

**MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA  
APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DE MÁQUINAS  
(APMA.2/2016)**

**RICARDO ZELTZER DE ARAUJO**

**ANÁLISE E CONTROLE DA QUALIDADE DE LUBRIFICANTES MARÍTIMOS**

**RIO DE JANEIRO  
2016**

**RICARDO ZELTZER DE ARAUJO**

**ANÁLISE E CONTROLE DA QUALIDADE DE LUBRIFICANTES MARÍTIMOS**

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

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto.

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**RICARDO ZELTZER DE ARAUJO**

**ANÁLISE E CONTROLE DA QUALIDADE DE LUBRIFICANTES MARÍTIMOS**

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

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

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto.

---

Assinatura do Orientador

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

## RESUMO

Lubrificação de maneira geral, quer dizer menos esforço, menor atrito, menos desgaste, enfim, diminuição no consumo de energia e para isso, utilizamos o óleo lubrificante. Quando um lubrificante é introduzido entre as superfícies que estão em movimento relativo, o atrito que anteriormente era atrito sólido passa a ser atrito fluido, e nestas condições o desgaste das superfícies será bastante reduzido. Se a substância lubrificante for selecionada corretamente, além dessa redução do atrito, outros objetivos são alcançados com a lubrificação, por exemplo, menor dissipação de energia na forma de calor, redução da temperatura do sistema, redução da corrosão, redução de desgaste, vibrações e ruídos. Além dos conhecimentos básicos sobre lubrificantes, devemos levar em consideração o estudo preditivo baseado na engenharia de confiabilidade, onde através de análises periódicas podemos analisar o correto funcionamento de determinada máquina.

**Palavras-chave:** Lubrificação. Análises periódicas. Confiabilidade.

## **ABSTRACT**

Lubrication generally means less effort, less friction, less wear and short reduction in energy consumption, and for this, we use the lubricating oil. When we introduce a lubricant between the surfaces that are in relative motion, friction that was previously solid friction becomes fluid friction, and in these conditions, the wear surfaces will be greatly reduced. If the lubricating substance is properly selected, in addition to this reduced friction, other objectives are achieved by lubrication, for example, lower power dissipation as heat, reduction of the system temperature, reduction of corrosion, wear reduction, vibrations and noise. In addition to the basic knowledge about lubricants, we must take into account the predictive study based on reliability engineering, where through periodic inspections, we can analyze the proper operation of a particular machine.

**Keywords:** Lubrication. Periodic inspections. Reliability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Película lubrificante	9
Figura 2:	Índice de viscosidade	14
Figura 3:	Componentes principais sujeitos a desgaste	22
Figura 4:	Curva da Banheira	26
Figura 5:	Videoscopia / Boroscopia	28
Figura 6:	Contaminação do óleo com água	31
Figura 7:	Origem da fuligem	32
Figura 8:	Desgaste por falta de lubrificação	35
Figura 9:	Ferrografia	36
Figura 10:	Espectrometria de absorção atômica	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>LUBRIFICANTES</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Noções sobre lubrificação</b>	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Tipos de lubrificantes</b>	<b>10</b>
2.2.1	Óleos básicos	10
2.2.2	Apresentação dos lubrificantes	11
<b>2.3</b>	<b>Viscosidade</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Índice de viscosidade</b>	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>Propriedades dos lubrificantes</b>	<b>14</b>
2.5.1	Ponto de fulgor e ponto de inflamação (combustão)	15
2.5.2	Ponto de fluidez e de névoa	15
2.5.3	Demulsibilidade	15
2.5.4	Ponto de gota	16
<b>2.6</b>	<b>Aditivos</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>CONTROLE DA QUALIDADE DE LUBRIFICANTES MARÍTIMOS E ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Ponto de vista inicial</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Componentes e parâmetros de monitoramento</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Engenharia de confiabilidade do sistema</b>	<b>24</b>
3.3.1	Manutenção preditiva	25
3.3.2	Curva da banheira, tipos de falha e estratégia de manutenção	25
3.3.3	Manutenção preditiva x manutenção corretiva	27
3.3.4	Aplicação da ação preditiva	28
<b>4</b>	<b>MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DO EQUIPAMENTO ATRAVÉS DE ANÁLISE</b>	<b>29</b>

<b>4.1</b>	<b>Análises físico-químicas</b>	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise morfológica de partículas contaminantes e de desgaste</b>	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Amostragem</b>	<b>37</b>
<b>4.4</b>	<b>Laboratório X melhoria contínua</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>41</b>
	<b>ANEXO 1 - TABELA DE REFERÊNCIA DE ÓLEOS</b>	<b>42</b>
	<b>LUBRIFICANTES MINERAIS INDUSTRIAIS</b>	



## 1 INTRODUÇÃO

A lubrificação adequada e monitorada permanentemente é uma das principais responsáveis pela longa vida útil de uma máquina, motor ou equipamento. Qualquer lubrificante independente de seu modelo ou fabricante, sofre inúmeras contaminações durante o uso que o colocam fora de condições técnicas de lubrificar adequadamente, expondo os componentes mecânicos a elevados níveis de desgastes prematuros e altos riscos de quebra.

É evidente que não é possível eliminar de forma radical todas as contaminações as quais o óleo lubrificante em uso está sujeito, mas é possível manter tais contaminações altamente nocivas em determinados limites, possibilitando ao óleo em uso oferecer uma lubrificação adequada e segura. Para isso, é indispensável estabelecer e implantar um programa de análises de óleo lubrificantes, pois para manter o óleo em uso dentro dos padrões técnicos aceitáveis de uma boa lubrificação é necessário monitorá-lo frequentemente através da análise de suas características físico-químicas e de seus contaminantes.

A exigência dos clientes tem aumentado com o aparecimento de novas tecnologias, modernização de equipamentos e automação de sistemas produtivos. Um desempenho eficaz dos novos processos produtivos depende de sistemas de gestão de equipamentos mais complexos. A indisponibilidade de equipamentos e sistemas pode afetar a capacidade produtiva, aumentando custos e interferindo na qualidade do produto. Falhas podem acarretar comprometimentos significativos para a imagem institucional das empresas, principalmente se incluírem aspectos de segurança pessoal, patrimonial e de meio ambiente. Neste novo contexto produtivo, tem crescido a importância estratégica da manutenção preditiva baseada em análises através da engenharia de confiabilidade.

