior perfeição na qualidade dos produtos acabados (manufaturas) ou de serviços prestados (transportes);
- redução dos períodos de imobilização não produtiva (menor duração e frequência de períodos de paragem para manutenção das máquinas);
- redução das verbas de amortização (maior duração das máquinas).

Desde que os sistemas de lubrificação sejam convenientemente estudados e os lubrificantes criteriosamente escolhidos, pode-se tudo resumir num único resultado:

- menores preços e maior produtividade da máquina.

Além da lubrificação propriamente dita, os óleos minerais da família dos lubrificantes, são utilizados para outros fins, tais como:

- fluídos hidráulicos em sistemas de transporte de energia (transmissões ou telecomandos);
- tratamentos térmicos de metais;
- dielétricos e refrigeradores em aparelhagem elétrica (transformadores, disparadores automáticos, etc.);
- meios de suspensão de poeira e impurezas (filtros de ar) ou como absorventes.

5.1 - Atrito e lubrificação

Pode-se definir atrito como a resistência que se opõe ao movimento relativo de duas superfícies, real ou virtualmente em contato.

Quando duas superfícies comprimidas uma contra a outra são animadas de um movimento relativo de translação desenvolve-se, em cada uma delas, forças tangenciais ou de atrito que se opõem ao movimento e que, de um modo geral, se procuram reduzir ao mínimo. Estas resistências que se opõem ao movimento provocam o desgaste das superfícies e absorvem uma quantidade substancial de energia, quase integralmente transformada em calor e irremediavelmente perdida.

Quando entre as superfícies em movimento relativo não há interposição de lubrificante diz-se que o atrito é seco ou direto, obedecendo então o fenômeno às leis de Coulombs.

Quando, pelo contrário, se interpõe um lubrificante entre as superfícies em movimento relativo, diz-se que o atrito é indireto. O lubrificante é em parte adsorvido pelas superfícies em contato dando origem à formação de uma película de grande tenacidade.

Se a folga existente entre as duas superfícies é extremamente pequena, a película formada pode-se considerar como constituída unicamente por moléculas adsorvidas e diz-se que o atrito indireto é untuoso ou imperfeito. Se a folga permite a existência ou formação de uma camada lubrificante com espessuras mínimas, da ordem de grandeza dos décimos ou centésimos de milímetro, tem lugar um atrito viscoso, perfeito ou hidrodinâmico; este escorregamento, que não se distingue de outras formas de escorregamento líquido em regime laminar, obedece às leis da hidrodinâmica.

5.1.1 - Atrito indireto perfeito (viscoso)

A teoria hidrodinâmica de lubrificação, isto é, quando a lubrificação envolve a separação completa de superfícies em movimento relativo por interposição de uma camada de lubrificante, pode ser facilmente compreendida considerando o mecanismo da formação da camada no caso de um moente e respetiva chumaceira, ou seja, o caso de duas superfícies cilíndricas.

A figura 12 mostra esquematicamente um moente (M) em repouso sobre uma chumaceira (C), sendo (F) a folga entre estes dois órgãos. A folga é necessária para permitir a formação da cunha de óleo que vai servir de apoio ao moente; a sua representação está muito exagerada na figura 12 para maior clareza. Na representação feita supõe-se a carga vertical tal como é indicado pela seta pois, em repouso, todo o lubrificante foi expulso da zona de assentamento.

Quando se inicia a rotação, com o espaço de folga repleto de óleo, o moente tem, numa primeira fase, tendência a rolar sobre a superfície da chumaceira e assumir a posição indicada na figura 13, devido a tratar-se de atrito seco e ser menor no caso de rolamento do que no de escorregamento.

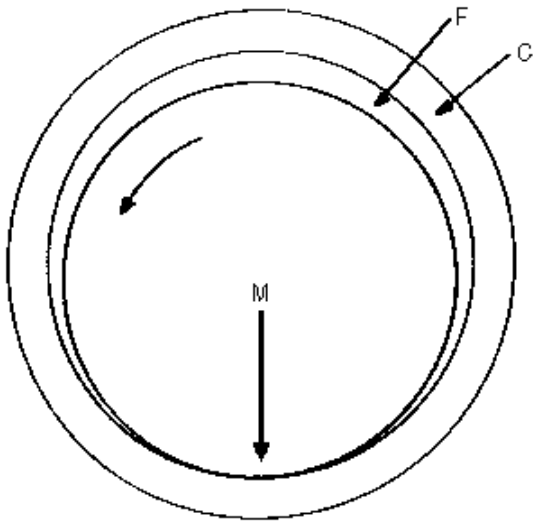


Figura 12

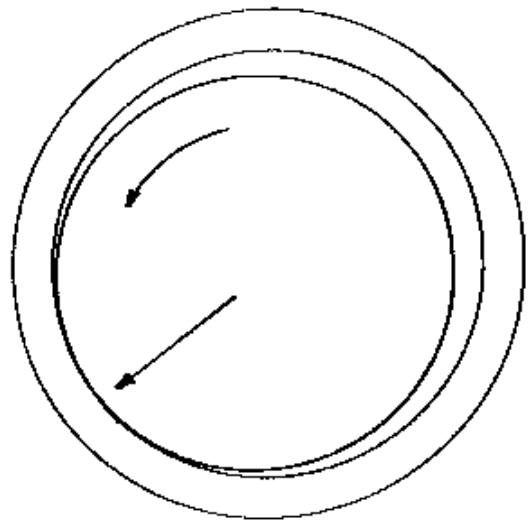


Figura 13

Fonte: Shell (1956)

A excentricidade que então se verifica tende a obrigar o moente a voltar à posição primitiva, embora a folga na zona de assentamento esteja agora preenchida com óleo.

Com o movimento de rotação o óleo começa a ser arrastado pelo moente e a ser comprimido na zona de carga da figura 13 até que se cria uma pressão hidráulica suficiente para provocar a separação dos órgãos que assumem a posição indicada na figura 14. Como, no entanto, do lado esquerdo existe uma zona de compressão e do lado direito uma zona de depressão a posição de equilíbrio final será a indicada na figura 15.

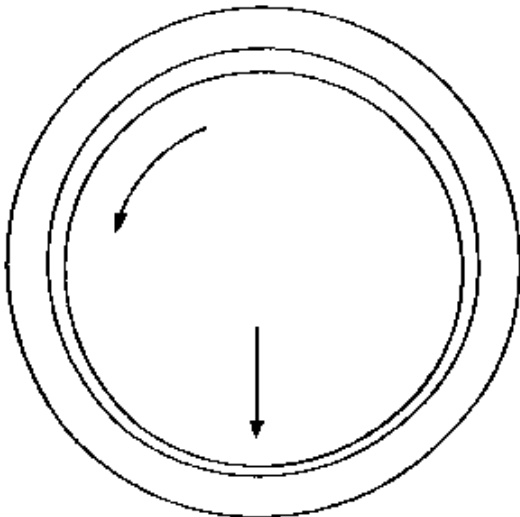


Figura 14

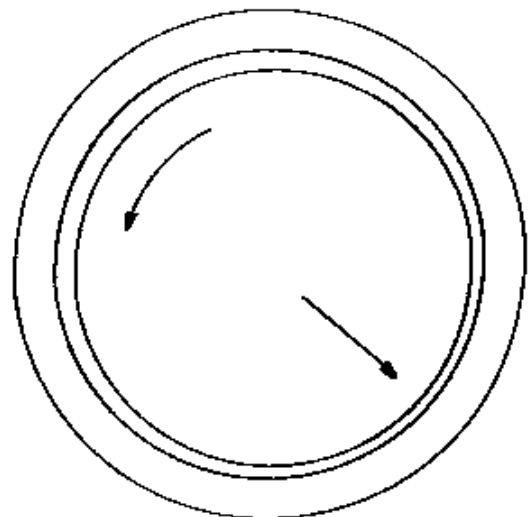


Figura 15

C- Chumaceira F- Folga M-Moente
Fonte: Shell (1956)

Em regime de funcionamento o diagrama de pressões apresentará a forma indicada na figura 16, sendo de notar a existência de uma pequena zona de depressão que vai condicionar a alimentação do óleo.

Nestas condições poder-se-á afirmar que a resistência ao movimento, ou o atrito, depende apenas de três fatores:

- viscosidade do óleo;
- velocidade de rotação;
- carga aplicada.

A viscosidade do lubrificante, apresenta-se, assim, como a característica física mais importante do lubrificante quando se torna necessário fazer a sua escolha.

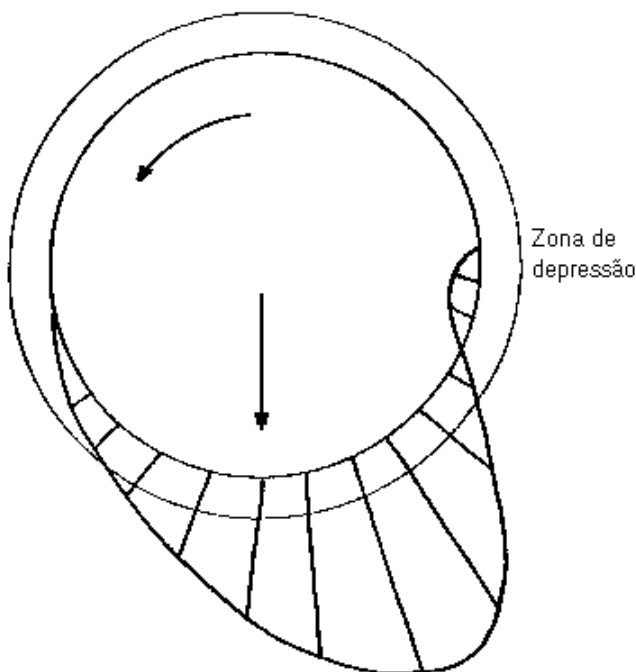


Figura 16- Diagrama de pressões num moente
Fonte: Shell (1956)

5.1.2- Atrito indireto imperfeito (untuoso)

Não são ainda bem conhecidos os fenômenos que ocorrem neste regime de lubrificação. A untuosidade não é uma propriedade mensurável podendo-se descrever como sendo a propriedade que condiciona a lubrificação quando a camada de lubrificante se reduz a valores mínimos; pode ser apreciada pela sensação de escorregamento que se experimenta quando se comprime uma gota de óleo entre os

dedos.

Admite-se uma adsorção de moléculas polares por parte das superfícies dando origem à formação de uma película de espessura uni-molecular fortemente aderente. Numa imagem grosseira poderíamos dizer que, em virtude da orientação assumida pelas moléculas devido às suas propriedades polares, a película assume o aspeto de uma escova cujos pelos seriam as moléculas de cadeia longa ligadas à superfície metálica por uma das extremidades.

Nestas condições o escorregamento deixa de se dar entre as superfícies metálicas passando a estar em contato as películas de moléculas orientadas ou as camadas moleculares intermédias, também orientadas em maior ou menor grau.