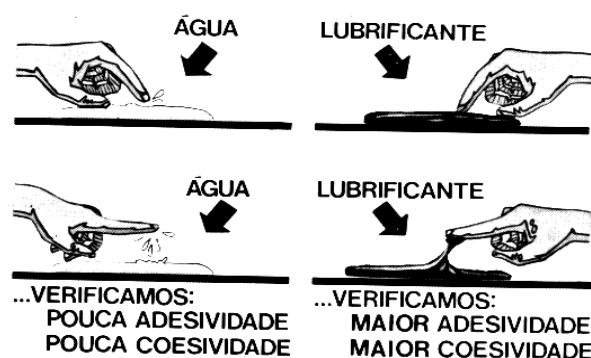
## 2 LUBRIFICANTES

### 2.1 Noções sobre lubrificação

O assunto "LUBRIFICAÇÃO" tem sido ao longo dos anos, um tema polêmico. As razões para tal são inúmeras: desde o desconhecimento por parte de especialistas em operação e manutenção sobre as novas tecnologias de elaboração e utilização dos lubrificantes até a razão considerada principal, que é a falta de profissionais capacitados em entender e absorver essas novas tecnologias.

Lubrificação em si, quer dizer menos esforço, menor atrito, menos desgaste, enfim, diminuição no consumo de energia. Para isso, utilizamos o óleo lubrificante. Como dito anteriormente, quando se introduz um lubrificante entre as superfícies que estão em movimento relativo, o atrito que era atrito sólido passa a ser atrito fluido, ou seja, ao invés de ser sólido-sólido, será sólido-fluido, reduzindo bastante o desgaste das superfícies em tais condições. Se a substância lubrificante for selecionada corretamente, além dessa redução do atrito, outros objetivos são alcançados com a lubrificação, por exemplo, menor dissipação de energia na forma de calor que pode deformar as peças, redução da temperatura da máquina em questão, redução da corrosão, redução de desgaste das peças envolvidas, vibrações e ruídos.

Figura 1: Película lubrificante



Fonte: Mecânica – SENAI.

#### - Película Lubrificante

Para que se tenha formação de película lubrificante, é necessário que o lubrificante apresente adesividade, para aderir às superfícies e ser arrastado por elas durante o movimento, e coesividade para que não haja rompimento da película.

A propriedade que reúne a adesividade e a coesividade de um fluido é denominada oleosidade. Na figura de exemplo, vemos que a água não é um bom lubrificante; sua adesividade e coesividade são muito menores que as de um óleo, então ela se desloca do local a ser protegido, não cumprindo a função de lubrificar os pontos de contato.

## **2.2 Tipos de lubrificantes**

### **2.2.1 Óleos básicos**

Os lubrificantes são compostos por óleos básicos somados a aditivos, e em sua classificação a diferença está no processo de obtenção dos óleos básicos, que será determinante para classificá-lo como de base mineral ou de base sintética. Os óleos básicos minerais podem ser, aromáticos, parafínicos ou naftênicos:

#### **- Básicos aromáticos**

São aplicados como matéria-prima na produção de graxas, óleos brancos, vaselinas, emulsões para as indústrias de papéis, madeira e beneficiamento de fibras vegetais.

#### **- Básicos parafínicos**

Este tipo de óleo é utilizado principalmente na elaboração de lubrificantes automotivos, por apresentar um melhor comportamento da viscosidade frente a variações de temperatura. Eles servem de base também para a fabricação de lubrificantes marítimos, ferroviários, óleos industriais, graxas lubrificantes e produtos farmacêuticos, como o óleo mineral.

#### **- Básicos naftênicos**

Os óleos básicos naftênicos são utilizados na fabricação de óleos isolantes para transformadores, graxas lubrificantes, fluidos de corte, óleos para

compressores e óleos para amortecedores, podendo também ser utilizados como plastificantes de borracha.

### 2.2.2 Apresentação dos lubrificantes

Podem ser apresentados como lubrificantes sólidos, gasosos, pastosos ou líquidos. O emprego de lubrificantes sólidos tem a finalidade de substituir a película fluida por uma película sólida e entre os minerais mais usados destacam-se a grafite e o bissulfeto de molibdênio. De modo geral, estes sólidos apresentam boa propriedade de untuosidade e são capazes de resistir a elevadas temperaturas e pressões.

Os gasosos são usados em casos especiais, em lugares onde não são possíveis as aplicações dos lubrificantes convencionais, onde são então utilizados como lubrificantes o ar seco, nitrogênio e os gases halogenados. Este tipo de lubrificação é restrito, devido as elevadas pressões requeridas para manter o lubrificante entre as superfícies além de problemas de vedação.

Os lubrificantes pastosos, comumente chamados de graxas, são empregados onde os lubrificantes líquidos não executam uma função satisfatória. As graxas podem ser subdivididas em graxas sabão metálico, graxas sintéticas, graxas a base de argila, graxas betuminosas e graxas para processo, apresentando melhores propriedades de retenção por possuírem alta afinidade com as superfícies metálicas. Elas são empregadas em equipamentos expostos à atmosferas poluídas ou úmidas durante um longo período de tempo, evitando assim a necessidade de ficar repondo o lubrificante líquido.

Já os líquidos são em geral preferidos como lubrificantes porque eles penetram entre partes móveis pela ação hidráulica, e além de manterem as superfícies separadas atuam também como agentes removedores de calor. Os lubrificantes do tipo líquido são subdivididos da seguinte maneira:

#### **- Óleos Mineirais**

São provenientes de petróleo cru de composição muito variada, mas formados por grande número de hidrocarbonetos (compostos de hidrogênio e

carbono) pertencentes a três classes principais: parafínicos, naftênicos e aromáticos. Eles passam por diferentes tratamentos, tais como destilação fracionada, remoção de asfalto, refinação de ácido e refinação por solvente.

### **- Óleos sintéticos**

Os óleos sintéticos são obtidos por reação química, havendo assim maior controle em sua fabricação, permitindo a obtenção de vários tipos de cadeias moleculares, com diferentes características físico-químicas, e por isso são produtos mais puros e geralmente mais caros, sendo produzidos em indústrias petroquímicas que utilizam substâncias orgânicas e inorgânicas para fabricá-los. Estas substâncias podem ser silicones, diésteres, resinas, glicerinas, polímeros, e outras. Os lubrificantes sintéticos possuem vida útil mais longa, normalmente o dobro dos lubrificantes minerais, porém seu custo é mais elevado e devido a isso seu emprego é limitado para funções específicas onde os óleos convencionais mais baratos não podem ser utilizados.

### **- Óleos semi-sintéticos**

Os óleos semi-sintéticos ou de base sintética, empregam mistura em proporções variáveis de básicos minerais e sintéticos, buscando reunir as melhores propriedades de cada tipo, associando a otimização de custo, uma vez que as matérias-primas sintéticas possuem custo muito elevado. Logo, ao se optar por um óleo semi-sintético deve-se levar em consideração seu custo-benefício.

### **- Óleos graxos**

Podem ser de origem animal ou vegetal. Estes óleos foram os primeiros a serem adotado pelo homem. Conforme o desenvolvimento industrial e o aperfeiçoamento da maquinaria houve a necessidade de substituir os óleos graxos pelos óleos minerais, devido algumas desvantagens, sendo a principal desvantagem dos óleos graxos está em sua pequena resistência a oxidação, rancificando-se facilmente e formando gomosidade. Os óleos vegetais normalmente utilizados são: óleo de rícino, óleo de coco, óleo de oliva, óleo de semente de algodão, e nos óleos

de origem animal, podemos citar óleo de baleia, óleo de foca, óleo de peixe, óleo de mocotó, óleo de banha (banha de porco).

### **- Óleos mistos**

São misturas de óleos graxos com óleos minerais. A percentagem de óleo graxo é pequena, normalmente 30%, variando de acordo com a finalidade do óleo. Os óleos graxos conferem aos óleos minerais propriedades de emulsibilidade, oleosidade e extrema pressão.

## **2.3 Viscosidade**

Uma das propriedades mais importantes e determinantes dos lubrificantes, a viscosidade é a propriedade física que caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento. Em outras palavras, é a propriedade associada à resistência que um fluido oferece à deformação por cisalhamento, tipo de tensão gerado por forças aplicadas em sentidos opostos, porém, em direções semelhantes no material analisado.

Basicamente, a viscosidade é importante para prevenir o desgaste de superfícies conjugadas, mantendo-as separadas, para minimizar o atrito entre superfícies de contato e também remover o calor através do contato de lubrificação. Pode-se dizer que a viscosidade corresponde ao atrito interno nos fluidos devido às interações intermoleculares, sendo geralmente em função da temperatura. É comum sua percepção estar relacionada à “grossura”, ou resistência ao despejamento, sendo a passagem por um funil graduado em relação a quantidade x tempo decorrido, uma de suas possíveis classificações. A viscosidade descreve a resistência interna do material para fluir e deve ser entendida como a medida do atrito do fluido, desta forma, quando se diz “a água é fina”, significa que esta possui uma baixa viscosidade, enquanto para o óleo vegetal, ao se dizer que é “grosso”, significa uma alta viscosidade.

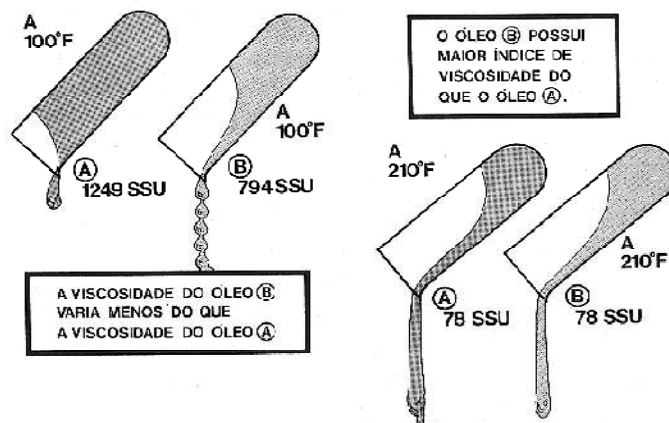
Deve-se notar também, que a viscosidade dos fluidos cresce conforme se aumenta à pressão. A relação entre viscosidade e pressão depende da concentração de componentes parafínicos, naftênicos e aromáticos, mas não pode ser generalizada tão precisamente como a relação viscosidade-temperatura.

A unidade de medida da viscosidade mais utilizada é o centistokes (cSt), onde 1 Stokes = 1 cm<sup>2</sup>/segundo, logo 1 cSt = 1 mm<sup>2</sup>/segundo.

## 2.4 Índice de viscosidade

Índice de viscosidade é um valor numérico que indica a variação da viscosidade em relação à variação da temperatura. Alguns líquidos tendem a ter sua viscosidade reduzida quando aquecidos, e aumentada quando são resfriados, e quanto maior o índice de viscosidade menor será a variação da viscosidade com a temperatura. Por exemplo, se dois óleos, a uma determinada temperatura, possuírem a mesma viscosidade, quando resfriados ficará mais espesso aquele que possuir menor índice de viscosidade.

Figura 2: Índice de viscosidade



Fonte: Mecânica – SENAI.

## 2.5 Propriedades dos lubrificantes

Para se atingirem as características desejadas em um óleo lubrificante, realizam-se análises físico-químicas que permitem fazer uma pré-avaliação de seu desempenho, mas parte destas análises não refletem as condições encontradas na prática, sendo métodos empíricos que fornecem resultados comparativos de grande

valia quando associado aos métodos científicos desenvolvidos em laboratórios, podendo ser destacados os métodos:

#### 2.5.1 Ponto de fulgor e ponto de inflamação (combustão)

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

Ponto de inflamação ou de combustão é a temperatura na qual o óleo, aquecido no mesmo aparelho, inflama-se em toda a superfície por mais de 5 segundos ao contato de uma chama, e na média o ponto de inflamação encontra-se mais ou menos 10°C acima do ponto de fulgor.

#### 2.5.2 Ponto de fluidez e de névoa

Quando resfriamos um subproduto do petróleo suficientemente, este deixa de fluir mesmo sob a ação da gravidade, devido a cristalização das parafinas ou o aumento da viscosidade (congelamento). O ponto de fluidez é a menor temperatura, expressa em múltiplos de 3°C, na qual a amostra ainda flui quando resfriada e observada em determinadas condições, nos dando uma ideia de quanto determinado óleo lubrificante pode ser resfriado sem perigo de deixar de fluir.

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

#### 2.5.3 Demulsibilidade

Demulsibilidade é a capacidade que possuem os óleos de se separarem da água, como por exemplo o IPITUR HST da Ipiranga, que possui um grande poder



demulsificante, ou seja, separa-se rapidamente da água, não formando emulsões estáveis. A emulsibilidade é de grande importância na lubrificação de equipamentos, como turbinas hidráulicas e a vapor, onde os lubrificantes podem entrar em contato com a água ou vapor durante sua operação.