É de notar que dadas a grande irregularidade de uma superfície, medida à escala molecular, por mais cuidado que seja o seu acabamento, quando se fala em lubrificação sem camada fluída de

lubrificante tal se entende para a concordância das saliências das superfícies. Precisamente nos pontos em que existe essa concordância é que se passam em toda a sua pureza os fenômenos de untuosidade, porquanto a espessura da camada de lubrificante, que aí pode apresentar o mínimo da dimensão de duas moléculas, varia até valores muito maiores, impedindo, no entanto, a formação de uma veia contínua que possa assegurar uma lubrificação hidrodinâmica.

A untuosidade depende da natureza do par lubrificante - metal como consequência da afinidade dos centros polares dos primeiros em relação aos segundos. No que diz respeito ao lubrificante, a sua untuosidade será tanto mais acentuada quanto maior for o número de moléculas polares, pelo que é possível melhorar as condições de um dado óleo mineral misturando-o com outras substâncias como, por exemplo, certos óleos vegetais ou animais que podem ser quase integralmente constituídos por moléculas com propriedades polares.

5.2 - Propriedades genéricas dos lubrificantes

Os óleos lubrificantes têm sido preparados com ramas petrolíferas das mais variadas proveniências do globo terrestre. Como seria de esperar, as características físicas, e o grau de rendimento operacional e quantitativo dos lubrificantes fabricados a partir de tais ramas, apresentam diferenças consideráveis.

Estes óleos são obtidos com base na parte mais viscosa das ramas, depois de separada, por destilação, o gasóleo e outros produtos mais leves. Podem também ser produzidos por síntese, partindo dos hidrocarbonetos mais leves provenientes das ramas e incluindo ainda elementos orgânicos não derivados dos produtos petrolíferos. Os óleos sintéticos têm boas qualidades de atrito, boa resistência ao calor e à pressão, tendo, no entanto, um preço elevado. Quando considerados pelo volume, uma esmagadora maioria dos óleos lubrificantes produzidos em todo o mundo provêm diretamente de ramas, sob a forma de seus destilados, ou produtos residuais.

Muito embora as ramas petrolíferas das várias partes do mundo difiram imenso, tanto nas suas propriedades como na aparência, são relativamente poucas as diferenças detetadas por análise elementar. De facto, as amostras de petróleo bruto provenientes das mais variadas origens provam conter carbono, em proporções que variam de 83 a 87% e hidrogénio de 14 a 11%. As análises elementares de ramas petrolíferas revelam muito pouco da enorme variedade de propriedades físicas e químicas que possuem, ou da natureza dos óleos lubrificantes que se podem preparar com elas. Os óleos minerais pertencentes à série parafínica têm boa resistência ao atrito mas fracas prestações a baixas temperaturas, os da série nafténica têm menor resistência ao atrito e os aromáticos são mais fluídos pois são obtidos de produtos mais refinados.

As propriedades dos lubrificantes podem ser classificadas em quatro grupos:

- físicas;
- físico-químicas;
- químicas;
- mecânicas.

Tem-se sempre procurado traduzir em valores as características de qualidade de um lubrificante, ou, pelo menos, arranjar métodos de ensaio normalizados que permitam determinar se um dado lubrificante satisfaz, ou não, dados requisitos, verificação essa que é feita pela análise de resultados diretos ou indiretos.

Em muitos casos um conjunto de propriedades são suficientes para identificar um óleo, embora, cada vez mais, nos afastemos da possibilidade de assegurar, pela simples análise física e química de um óleo, que ele garanta idênticos resultados quando da sua utilização.

Por outro lado, em grande número de casos conhecem-se os conjuntos de características necessárias e suficientes que um lubrificante deve possuir para satisfazer os requisitos do regime de trabalho.

Com a recente evolução verificada no trabalho e produção de óleos lubrificantes para fins especiais, sobretudo no que respeita à lubrificação de máquinas, cuja concepção obriga a árduos regimes de funcionamento, torna-se necessária a verificação experimental do comportamento dos óleos em condições de trabalho padrão, ou mesmo da verificação dos resultados obtidos em casos específicos. Subsiste, no entanto, o interesse de determinar e conhecer algumas das propriedades fundamentais para identificação dos óleos. A par disso o conhecimento de outras propriedades permite e facilita a compreensão da função desempenhada pelo óleo.

Entre as propriedades mais importantes dos óleos tem-se:

- grau de viscosidade;
- índice de viscosidade;
- ponto de inflamação;
- ponto de congelação;
- resíduos carbonosos;
- estabilidade à oxidação.

5.2.1- Grau e índice de viscosidade

Pode-se definir grau de viscosidade de um óleo a uma dada temperatura, como a resistência oposta pelo óleo a qualquer escorregamento interno das suas moléculas. A viscosidade varia com a temperatura, pressão e natureza do líquido, sendo uma característica que depende das condições de trabalho, e que é definida por duas grandezas físicas, ou seja, pela sua viscosidade dinâmica e viscosidade cinemática.

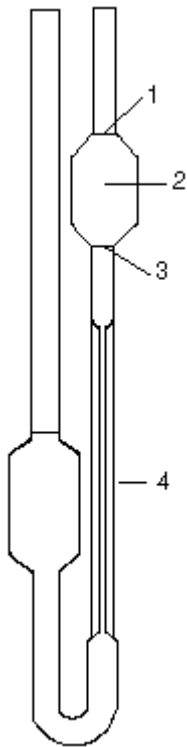


Figura 17- Representação esquemática de um viscosímetro
 1- Traço superior 2- Bolbo 3- Traço inferior 4- Tubo capilar
 Fonte: CNEEMA (1978)

A viscosidade dinâmica é medida com um viscosímetro rotativo que determina o binário resistente criado pelo óleo introduzido entre um estator e um rotor que tem uma velocidade de rotação constante; a unidade de medição é mPa.s. A viscosidade cinemática mede-se a partir do tempo de escoamento de um dado volume de óleo, mantido a uma determinada temperatura, através de um orifício de diâmetro conhecido; a unidade de medição é o mm²/s.

A viscosidade poderá ainda ser expressa em centipoise (cP) - viscosidade dinâmica - que se relaciona com a viscosidade cinemática pela massa volúmica do óleo à temperatura de medição; a viscosidade cinemática pode ser expressa em centistokes (cSt).

Outras unidades tais como, Segundos Saybolt, Segundos Redwood, Graus Engler, etc. foram em tempo utilizadas e representavam o tempo de escorrimento dos óleos medidos em aparelhos (viscosímetros) do mesmo nome.

A escolha dum óleo para determinada operação, tem sempre como ponto de partida a sua viscosidade, que tem que ser suficientemente elevada para assegurar uma película lubrificante e bastante baixa para que as perdas por atrito próprio não sejam excessivas. Dado que a viscosidade do lubrificante se altera com variações térmicas, torna-se necessário tomar em conta a temperatura que o óleo atingirá quando a máquina se encontra em funcionamento.

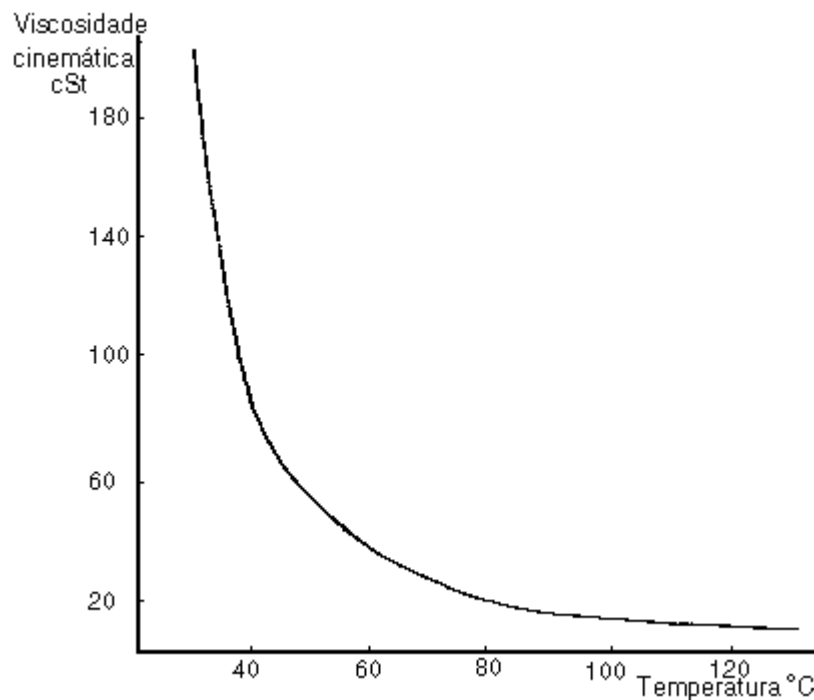


Figura 18- Variação da viscosidade com a temperatura
 Fonte: CNEEMA (1978)

O índice de viscosidade (V.I.) de um óleo é um valor empírico que estabelece uma relação entre a variação que a sua viscosidade sofre com a temperatura, e as variações idênticas de dois óleos de referência, um relativamente sensível (V.I.=0) e outro relativamente insensível (V.I.=100), tomando-se como base as viscosidades medidas às temperaturas de 100 e 210 °F (37,8 e 98,9 °C). O óleo com baixo índice de viscosidade é proveniente do Golfo do México e o de alto índice da Pensilvânia (centro dos EUA). É possível, no entanto, produzir óleos mais sensíveis à temperatura do que os que se encontram abrangidos pela referência V.I.=0, e outros menos sensíveis do que os que figuram com a referência V.I.=100, devido, sobretudo, à introdução de novos aditivos, obtendo-se assim valores de índice de viscosidade abaixo de zero ou acima de 100, respetivamente.

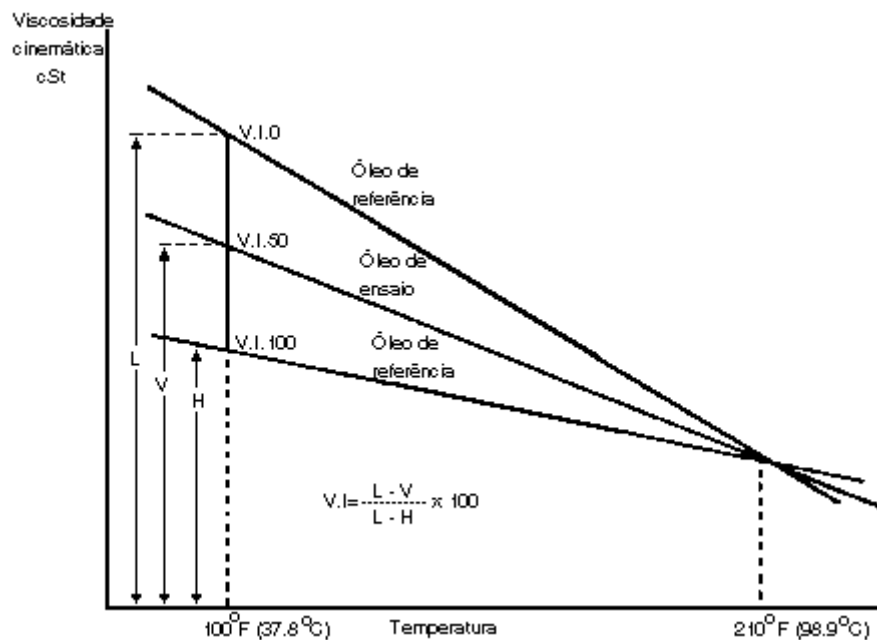


Figura 19- Cálculo do índice de viscosidade
Fonte: Shell (1956)

Em resumo, a viscosidade de todos os óleos diminui com o aumento de temperatura, mas nos óleos com alto índice de viscosidade aquela não varia tanto como nos que têm um baixo V.I., para idênticas amplitudes de variação.