No anexo 1, está a tabela de equivalência dos lubrificantes para que seja feita pesquisa de fabricantes diversos com lubrificantes para o mesmo objetivo.

#### 2.5.4 Ponto de gota

O ponto de gota de uma graxa é a temperatura em que se inicia a mudança do estado pastoso para o estado líquido (primeira gota), o qual varia de acordo com o sabão metálico empregado, as matérias-primas usadas e com o método de fabricação e na prática, usa-se limitar a temperatura máxima de trabalho em 20 a 30°C abaixo do ponto de gota das graxas. As graxas de argila não possuem ponto de gota podendo assim ser usadas a elevadas temperaturas.

## 2.6 Aditivos

Devido ao constante aperfeiçoamento das máquinas, tornou-se necessário melhorar ou acrescentar qualidades aos óleos minerais puros, com substâncias genericamente chamadas de aditivos, e existem diversos tipos de aditivos que possuem a mesma finalidade. A escolha de um deles depende da susceptibilidade e a compatibilidade do óleo básico para com o aditivo e destes entre si.

A presença de aditivos em lubrificantes tem os seguintes objetivos: melhorar as características de proteção contra o desgaste e de atuação em trabalhos sob condições de pressões severas, aumentar a resistência à oxidação e corrosão, aumentar a atividade dispersante e detergente dos lubrificantes, aumentar a adesividade, aumentar o índice de viscosidade, etc. Como cada companhia usa aditivos diferentes, não é aconselhável misturarem-se óleos de marcas ou tipos diferentes, principalmente quando se tratar de óleos para engrenagens, onde ocorrem grandes esforços mecânicos. Entre os diversos tipos de aditivos, temos os seguintes:

### - Detergente-Dispersante

Este aditivo é normalmente utilizado para formulação de óleos de motores de combustão interna, tem a função de limpar as partes internas dos motores e manter em suspensão, finamente dispersos, a fuligem formada na queima do combustível e os produtos de oxidação do óleo.

Quando o lubrificante não possui aditivo detergente-dispersante, os resíduos se agrupam e precipitam, formando depósitos. Nos óleos que contêm detergente-dispersante, o aditivo envolve cada partícula de resíduo com uma camada protetora, que evita o agrupamento com outros resíduos e, conseqüentemente, a sua precipitação. É observado um rápido escurecimento do óleo, que ainda é mal-entendido por alguns mecânicos e usuários, que acreditam que o lubrificante se deteriora rapidamente, mas esse escurecimento significa que as partículas que iriam formar borras, lacas e vernizes estão sendo mantidas em suspensão e serão drenadas junto com o óleo. A quantidade de material disperso depende da quantidade e do tipo dos aditivos, significando que após determinados períodos de uso os aditivos saturam-se e os óleos necessitam ser drenados para não ocorrer a formação de depósitos. As maiores partículas encontradas em suspensão no óleo mediram 1,5 micra, enquanto que a menor folga entre peças é de 2 micra, sendo então incapazes de obstruir as folgas ou de promover o desgaste abrasivo.

#### **- Antioxidante**

É normalmente utilizado em motores de combustão interna, turbinas, compressores, motores elétricos, fusos, sistemas hidráulicos, sistemas de circulação de óleo etc. Um óleo, simplesmente exposto ao ar, tende a oxidar-se devido à presença de oxigênio; esta oxidação se processa lenta ou rapidamente, conforme a natureza do óleo.

Óleos em serviços estão mais sujeitos à oxidação, devido a vários fatores: contaminação, calor, hidrocarbonetos oxidados, que podem formar compostos ácidos. O aditivo antioxidante combate a oxidação do óleo lubrificante da seguinte maneira:

- 1) O oxigênio é neutralizado com o aditivo antioxidante, formando compostos inofensivos: Antioxidante + Oxigênio → compostos inofensivos.
- 2) Os compostos ácidos formados reagem com os aditivos, formando compostos inofensivos: Compostos ácidos + antioxidante → compostos inofensivos.

**- Anticorrosivo**

Usados para motores de combustão interna, turbinas, compressores, motores elétricos, fusos, sistemas hidráulicos, sistemas de circulação de óleo, etc.

Os anticorrosivos têm por finalidade a neutralização dos ácidos orgânicos, formados pela oxidação do óleo, dos ácidos inorgânicos, no caso de lubrificantes de motores, e proteger as partes metálicas da corrosão, já que no funcionamento dos motores são formados ácidos sulfúrico e nítrico, devido à presença de enxofre e nitrogênio nos combustíveis, que são altamente corrosivos.

**- Antiferrugem**

Normalmente usados para formular óleos protetivos, óleo para turbinas, sistemas hidráulicos, compressores, motores de combustão interna, sistemas de circulação de óleo etc.

Semelhante ao anticorrosivo, este aditivo tem a finalidade de evitar a corrosão dos metais ferrosos pela ação da água ou umidade, envolvendo as partes metálicas com uma película protetora, impedindo o contato entre a água e as superfícies ferrosas, lembrando que a presença de sais na água acelera consideravelmente a ferrugem.

**- Antiespumante**

Utilizados para óleo de máquinas e motores em geral na prevenção de formação de espuma devido à agitação do óleo. Quando a bomba de óleo alimenta as partes a serem lubrificadas com uma mistura óleo-ar, dá-se o rompimento da película de óleo, ocorre contato metal com metal e o conseqüente desgaste. O aditivo antiespumante tem a função de agrupar as pequenas bolhas de ar existentes no seio do óleo formando bolhas maiores, que conseguem subir à superfície onde se desfazem, evitando assim formação excessiva de espuma.

**- Agente de Extrema Pressão (EP)**

Aplicado para óleos para transmissões automotivas, óleos para mancais ou engrenagens industriais que trabalham com excesso de carga e óleos de corte.

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

reage com as superfícies metálicas, formando uma película lubrificante que reduzirá o desgaste. Quase todos os aditivos de extrema pressão são compostos químicos que contêm enxofre, fósforo, cloro e chumbo.

#### **- Antidesgaste**

Usado para motores de combustão interna, sistemas hidráulicos, etc., estes aditivos são semelhantes aos de extrema pressão, mas têm ação mais branda. Seus principais elementos são o zinco e o fósforo.

São adicionados com a finalidade de reduzir o atrito metálico que provoca o escoamento plástico, escoriação e grimpamento das superfícies metálicas, atuando por reação química com uma superfície de metal, formando uma película. Sua aplicação é limitada por temperaturas em torno de 200° C.

#### **- Abaixadores do Ponto de Fluidez**

Podem ser empregados nos óleos de máquinas e motores que operem com o óleo em baixas temperaturas, tendo por composições típicas: Polimetacrilatos, Poliacrilamidas, Naftalenos Alquilados. Este aditivo tem a função de envolver os cristais de parafina que se formam a baixas temperaturas evitando que eles aumentem e se agrupem, o que impediria a circulação do óleo.

#### **- Melhoradores do Índice de Viscosidade**

A função destes aditivos é reduzir a variação da viscosidade dos óleos com o aumento da temperatura. Devido à manutenção de uma viscosidade menor variável, o consumo de lubrificante é reduzido e as partidas do motor em climas frios tornam-se mais fáceis. O mecanismo dos aditivos aumentadores do índice de viscosidade é o seguinte:

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

Uma característica padrão dos óleos lubrificantes modernos é variar a sua viscosidade em função da temperatura permitindo que o mesmo óleo possa ser usado sempre e durante todo o ano. O óleo multiviscoso fica fino em baixas temperaturas, facilitando dar a partida no motor ou máquina, enquanto em altas temperaturas o óleo fica mais viscoso (mais grosso), capaz de lubrificar e manter um filme protetor entre as partes móveis. O “segredo” é a utilização de aditivos à base de polímeros especialmente sintetizados para exercerem esta função.

Além dos aditivos citados, existem outros, como os emulsificantes (óleos de corte solúveis, óleos para amaciamento de fibras têxteis, óleos para ferramentas pneumáticas etc.), os de adesividade (óleos para máquinas têxteis etc.), grafite (óleos de moldagem etc.). Existem alguns aditivos que englobam diversas funções como dispersantes, antioxidantes, anticorrosivos e antidesgaste: são os chamados multifuncionais. É altamente desaconselhável a adição de novos aditivos a um óleo já aditivado, e sobre este assunto muitos fabricantes de máquinas e motores vêm se manifestando, distribuindo circulares a seus usuários e representantes, desaconselhando o uso de tais produtos. Um óleo formulado para determinado fim tem todos os aditivos necessários para desempenhar sua função, não necessitando de novos aditivos, que não se sabe como reagirão quimicamente com os já existentes.

### **3 CONTROLE DA QUALIDADE DE LUBRIFICANTES MARÍTIMOS E ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE**

Atualmente, devido ao grande aumento da exploração e produção de petróleo no Brasil, se torna cada vez mais notória a necessidade de elevada disponibilidade e confiabilidade das máquinas e equipamentos envolvidos neste processo, desde as unidades de perfuração e produção, responsáveis pela extração do petróleo das camadas do pré-sal e pós-sal em nosso subsolo marinho até os equipamentos de suporte para as mesmas, e ainda das embarcações de apoio para estas plataformas, sem os quais as operações de extração não seriam possíveis. Perante a importância destes equipamentos para o processo, as grandes empresas que atuam neste segmento utilizam elevada tecnologia no que diz respeito à manutenção preventiva sistemática e preditiva, sendo o monitoramento dos equipamentos através da análise do lubrificante uma das principais ferramentas de manutenção preditiva em utilização hoje em dia, podendo ser associada a outras técnicas, tais como Videoscopia, Inspeção Sensitiva, entre outras.

Especialmente na última década, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos em âmbito global e nos mais variados segmentos, principalmente na indústria do petróleo e gás, todos com o objetivo de aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos motores de combustão interna e diversas máquinas auxiliares lubrificadas, utilizando como ferramentas principais os dados de manutenção dos equipamentos e os conceitos de engenharia de confiabilidade.

Considerando este cenário, vamos mostrar o atual conceito da análise de confiabilidade dos motores de combustão interna de uma embarcação qualquer e suas máquinas auxiliares, dentro de uma determinada empresa do ramo, utilizando os resultados das análises dos lubrificantes em operação nos referidos equipamentos, de modo a determinar o comportamento dos níveis de desgaste em

função do tempo de operação. Para tal estudo, serão utilizados conceitos de manutenção preditiva, baseadas nos resultados dos níveis de metais encontrados nos lubrificantes operantes nos motores através de diversos ensaios e técnicas que serão comentadas mais à frente, que são amplamente utilizadas por empresas que prestam serviços de análise dos lubrificantes usados.

### 3.2 Componentes e parâmetros de monitoramento

Usando como exemplo para nossa análise os motores de combustão interna, tanto os marítimos quanto os de veículos comerciais ou fora de estrada apresentam algumas características particulares e de extrema importância para a investigação de falhas por desgaste de componentes através da análise do lubrificante. Os principais componentes sujeitos a desgaste nestes motores estão apresentados na Figura 3.

Figura 3: Componentes principais sujeitos a desgaste



Fonte: <http://livrozilla.com/doc/180644/motores-a-combustão-interna-e-a-transmissão-de-sua-potência>.

#### - Pistões

Os pistões são os responsáveis pelo recebimento da potência oriunda da queima na câmara de combustão, onde a queima e expansão da mistura de combustíveis gera um deslocamento de massa de gases dentro da câmara de combustão, o pistão recebe esta força e passa a diante através de seu deslocamento, fazendo a transmissão de energia em forma de movimento vertical

para o eixo de manivelas através das bielas, e o conjunto transforma esse movimento em movimento rotativo. Os pistões geralmente são fabricados utilizando ligas de alumínio, e em casos de motores com problemas de combustão, podem sofrer aquecimentos localizados que poderão levar a trincas em sua face superior, então a presença de alumínio nas análises de lubrificantes sugere a ocorrência de desgaste nestes componentes.

### **- Cilindros ou Camisas**

São componentes no qual ocorre o movimento do pistão no interior do motor e é o local onde ocorre a transferência de energia da combustão através do movimento do pistão. As camisas geralmente são inseridas nos blocos dos motores como luvas, e devido ao fato de serem produzidas em aço possuem como principal elemento químico detectável através das análises de lubrificantes o ferro.