5.2.2- Ponto de inflamação

O ponto de inflamação dá indicação de qual a temperatura mínima em que há risco de inflamação do lubrificante. Pode dar indicação da natureza do óleo base ou, conhecida esta, mostrar a existência de contaminação pois depende unicamente de existência de compostos mais voláteis que possam ser libertados quando atingida determinada temperatura. Esta característica poderá limitar as temperaturas máximas de utilização do óleo embora, em muitos casos, como por exemplo nos motores, a temperatura a que está sujeito o lubrificante seja, em alguns pontos, muito superior.

5.2.3- Ponto de congelção

Com o abaixamento da temperatura a viscosidade de um óleo aumenta até atingir por fim um estado de rigidez próximo do estado sólido.

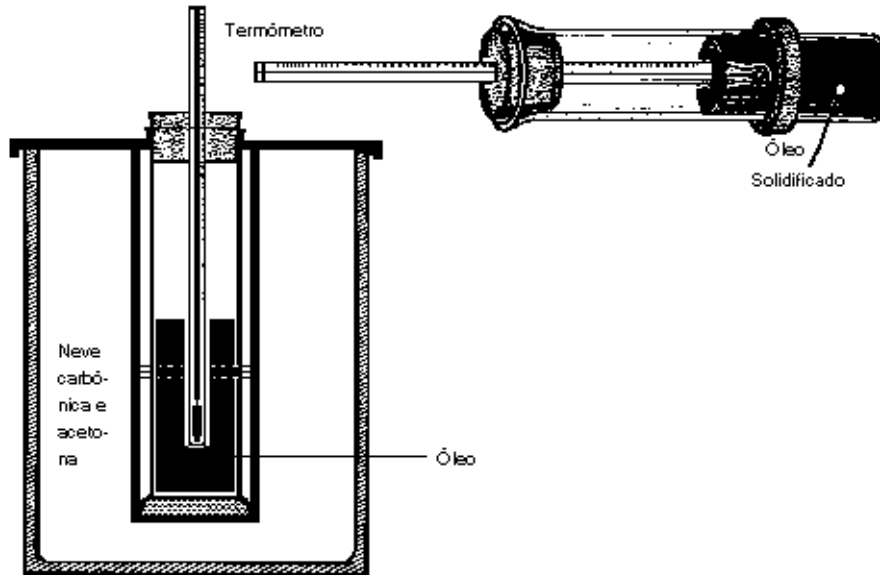


Figura 20- Determinação do ponto de congelção
Fonte: CNEEMA (1978)

Este ponto não tem um valor absoluto porquanto o ensaio é feito com o óleo em repouso podendo os resultados serem diferentes em estado de agitação. Tem interesse, sobretudo, para sistemas que trabalhem a baixas temperaturas, como, por exemplo, o caso dos comandos hidráulicos dos aviões, as instalações frigoríficas ou, de um modo geral, em regiões de baixa temperatura.

Note-se que, por exemplo, no caso dos motores, à limitação imposta pelo ponto de congelamento, sobrepõe-se as propriedades de viscosidade, pois, para garantir a lubrificação, a viscosidade não pode ser inferior a valores mínimos, que correspondem a temperaturas muito acima do ponto de congelção.

5.3 - Aditivos

O progresso conseguido na conceção das máquinas tem obrigado, e é resultado, da evolução da técnica de lubrificação. A produção de lubrificantes capazes de suportar condições cada vez mais árduas de trabalho permitiu aos construtores consideráveis melhorias dos rendimentos das máquinas, e também na economia da produção.

A vastidão deste campo não permite senão assinalar os tipos de aditivos e as funções a que se destinam; os aditivos têm a propriedade de, a altas temperaturas, distenderem as moléculas que, ao interligarem-se, abrandam o escorrimento do lubrificante, mantendo relativamente elevada a viscosidade.

São correntes as designações de "**heavy-duty**", "**detergentes**", etc., não sendo sempre das mais corretas, as denominações aplicadas. Outras nomenclaturas há também em que o sentido ou a classificação foi deturpada.

Numa classificação sumária pode-se dizer que os aditivos se destinam a uma das seguintes funções:

- de proteção;
- de limpeza;
- de alteração da sensibilidade do óleo.

Aditivos de proteção:

- aditivos de untuosidade, melhoram a aderência do filme de óleo;
- aditivos de extrema - pressão (EP), combinam-se com a superfície do metal para formar uma película escorregadia que evita a gripagem das peças sujeitas a grandes pressões e temperaturas. As substâncias mais utilizadas nestes aditivos são compostos de enxofre, cloro ou fósforo-zinco, que atacam as irregularidades das superfícies formando compostos facilmente destacáveis, dando origem a um filme sólido inorgânico muito tenaz;
- aditivos antidesgaste, reduzem o desgaste rápido das peças provocado fundamentalmente pelo enxofre. Estes aditivos eliminam o desgaste que resulta do rompimento do filme de lubrificante, ficando as superfícies metálicas em contato direto. Na sua constituição entram principalmente compostos orgânicos à base de fósforo, que ao reagirem com as superfícies metálicas formam um estrato superficial de lubrificante sólido;
- aditivos antiferrugem, evitam a oxidação das peças fabricadas com metais ferrosos;
- aditivos anticorrosão, neutralizam os ácidos corrosivos derivados do ácido sulfúrico resultante do enxofre existente nos combustíveis, formando uma película protetora.

Aditivos de limpeza:

- aditivos detergentes e dispersantes, mantêm o motor mais limpo pois retêm em suspensão os resíduos resultantes da combustão, carbono e impurezas. Os aditivos detergentes soltam ou impedem a formação de produtos de oxidação (água, resinas, etc.) que tendem a depositar-se nas superfícies metálicas, dada a sua insolubilidade nos lubrificantes, mantendo-as em suspensão e os dispersantes mantêm as partículas em suspensão afim de as conduzir para os filtros antes que elas se depositem;

Aditivos de alteração de sensibilidade:

- aditivos de adesividade para melhorar a coesão das partículas do óleo;
- aditivos para diminuir o ponto de congelação por forma a facilitar o arranque a frio do motor;

- aditivos para melhorar a viscosidade tornando o óleo menos sensível à variação da temperatura;
- aditivos anti emulsionantes, que favorecem a ruptura do filme de óleo que envolve as bolhas de ar;
- aditivos antioxidantes, que impedem a oxidação do óleo a altas temperaturas sobre as partes quentes do motor. A oxidação do óleo provoca depósitos (resinas, vernizes, etc.) sobre os êmbolos originando produtos agressivos às chumaceiras e moentes;
- aditivos para melhorar o cheiro e a cor, por forma a identificar os óleos ou evitar falsificações.

O conhecimento das condições a que os lubrificantes estão sujeitos nos motores permite a compreensão da ação destes aditivos, o que se procurará conseguir através das breves referências que adiante se fazem sobre lubrificação nos motores de explosão.

5.4 - Lubrificantes para motores de quatro tempos

Os óleos motor são classificados em função da sua viscosidade e das condições de serviço, capazes de retardar o desgaste do motor.

5.4.1- Classificação com base na viscosidade

Nos motores alternativos, a viscosidade do óleo é o facto mais importante no respeitante a desgaste, estanquicidade, economia de lubrificante, formação de depósitos e é um facto a considerar quanto à facilidade com que pode ser feito o arranque do motor.

O índice de viscosidade de um óleo lubrificante não tem grande significado quando se destina a motores que não estejam sujeitos a frequentes arranques a baixas temperaturas. Em vez desse, o maior problema é dispor de uma viscosidade adequada às temperaturas normais de regime para assegurar a formação de películas que evite contatos metálicos e, portanto, desgaste e assegurar um consumo reduzido de óleo; as normas de viscosidade determinam o grau de viscosidade e o índice de viscosidade. Uma viscosidade excessiva, a baixas temperaturas, contribui para um arranque difícil provocando dispêndio inútil de combustível e desgaste.

Assim, e em resumo, uma viscosidade elevada tem uma influência favorável sobre:

- a estanquicidade entre os êmbolos e os cilindros e mantém um filme de óleo com uma espessura suficiente e contínua, resistente às altas pressões que se fazem sentir no topo dos êmbolos;
- a redução do consumo de óleo, conservando uma certa liberdade de movimento aos segmentos nas suas sedes;

e desfavorável sobre:

- a rapidez de circulação e portanto da lubrificação imediata das peças e sobre a refrigeração dos órgãos mais afastados e mais quentes (eixo dos êmbolos, guias das válvulas, etc.);
- a energia absorvida para o pôr em movimento, especialmente a baixas temperaturas.

O sistema oficial, geralmente aceite, para classificar óleos para motores, apenas no que se refere à viscosidade, é o recomendado pela Sociedade de Engenheiros de Automóveis (Society of Automotive Engineers - SAE); embora criado há anos para motores, hoje o seu emprego não se restringe àqueles.

Segundo esta classificação os óleos dividem-se em duas séries (classes), conforme a temperatura a que é determinada a viscosidade, em óleos de Inverno, referenciados pela letra W, que é a inicial da palavra inglesa "Winter" e óleos de Verão, tendo cada uma delas vários graus, definidos por gamas de viscosidade determinadas a uma dada temperatura.

Nos óleos de Inverno determina-se a viscosidade dinâmica a temperaturas compreendidas entre -5 e - 30 °C, e nos de Verão determina-se a viscosidade cinemática a 100 °C.

O objetivo essencial dos óleos de Inverno é garantir uma fluidez suficiente que facilite o arranque dos motores a temperaturas muito baixas e a classificação dos óleos de Verão é o de definir óleos que apresentem uma viscosidade suficiente nas condições normais de utilização.