### **- Anéis de Segmento**

São fixados em ranhuras feitas nos pistões, e normalmente são inseridos três anéis por pistão: os dois anéis superiores têm a função de conter a pressão gerada na explosão evitando perdas de potência, impedindo a passagem da mistura ar-combustível para o cárter através do espaçamento entre o pistão e o cilindro. O terceiro anel tem a função de raspar o excesso de óleo e criar uma fina película de lubrificação para que os outros anéis tenham o mínimo de atrito evitando o desgaste entre anéis e cilindro. Geralmente estes componentes são fabricados em ligas de aço com cromo, e devido a este fator a presença de ferro e cromo nas análises dos lubrificantes indica a presença de desgaste nos anéis.

### **- Biela**

Componente que transmite o movimento do pistão e a potência gerada pela combustão ao eixo de manivelas durante a expansão. A biela também permite movimento ao pistão durante os processos de exaustão, admissão e compressão, em motores de dois ou quatro tempos. A biela consiste de uma haste com dois furos nos extremos, é conectada ao pistão através de um pino que passa através do furo menor, e o furo maior é constituído por um mancal fixado por parafusos, que envolve



um dos pinos excêntricos do eixo de manivelas. No interior do furo maior da Biela estão dispostas as chamadas Bronzinas ou Casquilhos, componentes que atuam como bucha de deslizamento entre a biela e o eixo virabrequim, reduzindo o atrito mecânico entre os mesmos. Devido a serem produzidas com ligas de cobre, chumbo e estanho, são componentes de sacrifício (já que a biela e o eixo virabrequim em geral são constituídos de aço), e a presença destes elementos metálicos no lubrificante em uso indica o desgaste das mesmas.

Diante do exposto acima, para fins de simplificação, a análise de lubrificantes considera o motor de combustão interna dividido em duas partes principais: a “Parte Alta” e a “Parte Baixa” do motor, tendo como limite o anel de segmento responsável pela selagem do lubrificante na camisa. Considerando este aspecto, a Parte Alta do motor considera Cilindro, Pistões, válvulas e anéis de segmento (incluindo o anel de vedação do óleo), e a Parte Baixa do motor engloba Biela, Eixo Virabrequim, Carter e Casquilhos.

É importante ressaltar que para cada um dos metais acima mencionados, existem limites toleráveis para a presença dos mesmos no lubrificante, de modo que, para fins de análise, estão sendo consideradas como falha a ocorrência de níveis de desgaste acima destes limites para cada um dos elementos metálicos citados. Por isso, a partir de então, os níveis de desgastes dos motores em estudo serão classificados para fins de simplificação do tratamento dos dados como desgaste na Parte Alta ou na Parte Baixa do motor e não especificamente dos componentes mecânicos mencionados.

### **3.3 Engenharia de confiabilidade do sistema**

O conceito de confiabilidade é empregado em vários campos de conhecimento, inclusive na gestão da manutenção. Confiabilidade, é a probabilidade de um sistema exercer sem falhas a função para a qual foi projetado, por um determinado período de tempo e sob um conjunto de condições pré-estabelecidas. Sistema é definido de forma genérica e o conceito pode ser aplicado em diversos produtos, equipamentos, subsistemas, partes e componentes, já a falha é definida como o evento ou o estado de inoperância de um sistema ou subsistema de produção que não executa a função para a qual foi especificado. Assim, pode-se também definir confiabilidade como a probabilidade do evento falha de um sistema

produtivo não ocorrer antes do tempo previsto. Outra definição para falha é o fim da capacidade de um sistema em desempenhar uma função, onde função pode ser definida como as ações desempenhadas e as características apresentadas por um componente, subsistema ou sistema produtivo.

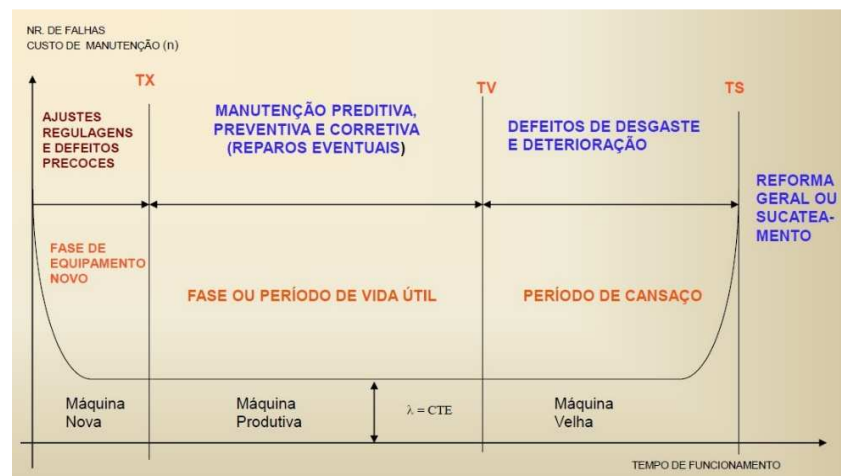
### 3.3.1 Manutenção preditiva

Os estudos relativos a confiabilidade vem recebendo a atenção de especialistas em diversos ramos de empresas, particularmente nos ligados à área de manutenção. Muitos são os trabalhos desenvolvidos e em desenvolvimento visando à aplicação da chamada "manutenção preditiva" ou "manutenção previsiva", ou "controle preditivo de manutenção", tendo por objetivo executar a manutenção preventiva em equipamentos no ponto exato em que eles interferem na confiabilidade do sistema, aumentando produtividade e lucro. Entende-se por controle preditivo de manutenção a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preventiva num determinado equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade de o equipamento falhar assume valores indesejáveis. A determinação desse ponto traz como resultado índices ideais de prevenção de falhas, tanto sob o aspecto técnico quanto econômico, uma vez que a intervenção no equipamento não é feita durante o período em que ainda está em condições de prestar serviços, nem no período em que suas características operativas estão comprometidas, podendo ser programada para períodos de inatividade, garantindo a não parada indesejada dos processos.

### 3.3.2 Curva da banheira, tipos de falha e estratégia de manutenção

As fases da vida de um equipamento (instalação, componentes ou peças) obedecem a um ciclo que relaciona a taxa de falha ( $n$ ) x tempo ( $t$ ), e pode ser representado com o gráfico denominado "curva da banheira" ou "curva do ciclo" de vida de um equipamento como na Figura 4, representando as fases da vida características de um sistema: fase de equipamento novo, período de vida útil e período de cansaço.

Figura 4: Curva da banheira



Fonte: Apostila de gerenciamento de manutenção de máquinas – CIAGA.