Quadro 1- Especificações SAE para os óleos motor da série de Inverno

Grau SAE	Viscosidade dinâmica máxima		Temperatura de bombagem °C	Viscosidade mínima a 100 °C (mm ² /s)
	mPa.s	a °C		
0 W	3250	- 30	- 35	3.8
5 W	3500	- 25	- 30	3.8
10 W	3500	- 20	- 25	4.1
15 W	3500	- 15	- 20	5.6
20 W	4500	- 10	- 15	5.6
25 W	6000	- 5	- 10	9.3

Fonte: CEMAGREF (1991)

Quadro 2- Especificações SAE para os óleos motor da série de Verão

Grau SAE	Viscosidade cinemática a 100 oC
	mm ² /s
20	5.6 - 9.3
30	9.3 - 12.5
40	12.5 - 16.3
50	16.3 - 21.9
60	21.9 - 26.1

Fonte: CEMAGREF (1991)

Cada número S.A.E. corresponde a uma certa amplitude de viscosidade com limites expressos em milipascal - segundo (mPa.s) ou milímetro quadrado por segundo (mm²/s) - viscosidade dinâmica e viscosidade cinemática, respectivamente. A viscosidade medida nos óleos de Inverno (viscosidade dinâmica) e de Verão (viscosidade cinemática) implica que, por exemplo, um óleo SAE 20 W não tenha a mesma viscosidade que um óleo SAE 20; 1 mPa.s = 1 cP e 1 mm²/s = 1 cSt.

A viscosidade de um óleo é tanto mais alta quanto maior é o número S.A.E., assim, um óleo S.A.E. 30 é mais viscoso que um óleo S.A.E. 20 e um óleo S.A.E. 20W é mais viscoso que um óleo S.A.E. 10W.

Deste sistema de classificação resulta que, por exemplo, não é possível um óleo ter a designação S.A.E. 20 e S.A.E. 40 simultaneamente, uma vez que os seus limites de viscosidade referidos a 98,9 °C não se sobrepõem. Um óleo pode, no entanto, ser ao mesmo tempo S.A.E. 20W e S.A.E. 40 (classificado na série de Inverno e na série de Verão) tomando então a designação de óleo multigraduado; tem um grau de viscosidade a baixa temperatura e outro grau a quente.

Os óleos multigrades constituem uma categoria particular dos óleos motores uma vez que são sempre designados por dois números S.A.E. apresentando-se contraídos num só: S.A.E. 10W/30, que designa um óleo de alto índice de viscosidade ao ponto de se manter suficientemente fluído a - 20 °C - S.A.E. 10W - e não muito viscoso a 100 °C - S.A.E. 30. Um óleo SAE 50 a altas temperaturas é mais fluído que um SAE 5 W a baixas temperaturas, pelo que um óleo multigraduado SAE 5 W / 50 ao passar de -18 °C para 99, torna-se mais fluído apesar do seu grau passar de 5 (com W) para 50.

Os óleos multigraduado têm por base um óleo de Inverno ao qual se juntaram aditivos espessantes (viscosidade) que atuam quando a temperatura sobe, o que permite obter índices de viscosidade que variam de 90 a 180. Um óleo multigraduado satisfaz simultaneamente as exigências de utilização a baixas e altas temperaturas, pelo menos sob o ponto de vista da viscosidade, o que permite um fácil arranque a baixas temperaturas e manter um filme de óleo entre as peças a altas temperaturas.

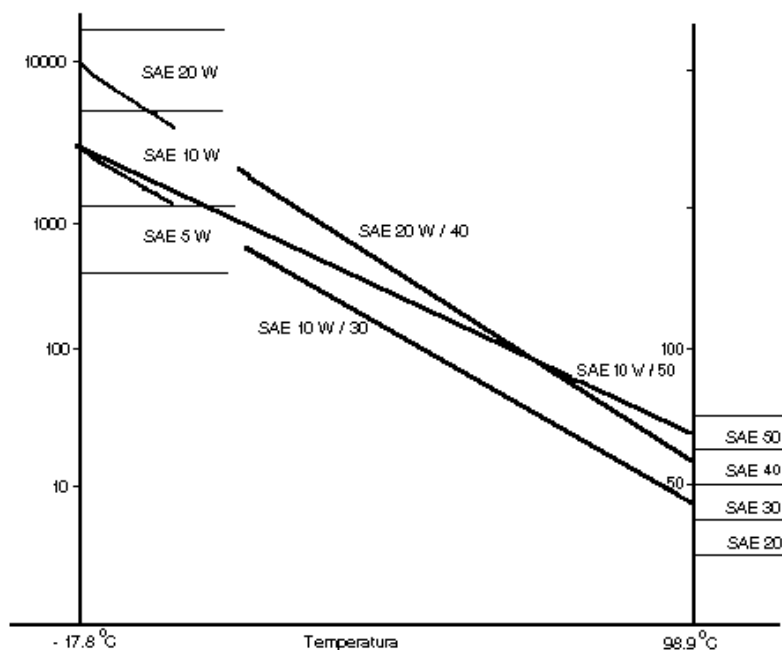


Figura 21- Comparação da variação da viscosidade a baixa e alta temperatura de três óleos multigraduados. O óleo SAE 10 W / 50 tem um índice de viscosidade mais elevado. Nos eixos dos YY está representado o tempo de escoamento, em segundos.
 Fonte: CNEEMA (1978)

Quadro 3- Índice de viscosidade dos óleos multigraduados

Classificação S.A.E.	Índice de viscosidade mínimo (*)
5W 20	122
5W 30	178
5W 40	207
5W 50	230
10W 30	134
10W 40	170
10W 50	180
15W 30	115
15W 40	138
15W 50	157
20W 30	
20W 40	113
20W 50	130

Fonte: CEMAGREF (1991)

* O sistema criado em 1929 por Dean e Davis para determinação do índice de viscosidade e referido atrás (V.I. - Viscosity index) tornou-se inadequado para valores acima de 100. Um novo método, para determinações acima de V.I. 100, é atualmente empregue e é designado por Viscosity Index Extension (V.I.E.). Há continuidade entre os dois sistemas de tal modo que V.I. = 100 é equivalente a V.I.E. = 100. (ver anexo 1)

5.4.2 - Classificação com base nas condições de serviço

A viscosidade de um óleo e sua variação não é suficiente para a sua definição completa, pelo que é fundamental considerar as condições de utilização (serviço), cujos critérios são variáveis e de difícil determinação.

Estas condições conduzem à alteração progressiva dos óleos, nomeadamente a sua poluição, como resultado da acumulação de elementos sólidos, como as partículas metálicas, de elementos líquidos, como a água de condensação, e das alterações químicas, por oxidação com a água, oxigénio do ar, etc., e alterações químicas que resultam do contato com as partes quentes dos motores.

As condições de serviço são definidas em função das “performances” dos motores, sua tecnologia e condições de utilização, pelo que devem possuir propriedades anti desgaste, extrema pressão, dispersividade, anti acidez, anti corrosão, etc.

Foi durante a segunda guerra que se sentiu a necessidade de se complementar a classificação SAE tendo, para o efeito, o exército americano estabelecido as normas Mil.L, que mais tarde o “American Petroleum Institute” (A.P.I) adaptou equipamentos civis.

5.4.2.1- Classificação A.P.I.

Para se estabelecerem referências destinadas aos motores a gasolina, o A.P.I. adotou, em 1949, um primeiro sistema de classificação com base na composição do óleo (nível de aditivação).

Mais tarde, em 1970, uma nova classificação foi proposta por forma a satisfazer todos os fatores de que depende o funcionamento correto do motor, nomeadamente o seu desenho e construção, o carburante ou combustível utilizados e as condições de funcionamento e manutenção; cada categoria é definida para um dado tipo de serviço e para as prestações a obter durante os ensaios com os motores.

Quadro 4- Classificação API dos óleos para motores a gasolina e gasóleo

Óleos para motores a gasolina		Óleos para motores a gasóleo	
Designação	Serviço	Designação *	Serviço
SA	Serviço suave	CA	Serviço ligeiro (motores atmosféricos)
SB	Serviço leve	CB	Serviço moderado (motores atmosféricos)
SC	Carros de 1964 a 1967	CC	Serviço médio (motores atmosféricos)
SD	Carros de 1968 a 1971	CD	Serviço severo (motores sobrealimentados)

SE	Carros a partir de 1971	CD II	Serviço severo (motores a dois tempos)
SF	Serviço muito severo	CE	Serviço muito severo (motores sobrealimentados)
SG	Serviço muito severo, óleos + aditivados	CF.4	Substitui a categoria CE depois de 1991

Fonte: CEMAGREF (1991)

* A letra C dos óleos para motores a gásóleo corresponde à inicial da palavra "Comercial".

Os óleos das categorias mais elevadas podem trabalhar em condições menos severas.

Os óleos para motores a gásóleo têm um TBN (Total Base Number), que representa a reserva de alcalinidade, elevado, por forma a anular o teor de enxofre ($\pm 0.5 \%$).

5.4.2.2- Classificação C.C.M.C.

A classificação C.C.M.C.(Comité dos Construtores do Mercado Comum), que foi elaborada pelos principais construtores europeus, devido à diferença entre as características técnicas dos motores americanos em relação aos europeus, considera os seguintes tipos de óleos:

Quadro 5- Classificação CCMC dos óleo para motores a gasolina

Designação	Serviço
G.1	Semelhante ao definido para A.P.I. SE
G.2	Semelhante ao definido para A.P.I. SF
G.3	Semelhante ao G.2 mas menos viscoso

Fonte: Bouhaged (1989)

Quadro 6- Classificação CCMC dos óleo para motores a gásóleo

Designação	Serviço
D.1	Serviço normal, motores atmosféricos; corresponde à A.P.I. CC
D.2	Serviço normal, motores sobrealimentados. Serviço severo, motores atmosféricos; corresponde à A.P.I. CD
D.3	Serviço muito severo, motores atmosféricos e sobrealimentados; corresponde à A.P.I. CE
PD.1	Veículos ligeiros

Fonte: Bouhaged (1989) (ver anexo 2)

Depois de 1989, foram definidos dois novos tipos de óleos, D.4 e D.5 para motores Diesel utilitários, que substituíram os D.2 e D.3, desaparecendo o tipo D.1, e PD.2 para veículos de turismo, que substituiu o tipo PD.1; a grandeza do número do tipo de óleo corresponde à exigência do serviço.

Os óleos com a letra P antes do D, destinam-se ao sector automobilístico, para motores aspirados ou turbos.

A classificação europeia de óleos é bastante semelhante à classificação A.P.I. distinguindo-se basicamente pela maior exigência relativamente ao desgaste dos cilindros, resistência ao corte e perdas por evaporação.

5.4.2.3- Classificação MIL-L do exército americano

As especificações MIL-L são de longe aqueles mais utilizados para escolha e indicação dos óleos destinados aos motores Diesel. A designação comporta as quatro letras MIL-L (Military Lubrificant) seguidas de um número de quatro ou cinco algarismos e de uma letra.