No período de equipamento novo, a taxa de falhas é alta, porém decrescente, essa é a fase onde a máquina está sendo “amaciada”, com as falhas preliminarmente causadas por defeitos congênitos ou fraquezas, erros de projeto, peças defeituosas, processos de fabricação inadequados, mão-de-obra desqualificada, estocagem inadequada, instalação imprópria, partida deficiente entre outras. A taxa de falhas diminui com o tempo, conforme os reparos de defeitos eliminam componentes frágeis ou à medida que são detectados e reparados erros de projeto ou de instalação, e quase sempre neste período a melhor estratégia de manutenção é a corretiva, ou seja, cabe à manutenção não apenas reparar o equipamento, mas corrigi-lo para que a falha não continue se repetindo constantemente.

Entre “TX e TV” existe a fase de maturidade ou período de vida útil, onde o valor médio da taxa de falha é constante. Nesta fase, as falhas ocorrem por causas aleatórias, externas ao sistema, tais como acidentes, liberações excessivas de energia, mau uso ou operação inadequada, e são de difícil controle. Falhas aleatórias podem assumir diversas naturezas, tais como: sobrecargas aleatórias,

problemas externos de alimentação elétrica, vibração, impactos mecânicos, bruscas variações de temperatura, erros humanos de operação entre outros, podendo ser reduzidas projetando equipamentos mais robustos do que exige o meio em que opera ou padronizando a operação. Podemos notar que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a preditiva, ou seja, monitoramento para detectar o início da fase de desgaste.

Após “TV”, há crescimento da taxa de falhas, o período de cansaço, que representa o início do período final de vida do equipamento, fase esta caracterizada pelo desgaste do componente, corrosão, fadiga, trincas, deterioração mecânica, elétrica ou química, manutenção insuficiente entre outros. Para produzir produtos com vida útil mais prolongada, deve-se atentar para o projeto, utilizando materiais e componentes mais duráveis, um plano de inspeção e manutenção que detecte que iniciou o período de cansaço e o previna por substituição preventiva de itens e/ou supressão dos agentes nocivos presentes no meio. Analisamos que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a preventiva, ou seja, já que o equipamento irá falhar, cabe à manutenção aproveitar a melhor oportunidade para substituir ou reformar o equipamento.

Podemos destacar que o término da vida útil, sob o ponto de vista de confiabilidade, ocorre quando o item ingressa no período de cansaço e não deve ser confundido com sua obsolescência do ponto de vista mercadológico ou produtivo: nesta, o item é substituído por haver desaparecido o valor atribuído à função que desempenha, naquela, a substituição ocorre por queda na confiabilidade do item em produzir o valor que dele se espera. Podemos distinguir vida segura de vida econômica, com a primeira o item operando até que a probabilidade de falha ultrapasse um patamar de segurança, e na segunda o item opera enquanto a função que desempenha continua sendo necessária.

### 3.3.3 Manutenção preditiva x manutenção corretiva

A manutenção corretiva tenderá a ser exceção, pois falhas de manutenção geram gastos muito maiores do que o investimento na conservação dos equipamentos. Máquinas paradas por deficiência de lubrificação causam prejuízos inestimáveis, pois deixam de produzir e conseqüentemente não dão lucro. Garantir o estado original dentro do menor custo e sem afetar a produtividade,

avaliando corretamente o nível de desgaste sem ultrapassar o limite de danificação, é uma das principais tarefas dos homens ligados à manutenção.

A manutenção preditiva e proativa tem como um dos principais objetivos assegurar a operação de um sistema ou equipamento nos limites de durabilidade, eficiência, confiabilidade e segurança, enquanto a manutenção corretiva é classificada como recurso utilizado para diagnosticar e corrigir falhas eminentes ou que já ocorreram.

#### 3.3.4 Aplicação da ação preditiva

Para empresas que monitoram a vida do lubrificante através da análise do mesmo, os intervalos de amostragem são determinados pelo fabricante ou de acordo com a necessidade ou critério de cada empresa. Tais análises serão utilizadas para o acompanhamento dos níveis de desgaste dos motores ou máquinas auxiliares.

Quando evidenciado, através da análise, desgastes anormais, uma ação que vem sendo adotada é a realização da inspeção interna do equipamento através de Videoscopia, procurando identificar a origem do desgaste internamente ao equipamento e assim poder planejar a parada do equipamento para a intervenção de maneira precisa. Essa ação minimiza os custos de manutenção pelo fato de saber onde atuar durante a intervenção, além de diminuir o tempo de parada do equipamento caso ocorra um defeito permanente ou falha inesperada e não programada.

Figura 5: Videoscopia / Boroscopia



Fonte: <http://confiabilidademp.com.br/endoscopia-industrial-videoscopia-ou-boroscopia/>.

Se por outro lado, os motores não apresentam monitoramento preditivo, uma estratégia de manutenção preventiva sistemática que pode ser adotada nesse caso é a parada do motor para recondicionamento em intervalos regulares a cada 30.000 horas, muito utilizada em aviação, além das demais ações de manutenção recomendadas nos manuais dos fabricantes dos motores.

#### **4 MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DO EQUIPAMENTO ATRAVÉS DE ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES**

Hoje, na busca de uma manutenção eficaz, ou seja, reduzir custos e aumentar lucros é imprescindível à confiabilidade e durabilidade dos equipamentos, e a melhor ferramenta para conseguirmos uma eficácia na manutenção é a informação.

A análise de óleos é uma dessas ferramentas, uma vez que um dos sensores mais eficientes dos equipamentos é o óleo lubrificante, sobre o qual uma bateria de análises pode informar as condições de lubrificação com base em critérios pré-estabelecidos e concluir sobre a situação do próprio óleo bem como do ambiente lubrificado e a operação, eliminando o desperdício do óleo lubrificante e vislumbrando o desgaste de certas áreas do equipamento, surgindo então como um recurso confiável e insubstituível no apoio a manutenção preditiva e proativa pelo índice de certeza de informações e pela rapidez e economia.

Exatamente por exercer variadas funções num contato direto com o sistema lubrificante fica fácil compreender que o mesmo pode recolher impressões de vários componentes das máquinas, e essas informações quando corretamente analisadas, nos permitem tirar conclusões precisas sobre a realidade operacional do equipamento.