As características (qualidades) exigidas em cada uma das normas podem ser assim resumidas:

- Mil.L. 2104 A : propriedades detergentes. Esta especificação substitui, em 1954, a antiga especificação Mil.L. 2104;
- Mil.L. 2104 B : propriedades detergentes e propriedades dispersivas. Estes óleos podem ser utilizados em veículos que fazem grandes percursos, em tempo quente, ou pequenos trajectos, em tempo frio;
- Mil.L. 46152 B: reforço das propriedades de detergência e sobretudo de dispersão. Esta especificação substitui a especificação Mil.L. 46152, sendo os óleos recomendados para motores a gasolina ou gasóleo ligeiramente sobrealimentados, utilizados em trajetos curtos;
- Mil.L. 45199 B: propriedades detergentes elevadas. Esta especificação substituiu a Mil.L.. 45199, sendo os óleos utilizados em motores diesel sobrealimentados de grande potência e em serviço severo;
- Mil.L.. 2104 D: propriedades de detergência e dispersivas elevadas. Esta especificação substituiu a Mil.L. 2104 C;
- Mil. L. 46152 C: tem características semelhantes à categoria Mil.L.. 46152 B, mas os óleos são menos tóxicos. É equivalente à categoria A.P.I. SF/CC;
- Mil.L. 46152 D: esta categoria apareceu em 1988 e é equivalente à A.P.I. SG;
- Mil.L. 2104 E: tem propriedades elevadas de detergência e dispersividade. Apareceu em 1988, substituindo a categoria Mil.L.. 2104 D.

5.4.3- Equivalência entre as classificações Mil- L e API

Perante a diversidade de classificações que são utilizadas em paralelo, convém conhecer as suas equivalências. O quadro seguinte apresenta essas correspondências que não são contudo absolutamente rigorosas, deverão ser consideradas unicamente uma base de comparação.

Quadro 7- Equivalência entre as classificações dos óleos para motores a gasolina

Classificação Mil.L.	Classificação A.P.I.
Mil.L.2104 A	CA
Mil.L.2104 A suplemento 1	CB
Mil.L.2104 B (1964)	CC
Mil.L.46152 A	SE/CC
Mil.L.46152 B	SF/CC
Mil.L.46199 B	CD
Mil.L.2104 C (1970)	SC/CD
Mil.L.2104 D (1983)	CD
Mil.L.46152 C (1987)	SF/CC
Mil.L.46152 D (1988)	SG
Mil.L.2104 E (1988)	CE

Fonte: Bouhaged (1989)

A elaboração de óleos para serem utilizados em motores a gasóleo e gasolina tem vindo a aumentar, pelo que se podem encontrar referências numa embalagem de óleo para motores a gasóleo do tipo:

- S.A.E. 15 W 40
- A.P.I. CD SE e SF
- Mil.L 2104 C e 46152 B

em que as especificações SE, SF e 46152 B se referem a óleos para motores a gasolina.

5.5- Óleos para motores a gasolina a dois tempos

A opção na escolha dos óleos para motores a dois tempos é efetuada entre os óleos motor a quatro tempos SAE 30 ou 40, API, SE ou SF, óleos especiais para diluição e óleos especiais semissintéticos ou sintéticos de base mineral.

Relativamente ao primeiro grupo, estes podem ser utilizados em motores sujeitos a fracas cargas, sendo os aditivos que geralmente possuem inúteis ou mesmo prejudiciais, originando depósitos de carvão. Os óleos para diluição são constituídos por óleos de baixa viscosidade aos quais se mistura um solvente.

Os óleos especiais, classificados pela TSC em quatro classes TSC 1 a TCS 4, devem ter as seguintes características:

- assegurar a lubrificação dos cilindros;
- queimarem-se totalmente, por forma a reduzir ao mínimo a formação de depósitos;
- evitarem o desgaste e corrosão das peças em movimento.

Os óleos para este tipo de motores podem ser classificados como óleos para “serviço normal” e “serviço severo”, sendo os primeiros indicados para motores de pequena cilindrada e os segundos para grandes cilindradas e regimes rápidos, como, por exemplo, as motobombas estáticas, motosserras, etc..

5.6 - Lubrificantes para transmissões mecânicas

Os lubrificantes para engrenagens devem ser quimicamente estáveis de molde a evitar a formação de produtos, resultantes da sua deterioração, que os torna mais espessos e dêem lugar a possíveis corrosões nas superfícies finamente acabadas dos dentes dos carretos, dos rolamentos, etc. Devem ter uma viscosidade conveniente e propriedades especiais de serviço, capazes de retardar o desgaste das engrenagens, chumaceiras, rolamentos, válvulas, bombas, motores e êmbolos hidráulicos. O atrito entre dois dentes e a diferença de pressão que eles exercem, que pode ser superior a 20 kg / mm de largura do dente, pode provocar a rutura do filme de óleo, originando pontos de soldadura; as reduzidas superfícies de contato entre carretos provoca elevações importantes de temperatura.

Estas qualidades servem de base à dupla classificação geral adotada para os lubrificantes de transmissões.

5.6.1 - Classificação segundo a viscosidade

Para além da sua função geral na lubrificação, uma viscosidade elevada tem nas transmissões uma influência.

- Favorável sobre:

- boa aderência do óleo ao metal independentemente das grandes velocidades de rotação e das fortes pressões, com a condição da sua untuosidade ser suficiente;
- estanquicidade dos dispositivos hidráulicos (distribuidores, êmbolos, válvulas, etc..)

- Desfavorável sobre:

- a rapidez de contato do óleo com os diferentes órgãos a lubrificar, seja este por chapinharem ou projeção à distância.
- a rapidez de colocação em movimento dos sistemas hidráulicos.
- a energia absorvida pelo atrito e o aquecimento que daí resulta.

À semelhança dos óleos para motores, a variação de viscosidade com a temperatura deve ser limitada de molde a ser suficientemente fluido a frio para recobrir, desde os primeiros movimentos,

todas as superfícies em atrito e suficientemente viscoso, à temperatura de funcionamento, para aderir ainda convenientemente às superfícies metálicas.

A maior parte dos óleos para transmissões utilizados em agricultura são:

- **Óleo para motores** geralmente "multigraduados" com elevado índice de viscosidade (próximo de 140), sobretudo nos casos em que se usa o mesmo óleo para as transmissões mecânicas e hidráulicas. A classificação S.A.E. é a mesma referida anteriormente. As suas qualidades detergentes e de dispersão são favoráveis à proteção contra a corrosão uma vez que mantêm em suspensão a água e as impurezas que são mais facilmente evacuadas.

- **Óleos especiais para transmissões mecânicas** obtidos a partir de óleos base muito elaborados e com um índice de viscosidade compreendido entre 90 e 115.

A medição da viscosidade é efetuada de forma semelhante à utilizada para óleos motor. A determinação feita a -17,8 °C delimita 4 gamas de viscosidade e a 98,9 °C são delimitadas 3 grandes gamas designadas respetivamente pelos seguintes números: 70, 75, 80, 85 e 90, 140, 250 precedidos pelas letras S.A.E..

Quanto maior é o número maior é a viscosidade o qual não tem qualquer relação direta, para evitar confusões com os números S.A.E. utilizados para óleos motor.

Assim a viscosidade de um óleo de transmissão S.A.E. 90 compreende as viscosidades motor S.A.E. 50 e S.A.E. 40 em parte, de igual forma um óleo S.A.E. 80 de transmissão corresponde a um óleo S.A.E. 30 motor.

Depois de 1972, a S.A.E. ampliou as exigências da sua classificação impondo uma viscosidade máxima (150000 cP) a temperaturas determinadas criando uma nova gama: -40 °C para a nova designação **S.A.E. 75W**, -26 °C para a **S.A.E. 80W** e -12 °C para a **S.A.E. 85W**.

Quadro 8- Classificação dos óleos para as transmissões segundo a sua viscosidade (1977)

Grau SAE	Temperatura máxima para uma viscosidade dinâmica de 150.000 mPa.s	Viscosidade a 100 °C (mm ² /s)	
		mínima	máxima
70 W	- 55	4.1	-
75 W	- 40	4.1	-
80 W	- 26	7.0	-
85 W	-12	11.0	-
90	-	13.4	24
140	-	24.4	41
250	-	41.0	-

Fonte: Bouhaged (1989)

- **Óleos especiais para transmissões hidráulicas ou mecânicas e hidráulicas combinadas**, os diferentes sistemas hidráulicos são concebidos com tolerâncias de construção extremamente pequenas. O fluido hidráulico utilizado deve satisfazer as seguintes particularidades:

- anti desgaste, para garantir uma boa eficácia anti-desgaste e detergente, por forma a proporcionar uma longa duração aos diferentes órgãos da instalação hidráulica;
- anti corrosão, para evitar alterações, mesmo em presença de água, dos materiais metálicos;
- anti espuma, para libertar as bolhas de ar que causam a oxidação do óleo e o seu sobreaquecimento;
- compatibilidade com as juntas para não as deteriorar;
- alto índice de viscosidade para assegurar um funcionamento eficaz em qualquer situação, mesmo quando é sujeito a altas pressões, e evitar quebras de aspiração da bomba e reduzir o atrito interno do óleo;
- baixo ponto de escorrimto, para garantir uma fluidez suficiente, mesmo a baixas temperaturas, por forma a facilitar o arranque do sistema e a utilização das direções hidrostáticas.

Os óleos a utilizar são de baixa viscosidade e índice de viscosidade elevado devendo conter aditivos antioxidantes, antiferrugens, anti espuma, anti emulsão, etc., mantendo neutralidade total com todas as ligas utilizadas.

5.6.2 - Classificação com base nas condições de serviço

Nas transmissões os óleos estão sujeitos a inúmeras solicitações físicas (pressão, atrito, etc.), situações de poluição por acumulação de impurezas, alterações químicas e térmicas pelo que devem apresentar características que permitam, nessas condições, manter um filme de óleo entre as várias superfícies em movimento, evitando-se assim a formação de microsoldaduras.

5.6.2.1- Classificação A.P.I. de serviço

Para além da classificação S.A.E. de viscosidade, a classificação mais utilizada é a A.P.I. que se baseia em noções do domínio da aplicação e condições de serviço. Compreende as seguintes categorias:

Quadro 9- Classificação API dos lubrificantes para transmissões mecânicas

Tipo	Aplicação	Tipo de serviço
GL 1	Engrenagens helicoidais para transmissões manuais	Condições de serviço pouco severas
GL 2	Engrenagens sem-fim, engrenagens industriais	Condições de serviço mais severas
GL 3	Engrenagens helicoidais	Condições de carga e velocidade moderadamente severas
GL 4	Engrenagens hipoides	Condições severas de serviço, velocidades elevadas ou binários altos
GL 5	Engrenagens hipoides	Condições severas de serviço, velocidade elevada e baixo binário com choques
GL 6	Engrenagens hipoides	Redutores hipoides cujo deslocamento ultrapassa os 50 mm ou 25% do diâmetro da coroa

Fonte: Bouhaged (1989)

Só os óleos GL 1 são do tipo mineral puro, todos os outros óleos são do tipo "extrema pressão" (E.P.). Em determinados tipos de transmissão, exemplo, as rodas de coroa e parafuso sem-fim, as pressões de contato são tão elevadas que é necessário utilizar óleos especiais que se designam por óleos compostos, que incluem óleos vegetais.

5.6.2.2- Especificações militares (MIL-L do exército americano)

Como para os óleos motor, a qualidade dos óleos para transmissões mecânicas, hidráulicas ou mistas depende da eficácia em serviço dos seus aditivos. Esta eficácia é avaliada por meio de ensaios efetuados em máquinas de laboratório sob condições muito precisas de carga, duração e temperatura e submetidas a verificações minuciosas sobre o desgaste, corrosão, gripagem e deformação.

Para as transmissões mecânicas, estas especificações dizem respeito somente a óleos E.P., (extrema pressão) e distinguem dois tipos de serviço com exigências crescentes de eficácia dos aditivos anti corrosão e extrema-pressão:

- Mil.L.-2105 (equivalente à classe GL 4 A.P.I.). Convém à maior parte das engrenagens helicoidais, sensíveis a cargas elevadas;
- Mil.L.-2105B (equivalente à classe GL 5 A.P.I.). Esta especificação está reservada para engrenagens muito sensíveis a cargas elevadas tais como alguns pares cónicos e redutores finais de tratores que trabalham com bruscas variações de esforço;
- Mil.L.2105 C (equivalente aos óleos SAE 75 W, 80 W, 90, 85 W e 140). São óleos semelhantes aos anteriores mas mais resistentes à formação de emulsões e depósitos, e mais detergentes;
- Mil.L. 2105 D, são óleos semelhantes aos anteriores mas menos tóxicos.

5.7 - Lubrificantes para transmissões hidráulicas

À semelhança das transmissões mecânicas os óleos utilizados nas transmissões hidráulicas são de origem mineral aos quais se adicionam vários aditivos nomeadamente os inibidores de oxidação, antiferrugem, anticongelantes, anti desgaste e aditivos melhoradores do índice de viscosidade.

5.7.1- Características dos óleos hidráulicos

Entre as principais características destacam-se as seguintes:

- viscosidade;
- compressibilidade;
- solubilidade do ar;
- anti espuma;
- resistência à oxidação

5.7.1.1- Viscosidade

A viscosidade é, sem dúvida, a característica mais importante dos óleos hidráulicos sendo a sua escolha um compromisso entre a lubrificação dos componentes e o seu rendimento. A lubrificação implica que a viscosidade seja suficientemente alta para que se forme uma película lubrificante que evite o desgaste das superfícies deslizantes, mas suficientemente baixa para evitar fenômenos de cavitação, uma insuficiente capacidade de aspiração pela bomba e perdas de potência devido à sua maior resistência ao movimento. Este abaixamento de rendimento mecânico resultante da maior viscosidade pode ser atenuado pelo maior rendimento volumétrico resultante da melhor vedação das fugas no sistema.

5.7.1.2- Compressibilidade

Os óleos apresentam, quando isentos de ar e gases dissolvidos, baixa compressibilidade, pelo que esta característica não tem grande importância na sua escolha.

5.7.1.3- Solubilidade do ar

A presença de ar no seio do óleo aumenta a sua compressibilidade, causando geralmente um trabalho ruidoso e vibrações. Estas bolhas sofrem uma ação dispersante no interior da bomba o que origina a sua fragmentação aumentando o intervalo de tempo até atingirem o reservatório.

5.7.1.4- Características anti espuma

Esta propriedade dos óleos hidráulicos evita a formação de espuma à superfície, o que poderia acontecer caso o ar fosse libertado da solução e não se dispersasse rapidamente. Os óleos base utilizados no fabrico dos óleos hidráulicos apresentam esta característica podendo, no entanto, ser melhorada através de aditivos.

5.7.1.5- Resistência à oxidação

A resistência à oxidação é uma das principais características dos óleos pois, devido às condições em que normalmente funcionam, têm tendência para se alterarem quimicamente, o que conduz ao aumento da viscosidade, formação de lamas e maior dificuldade de separação da água.

Relativamente aos óleos utilizados nas transmissões hidráulicas eles são diferentes conforme as transmissões são hidrocínicas ou hidrostáticas. As classificações mais utilizadas para cada um destes tipos são as apresentadas nos pontos seguintes.

5.7.2- Óleos para transmissões hidrocínéticas

Para as transmissões hidrocínéticas (transmissões automáticas e “power-shift”), caixas de velocidades automáticas e semiautomáticas e em direções assistidas o óleo deve apresentar um alto índice de viscosidade, uma boa fluidez a baixa temperatura e boa estabilidade térmica.

A classificação destes óleos (“óleos hidrocínéticos”) deve-se a dois grandes construtores, a General Motor e a Ford, que definiram as características físico-químicas necessárias assim como os níveis exigidos; estas especificações têm como principais objetivos a melhoria das qualidades dos óleos no que respeita à viscosidade, resistência à oxidação e poder anti corrosão.

Para o primeiro destes construtores tem-se os seguintes tipos de óleos:

- **ATF** tipo **A** sufixo **A**: são óleos utilizados nos ligadores hidráulicos, conversores de binário, direções assistidas e transmissões automáticas;
- **HTF** tipo **C 2**: correspondente aos óleos anteriores mas apresentando maiores índices de resistência à oxidação e aquecimento e não alterarem a borracha;
- **HFT** tipo **C 3**: especificação em vigor depois de 1977 e corresponde às características dos óleos anteriores juntando-se ainda a neutralidade relativamente às juntas, propriedades anti-ferrugem e proteção contra o desgaste;
- **ATF** «Dexron II D»: óleo semelhante ao **ATF** tipo **A** sufixo **A**, mas mais severo;
- **ATF** «Allison C4».

ATF- automatic transmission fluid.

Relativamente à Ford as especificações são **Ford M2C 185 A** para veículos a partir de 1988.

5.7.3- Óleos para transmissões hidrostáticas

Considerando os óleos para as transmissões hidrostáticas (“óleos hidrostáticos”) estes devem, para além de assegurarem a lubrificação de todas as peças móveis, permitir:

- transmitir a potência hidráulica em diferentes situações de pressão e escoamento;
- melhorar a estanquidade entre os vários elementos móveis do circuito;
- ajudar o arrefecimento do motor;
- remover todas as impurezas ou partículas existentes no circuito;
- proteger os órgãos da corrosão.

Relativamente às características destes óleos destacam-se as seguintes:

- apresentarem um elevado índice de viscosidade;
- apresentarem uma elevada resistência ao esmagamento;
- serem capazes de se separarem rapidamente do ar para que este não seja introduzido no circuito, o que provocaria danos nas juntas e mesmo nos metais;

- terem propriedades anticorrosivas, anti emulsão e anti espuma;
- terem um ponto de anilina conveniente, por forma a não danificar os materiais que integram o circuito, nomeadamente as juntas.

No que se refere à sua classificação existe uma classificação baseada na viscosidade, definida na norma ISO 3448, que prevê oito graus de viscosidade, expressos em mm^2/s , com uma variação de $\pm 10\%$, à temperatura de 40°C , designados por 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100 e 150.

Cada uma destas categorias apresenta sete classes de viscosidade, referenciadas pelos números 15, 22, 32, 46, 68, 100, 120 e 150, que se referem a uma dada gama de viscosidade cinemática, definida em $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ e determinada a 40°C . Estes números não têm uma ligação direta com as viscosidades SAE.

Quadro 10- Classificação dos óleos hidrostáticos conforme a viscosidade.

Classe	Viscosidade cinemática a 40°C . ($\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$)	
	Mínima	Máxima
15	13.5	16.5
22	19.8	24.2
32	28.8	35.2
46	41.4	50.6
68	61.2	74.8
100	90.0	110.0
150	135.0	165.0

Fonte: Bouhaged (1989)

Relativamente à classificação de serviço, indicada na norma francesa, NFE **48-603**, consta das seguintes categorias:

- óleos **HH** que são óleos minerais simples que se podem oxidar, acidificar e produzir depósitos que perturbam os circuitos;
- óleos **HL** que são óleos **HH** com características antioxidantes e anticorrosivas melhoradas, o que permite triplicar o tempo de utilização;
- óleos **HR**, que são do tipo **HL**, mas com um elevado índice de viscosidade;
- óleos **HM** que são óleos **HR** mas com aditivos anti-desgaste para resistir às pressões elevadas;
- óleos **HV** que são óleos **HM** a que se juntaram aditivos de viscosidade que permitem uma resistência do filme de óleo às altas temperaturas.

5.8- Óleos multifuncionais

Os óleos multifuncionais (universais) permitem a sua utilização nos motores, transmissões e sistemas hidráulicos.

As principais características destes óleos relacionam-se por um lado, com o grau de viscosidade, índice de viscosidade, propriedades anti oxidação, anti corrosão, etc., que são fáceis de obter, e por outro, com as propriedades de extrema pressão (EP) e viscosidade, que são mais difíceis de conciliar.

Estes óleos são geralmente óleos motor com um nível de qualidade Mil.L. 2104 C ou D, aos quais se juntam aditivos para satisfazer as exigências EP das transmissões mais correntes.

Quando, para além das três aplicações anteriores, os óleos podem também ser utilizados nos travões e embraiagens, designam-se por super-universais. Estes são óleos multigraduados com um elevado índice de viscosidade, correspondente ao óleo motor Mil. L. 2104 C e ao óleo para transmissões Mil. L. 2105 B, com propriedades detergentes, EP e fluidez hidráulica suficiente para garantir uma boa lubrificação.

Nos óleos utilizados nos travões e embraiagens o atrito dos elementos de fricção é controlado pela untuosidade do óleo, ou seja, pelo seu poder de aderência, que permite manter um filme muito delgado sobre uma superfície rugosa. Esta característica é obtida pela junção de aditivos anti derrapagem que melhoram a tensão superficial, aumentando o atrito das superfícies em movimento à medida que o seu escorregamento diminui.

6 - Massas lubrificantes

Existem certas necessidades de lubrificação para as quais o emprego de óleos não se torna adequado e tem de se recorrer a outros tipos de lubrificantes não fluídos, em que a consistência pode variar, conforme o fim em vista. As massa apresentam relativamente aos óleos as seguintes características:

- assegurarem a proteção dos mecanismos contra impurezas exteriores;
- aderem bem às superfícies metálicas sujeitas a atrito;
- resistem bem à humidade e chuva;
- asseguram uma boa resistência às temperaturas elevadas e altas pressões.

Massa lubrificante (ou massa consistente) é o produto resultante da dispersão de um agente espessante (gel) num lubrificante líquido, ficando com uma consistência de sólida a semifluida, podendo ainda conter outros ingredientes destinados a conferir-lhe propriedades especiais, nomeadamente aditivos antioxidantes, extrema-pressão e anticorrosivos; o lubrificante, que tem um baixo grau de viscosidade, representa cerca de 3/4 da massa lubrificante.

O espessante é normalmente um sabão de cálcio, sódio, lítio, bário ou alumínio; os sabões metálicos têm uma estrutura fibrosa, dada pela combinação de um ácido gordo de origem animal ou

vegetal, e de um sal metálico de cálcio, alumínio, sódio ou lítio. A natureza do metal dá à massa a sua estrutura e confere-lhe resistência ao calor, à pressão, à água e às vibrações; existem ainda massas cuja base não é um sabão, mas um composto químico que lhes confere características especiais.

Em função das suas propriedades, que condicionam as suas aplicações, as massas mais vulgarmente utilizadas são:

- **Massas cálcicas - Massas resistentes à água e a temperaturas médias** - as massas deste tipo trabalham satisfatoriamente até temperaturas de 75/80 °C, sendo especialmente recomendadas para lubrificação de chumaceiras lisas, bombas de água, chassis, etc.

- **Massas sódicas - Massas solúveis em água e resistentes a temperaturas elevadas** - as massas deste tipo resistem pouco à ação da lavagem pela água e suportam temperaturas de serviço até 110 °C. São indicadas para lubrificação de rolamentos em geral podendo também ser utilizadas em chumaceiras de casquilhos.

- **Massas à base de lítio - Massas resistentes à água e a elevada temperatura** - as massas deste tipo resistem à ação da lavagem pela água e suportam temperaturas de serviço até 130 °C. De entre as massas citadas são aquelas que menos variam com a temperatura, podendo igualmente trabalhar a temperaturas baixas (-20 °C). Têm inúmeras aplicações: rolamentos e chumaceiras de casquilhos, chassis, bombas de água, juntas universais, etc.

Relativamente à sua aplicação as massas podem ser consideradas como:

- massas para rolamentos, que apresentam bom poder lubrificante, são resistentes às cargas e têm ponto de gota elevado. O gel destas massas é um sabão à base de lítio para aumentar o ponto de gota e cálcio para aumentar o poder lubrificante; para rolamentos sujeitos a altas temperaturas utiliza-se um sabão de sódio que é contudo sensível à água;
- massas para cardans, que resistem à ação da água e à centrifugação. Estas massas são muito aderentes pois têm um sabão à base de alumínio;
- massas para quadros (chassis) e articulações, que são semelhantes às anteriores, mas incluem cálcio e lítio para resistir aos líquidos.

Entre as principais características das massas destacam-se:

- a consistência;
- ponto de gota;
- resistência à oxidação;
- propriedades anti-ferrugem;

6.1- Consistência

A consistência das massas lubrificantes expressa-se pela penetração de um cone numa amostra de massa, sob condições normalizadas e é medida em décimos de milímetro; as condições e equipamentos são definidos pela Sociedade Americana para as Provas sobre Materiais- ASTM.

Quanto maior for a profundidade de penetração, mais branda ou menos consistente é uma massa. Determina-se a penetração não trabalhada, isto é, de amostras de massa não sujeitas a tratamento mecânico prévio como a penetração trabalhada sob condições normalizadas. A classificação NLGI- National Lubricating Grease Institute, baseia-se na penetração trabalhada, isto é, quando a massa é submetida, antes do ensaio a 60 golpes em um aparelho padronizado.

O grau de consistência é uma característica que tem um significado apenas relativo quanto ao comportamento de uma massa em serviço; a consistência aumenta com o teor de sabão e diminui com a temperatura. Assim, massas de consistências muito diferentes podem dar resultados práticos muito semelhantes numa determinada chumaceira, enquanto que outras com consistências muito idênticas se podem comportar de forma muito diversa.

Quadro 11- Classificação das massas segundo a consistência

Grau NLGI	Penetração na massa	Designação da massa
000	445 - 475	muito fluída
00	400 - 430	fluída
0	355 - 385	semifluída
1	310 - 340	muito mole
2	265 - 295	mole
3	220 - 250	média
4	175 - 205	dura
5	130 - 160	muito dura
6	85 - 115	extra-dura

Fonte: Bouhaged (1989)

As massas geralmente utilizadas nos equipamentos agrícolas têm um grau NLGI de 1 - 2. Nos rolamentos de rolos e esferas utilizam-se massas com grau 2 e 3 à base de sabões de sódio ou lítio, para veios de transmissão (“cardans”) rastos e articulações de quadros (“chassis”), onde é necessário uma grande resistência à água e uma elevada adesão para contrariar a força centrífuga, massas 1 e 2, à base de sabão de lítio. Para engrenagens não contidas em cárter ou correntes, aconselha-se massas com graduações de 0 - 2, e para engrenagens contidas em cárter massas mais moles com graduações de 00 ou 0 e de preferência com características EP.

6.2- Ponto de gota

Ponto de gota é a temperatura a partir da qual as massas passam do estado pastoso a líquido e fluem através de um orifício debaixo de condições de ensaio normalizadas; quando a massa começa a escorrer o sabão deixa de poder reter o óleo lubrificante.

O ponto de gota é incorretamente olhado como a temperatura máxima a que uma massa pode ser utilizada. Não só o comportamento da massa a altas temperaturas depende de mais fatores, como deve entender-se que o ponto de gota está normalmente muito acima da temperatura máxima de serviço aceitável. São correntes massas com um ponto de gota de, por exemplo, 190 °C, com temperaturas máximas de utilização da ordem dos 110 °C.

6.3- Resistência à oxidação

A estabilidade química das massas lubrificantes (resistência à oxidação) é uma característica essencial para o seu bom comportamento, dado que elementos seus constituintes (ex. componentes gordos) têm tendência para se oxidarem, tanto mais quanto mais elevada for a temperatura a que ficar sujeita.

Ao oxidar-se a massa adquire por vezes um tom escuro e cheiro rançoso. Simultaneamente geram-se ácidos orgânicos que afetam a estrutura da massa.

6.4- Propriedades antiferrugem

É a capacidade de uma massa oferecer características de proteção à ferrugem e corrosão dos órgãos por ela lubrificados. Esta característica torna-se muito importante em todos os casos (ex. chumaceiras) sujeitos à ação da água ou quando se utiliza como meio de proteção à água.

7 - Aspectos particulares de lubrificação nos motores de combustão interna

O problema da lubrificação dos motores de explosão abrange um campo vastíssimo que não cabe no âmbito do nosso curso.

Vamos simplesmente referir-nos a alguns aspetos focados nas aulas com o intuito unicamente de esclarecer e exemplificar alguns princípios gerais atrás enunciados.

O motor de explosão é um dos tipos de máquinas de uso mais corrente, e de maior expansão. Apresenta variados problemas de lubrificação não só devido à forma resultante do seu funcionamento e conceção como pelas condições diversas em que os lubrificantes são chamados a desempenhar as suas funções.

7.1 - Condições de lubrificação

Todos os componentes animados de movimento de rotação, tais como moentes de apoio da cambota, os moentes das bielas ou das árvores de cames, trabalham em regime de lubrificação fluída. As cargas em cada um destes órgãos são variáveis e por consequência procura-se assegurar as boas condições de lubrificação não só pelo seu conveniente dimensionamento como pelo controle das pressões da ordem dos 3 a 6 Kgf/cm² nos moentes da cambota enquanto que, por exemplo, nos moentes da árvore de cames são suficientes pressões de 0,3 a 0,6 Kgf/cm².

A lubrificação entre os segmentos e as paredes dos cilindros é, por outro lado, muito provavelmente do tipo untuoso.

O lubrificante utilizado no motor de combustão está sujeito a condições de temperatura muito desfavoráveis quando exposto aos produtos de combustão e sujeito à ação catalítica dos metais, pela sua presença sob a forma de partículas resultantes do desgaste dos órgãos do motor.

Nos motores atuais e com exceção de pequenos motores a 2 tempos, é nomeadamente utilizado o sistema de lubrificação forçada em que a pressão no circuito de lubrificação é assegurada por uma bomba e o excesso de óleo nos moentes das bielas é projetado de encontro às paredes dos cilindros e parte inferior dos êmbolos. O óleo finamente pulverizado é lançado de encontro a superfícies metálicas que se encontram a elevada temperatura sendo simultaneamente exposto ao oxigénio do ar, nestas condições está sujeito à oxidação.

A oxidação é responsável pelo aumento de viscosidade e a formação de compostos ácidos que podem provocar a corrosão dos metais. Além disso provoca a formação de depósitos gomosos, fruto da floculação e sedimentação dos produtos de deterioração, que depositando-se nas caixas dos segmentos prejudicam a sua acção, podendo mesmo dar origem à colagem e obturação dos respetivos canais e aberturas. Uma oxidação acentuada vai provocar a formação de lamas que, por sua vez, podem obturar os canais de lubrificação ou colmatar os filtros; estes produtos de oxidação, facilmente carbonizáveis, contribuem para a formação de depósitos carbonosos na câmara de combustão, que dificultam a transmissão do calor e prejudicam a combustão, provocando fenómenos de pré-ignição.

Na maior parte dos motores verifica-se uma tendência maior ou menor para a passagem para o cárter de uma certa quantidade de combustível que se vai diluir no lubrificante alterando-lhe a viscosidade e arrastando outras impurezas. Este facto depende de vários fatores tais como a conceção mecânica do sistema de lubrificação, o estado do motor, riqueza de mistura, temperatura das paredes do cilindro, etc.

O regime de trabalho em curtos períodos de duração ou em condições de baixa temperatura favorecem extraordinariamente a contaminação do lubrificante.

A diluição progressiva, a oxidação e a acumulação dos detritos são os principais fatores que condicionam a necessidade de substituição dos óleos dos motores ao fim de determinados períodos de funcionamento.

7.2 - Características dos lubrificantes

Dado que a lubrificação é essencialmente do tipo fluído, é da maior importância a característica de viscosidade do lubrificante empregue. A tendência atual é a utilização de lubrificantes de mais baixa viscosidade por forma a reduzir o escorregamento interno do lubrificante.

A variação da temperatura de funcionamento, desde o arranque a frio até às temperaturas máximas atingidas, sobretudo em condições de sobrecarga, obriga a elevados índices de viscosidade. Neste campo os óleos "multigraduado" são uma contribuição notável, pois permitem uma amplitude de temperaturas muito maior com acentuada redução das variações de viscosidade.

Nos cilindros, além da redução das resistências de atrito e proteção contra o desgaste das superfícies é importante a contribuição dada pelo lubrificante para a estanquidade.

As características de untuosidade são aqui preponderantes, tanto mais quanto a existência da película de óleo nas superfícies expostas aos produtos de combustão protege o metal contra a ação corrosiva dos radicais ácidos existentes.

É de notar que a ação corrosiva destes radicais minerais ácidos é mais acentuada em presença da humidade condensável e daí tem maior perigo de corrosões quando da paragem e arranque do motor desde que pelas propriedades de adsorção do óleo não seja assegurada a permanência da película protetora.

O problema da contaminação ácida dos óleos motor atinge principal qualidade nos motores de ciclo Diesel que utilizam combustíveis com níveis de enxofre elevados (>0,5%), facto comum no nosso País.

A combustão do enxofre produz anidrido sulfuroso (SO_2) que por sua vez se transforma em anidrido sulfúrico (SO_3). As condensações internas do motor bem como a água libertada durante a combustão transformam o anidrido sulfúrico em ácido sulfúrico. Uma parte da corrosão provocada põe este ácido é atenuada quando o motor trabalha a temperaturas corretas uma vez que se diminui o risco da sua condensação.

O nível elevado de aditivos alcalinos (índice de basicidade total, T.B.N.) é indispensável para nestes casos se poder manter a periodicidade de mudança de óleo preconizada pelo construtor do motor, caso contrário esse período terá forçosamente que ser reduzido.

Os fenómenos de oxidação dão particular importância às características da resistência à oxidação nos óleos para motores de explosão. O conhecimento do mecanismo da oxidação permite melhorar as propriedades antioxidantes de um óleo por meio de aditivos atuando diretamente na fase inicial como inibidores ou ainda por ação retardadora nas fases mais adiantadas.

A par das propriedades de certos óleos de resistirem à oxidação, reforçados pela ação dos aditivos antioxidantes, os efeitos nocivos da oxidação são combatidos através da suspensão dos produtos de oxidação por meio da ação detergente natural ou imposta do óleo. A peptização dos compostos de oxidação contraria a formação de depósitos em zonas onde podem trazer graves inconvenientes, sendo mantidos em circulação sob a forma de suspensões coloidais. A ação detergente além de reduzir os efeitos nocivos dos produtos de oxidação dos óleos lubrificantes vai

contribuir para uma melhor ação dos aditivos antioxidantes. Atua também sobre os compostos resultantes da oxidação dos combustíveis e outros resíduos que dão também origem a inconvenientes de vária ordem como corrosões, desgastes, obturações de canais, etc..

Além da corrosão devida à ação de radicais ácidos minerais em presença de água, já referida, os ácidos orgânicos resultantes da oxidação do lubrificante tem grande afinidade, sobretudo às ligas dos casquilhos das chumaceiras. A presença de aditivos anticorrosivos assegura a formação de películas inibidoras, evitando a corrosão e simultaneamente impedindo a presença do metal em face do óleo, contribuindo portanto para a redução da oxidação, contrariando a possibilidade da ação catalítica dos metais.

8- Manutenção do sistema de lubrificação

Os cuidados de manutenção do circuito de lubrificação têm por objetivo assegurar, em quantidade suficiente, a circulação contínua de óleo ao nível de todos os órgãos mecânicos em movimento. É fundamental respeitar as indicações do construtor no que concerne à periodicidade de mudanças de óleo e tipo ou tipos a utilizar.

As regras gerais a observar são as seguintes:

- a verificação do nível de óleo, no cárter-motor, deve ser feito antes do início de cada dia de trabalho. O nível deve situar-se acima do traço "min" (mínimo) da vareta, não servindo de nada que se situe acima do traço "max" (máximo), sendo mesmo prejudicial que isso aconteça, uma vez que ocasiona dispersão excessiva de óleo, suscitando uma carbonização rápida no topo dos cilindros e nas válvulas;
- a mudança de óleo, todas as 100 a 150 horas aproximadamente, deve ser efetuada quando o motor está quente;
- o enchimento, com óleo novo de boa qualidade e de viscosidade apropriada, deve ser feito a partir de recipientes limpos a fim de não introduzir impurezas para o motor;
- a substituição do elemento filtrante ou do filtro monobloco deve ser assegurada em cada mudança de óleo (ou alternadamente); no primeiro caso as juntas do corpo do filtro devem ser substituídas desde que estejam em mau estado ou tenham perdido a sua elasticidade;
- verificação do estado do corpo do filtro, pois a sua deformação pode resultar da sobrepressão do óleo no seu interior, provocada por mau funcionamento da válvula de derivação ou de má regulação da válvula reguladora de pressão;
- remoção das impurezas depositadas nas paredes dos filtros centrífugos.

Depois da montagem, é conveniente colocar o motor em funcionamento durante alguns instantes, para verificar se existe alguma fuga ao nível do filtro. É igualmente conveniente verificar a pressão do óleo no manómetro ou, na falta deste, no avisador luminoso instalado no painel de instrumentos, para averiguar se os valores são os corretos, não existindo obstruções nas

canalizações (pressão excessiva) ou inversamente fuga grave (pressão baixa). Se a perda de carga verificada durante a passagem do óleo no filtro é baixa a um regime moderado mas alta a um regime elevado o filtro deve encontrar-se parcialmente obstruído; se a pressão diminui cerca de 1 bar estabilizando-se depois, possivelmente a válvula de derivação encontra-se aberta como resultado da obstrução do elemento filtrante; se a pressão diminui bruscamente estabilizando-se depois na pressão normal é provável que o elemento filtrante esteja danificado.

Relativamente à obstrução dos filtros esta pode ter várias origens, das quais se destacam:

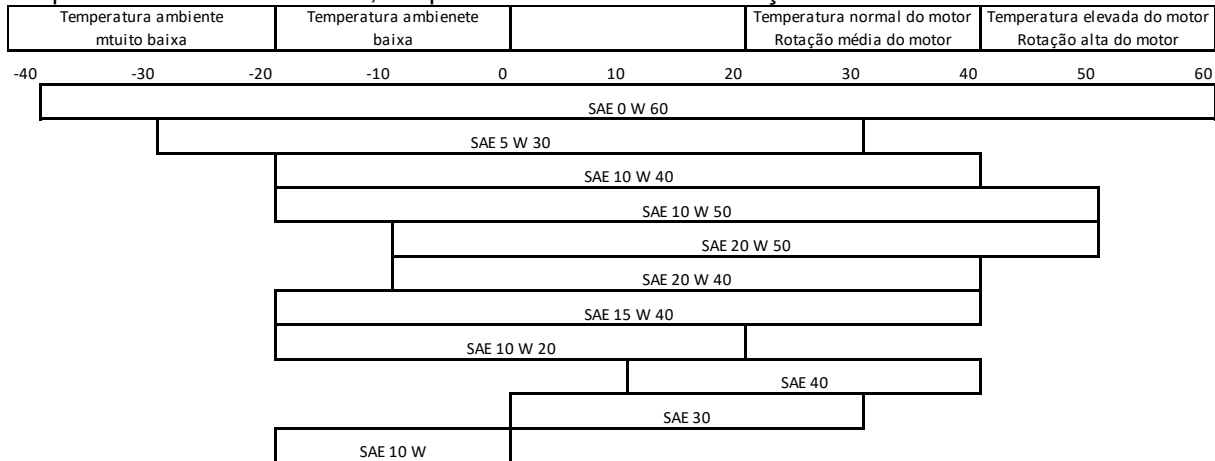
- a presença de água no circuito que, misturando-se com o óleo, faz com que os aditivos se depositem formando partículas que são retidas no filtro;
- segmentos em mau estado que deixam passar os gases da combustão que, misturados com o óleo, formam uma calda espessa que obstrui os filtros;
- insuficiente filtragem do ar que favorece a penetração de impurezas que, retidas nos filtros, funcionam como abrasivos.

Para aumentar o número de horas de utilização de um óleo devem ser feitas análises físico-químicas intermédias, ou seja, antes e depois dos períodos indicados pelos fabricantes. Estas análises, efetuadas por laboratórios especializados, permitem detetar certos elementos químicos que testemunham a presença de impurezas ou de resíduos de material de desgaste dos órgãos sensíveis do motor, podendo-se diagnosticar assim os seguintes aspetos:

- o estado dos lubrificantes, que permite otimizar o espaço entre as mudanças de óleo;
- o grau de desgaste dos órgãos dos elementos sujeitos a atrito.

Relativamente à análise do estado dos lubrificantes é possível detetar vários elementos minerais de origem externa como, por exemplo, o silício proveniente das poeiras atmosféricas, o carbono resultante da combustão incompleta do combustível, e o sódio, potássio e boro provenientes da água do sistema de refrigeração, e outros de origem interna como, por exemplo, o ferro resultante do desgaste das camisas dos cilindros, árvore de cames, etc., o alumínio do desgaste dos elementos fabricados com este material, o crómio proveniente das camisas e segmentos, e o estanho, cobre e chumbo das ligas utilizadas no fabrico dos casquilhos. A concentração excessiva destes elementos pode obstruir as condutas de óleo, gripando o motor, pelo que é fundamental proceder à sua substituição; as análises mencionadas devem também ser efetuadas nos óleos das transmissões mecânicas e hidráulicas onde o elemento que geralmente aparece em maior quantidade é o ferro resultante do desgaste do material.

Anexo 1- Utilização dos óleos, em função da sua viscosidade, em diferentes situações de temperatura do meio ambiente, temperatura do motor e sua rotação.



Fonte: Delfim Machado (2002)

Anexo 2- Classificação API e ACEA

APLICAÇÃO	API	ACEA	QUALIDADE
Motores a gasolina	SF	A1	Muito fraca
	SG		Muito fraca
	SH	A2	Fraca
	SI		Mediana
	SJ	A3	Boa
	SL	A4	Muito Boa
	SM	A5	Excelente
	SN		
Motores a Diesel (veículos ligeiros)	CC	B1	Fraca
	CD	B3	Mediana
	CE	B4	Muito Boa
	CF	B5	Excelente
Motores a Diesel (veículos pesados)	CG	E4	Fraca
	CH	E6	Mediana
	CI	E7	Muito boa
	CJ	E9	Excelente

Fonte: Delfim Machado (2002)

Bibliografia

- BP (1992). La lubrification des tracteurs et des machines automotrices **157**: 1-27. Pontoise. BP.
- Bouhaged, A. (1989). Produits de graissage et de protection. Antony. CEMAGREF.
- Briosa, F. (1984). Glossário ilustrado de mecanização agrícola. Sintra. Galucho.
- Cedra, C. (1991). Les tracteurs agricoles. Volume 2. Dicova. CEMAGREF.
- Cedra, C.; Gauthier, D. (1990). Les moteurs diesel. Dicova. CAMAGREF.
- CEMAGREF (1986). Les tracteurs agricoles. Technologies de l'agriculture. Dicova. CEMAGREF.
- CNEEMA - Livre du maitre. (1978). Tracteurs et machines agricoles. Antony. CNEEMA.
- CNEEMA Livre du maitre. (1976). Tracteurs et machines agricoles. Antony. CNEEMA.
- Selfim Machado (2012). Introdução à Mecânica Agrícola. Mirandela.
- Deterre, D. (1984). Le circuit de lubrification des moteurs Diesel. Tracteurs et Machines Agricoles **820**: 39-46. CEMAGREF.
- Deterre, D. (1984). Les filtres à huile. Tracteurs et Machines Agricoles **822**: 35-40. CEMAGREF.
- GALP (1986). Recomendações de lubrificantes. Lisboa. GALP.
- Gauthier, D.; Cedra, C.; Bazin, M.; Louis, D. (1989). Les moteurs à essence. Dicova. CEMAGREF.
- Lecocq, J. (1991). La sécurité dans l'acroissement de la périodicité des vidanges de moteurs par l'analyse de l'huile. Perspectives agricoles **164**: 78-81
- Mobil (1971). Fundamentos de lubrificação. Lisboa. Mobil.
- Mobil (1978). Sistemas hidráulicos de máquinas industriais. Lisboa. Mobil.
- Mobil (1980). Lubrificação e manutenção preventiva de motores Diesel. Lisboa. Mobil.
- Shell (1956). Introdução ao estudo da lubrificação. Lisboa. Shell Portuguesa.