Vale observar ainda, que o critério de controle do lubrificante por simples troca dentro das especificações do fabricante é um procedimento que deve ser reconsiderado. Do mesmo modo que o óleo pode ter sua vida útil aumentada de 200 (duzentas) para 500 (quinhentas) horas, por exemplo, pode acontecer que em menos de 100 (cem) horas torne-se fora dos padrões, perdendo suas características e prejudicando todo sistema. Portanto um dos benefícios da análise sistemática de

óleos é detectar e avaliar os contaminantes externos e de desgastes, assim como a qualidade do lubrificante. A identificação é feita a partir do estudo das partículas sólidas que ficam misturadas com os óleos, que são geradas pelo atrito dinâmico entre peças em contato. A análise dos óleos é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem vidrarias, reagentes, instrumentos e equipamentos, entre os utilizados, temos viscosímetros, centrífugas, fotômetros de chama, reômetros, espectrômetros, microscópios, etc. O laboratorista, usando técnicas adequadas, determina as propriedades dos óleos e o grau de seus contaminantes, com as principais propriedades dos óleos que interessam em uma análise sendo: índice de viscosidade, índice de acidez, índice de alcalinidade, ponto de fulgor e ponto de congelamento. Em termos de contaminação dos óleos, interessa saber quanto existe de: resíduos de carbono, partículas metálicas e água. Assim como no estudo das vibrações, a análise dos óleos é muito importante na manutenção preditiva: é a análise que vai dizer se o óleo de uma máquina ou equipamento precisa ou não ser substituído e quando isso deverá ser feito, evitando custos de substituição e de rejeito desses lubrificantes.

#### **4.1 Análises físico-químicas**

##### **- Água**

A contaminação por água é indesejável na maioria dos sistemas de lubrificação, porque sua presença pode resultar em:

- a) Formação de emulsões;
- b) Falha ou ineficiência de lubrificação em pontos críticos;
- c) Precipitação dos aditivos por hidrólise;
- d) Formação de borras em óleos "sujos", que pode entupir telas, filtros ou tubulações;
- e) Contribuição para a corrosão das superfícies metálicas em certos casos.

Para a determinação do teor de água, faz-se uma destilação por arraste com tolueno no óleo usado, de modo que a água e o tolueno evaporem e sejam condensados em um recipiente graduado. A água pode ser proveniente da má estocagem dos óleos, vazamentos no sistema de arrefecimento do motor,

contaminação externa, condensação da umidade do ar nas partes internas do motor e do combustível. Nos óleos de motores, a aditivação de detergente-dispersante deixa a tolerância à água pequena (máximo 0,3% de água em volume), e quando estes óleos são contaminados com água, ficam leitosos, com uma cor marrom claro, havendo separação parcial dos aditivos.

Figura 6: Contaminação do óleo com água



Fonte: <https://www.doutorcarro.com.br/wp-content/uploads/2014/06/agua-no-oleo.jpg>.

#### **- Corrosão em Lâmina de cobre**

Alguns óleos têm incorporado em sua formulação certos aditivos contendo cloro, enxofre ou sais inorgânicos que, sob condições específicas de serviço, podem contribuir no caso dos óleos lubrificantes para corrosão em partes dos equipamentos ou, no caso de óleos de corte, nas peças a serem usinadas.

Existem vários tipos de testes de corrosão para produtos derivados do petróleo, dependendo da aplicação a que esses produtos se destinam. Como os metais mais sujeitos a esse tipo de ataque corrosivo são o cobre e suas ligas, materiais amplamente empregados em mancais, o teste mais utilizado é o que avalia o ataque corrosivo a uma lâmina de cobre sob condições padronizadas.



### - Diluição por Combustível

Este teste é realizado para determinar a quantidade de combustível presente em amostras de óleos lubrificantes em motores de combustão interna a gasolina, a álcool ou motor a diesel.

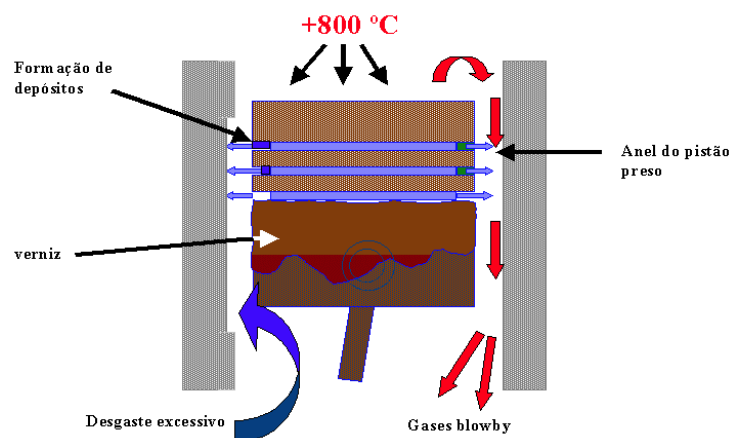
### -Fuligem

Produtos da combustão entram no óleo através do sopro normal dos pistões (blowby), reduzindo a capacidade do óleo de proteger e lubrificar os componentes do motor.

Fuligem são resíduos insolúveis de combustível parcialmente queimado que podem espessar o óleo, exaurirem os aditivos e podem eventualmente entupir os filtros, encontrada normalmente em amostras de óleo de motor.

Refletindo-se um feixe de luz infravermelha por uma película de óleo usado, obtemos diretamente o percentual de fuligem presente no óleo e comparadas com o óleo novo como prova em branco.

Figura 7: Origem da fuligem



Fonte: Lubrificação automotiva – Ipiranga.

### **- Resíduos de Carbono**

Os produtos derivados de petróleo são misturas complexas de hidrocarbonetos que, quando submetidos à evaporação em altas temperaturas, deixam resíduos carbonosos que podem trazer inconvenientes aos motores de combustão interna e a outros equipamentos. A percentagem de resíduo de carbono de um óleo é determinada através de métodos e aparelhos especiais padronizados (Conradson e Ramsbottom). Estes ensaios consistem basicamente em se fazer evaporar uma pequena amostra de óleo, não permitindo que o mesmo tenha contato direto com o oxigênio para evitar sua combustão, e servem para comparar as tendências de formação de resíduos de carbono dos óleos para motores. Os valores obtidos não devem servir de critério para determinar a qualidade ou desempenho de um óleo lubrificante quando considerados isoladamente. Isto se deve ao fato de que as condições existentes durante o teste nos aparelhos padronizados não são repetidas na prática. Alguns fatores como a dosagem de combustível pelo sistema de injeção, condições mecânicas do motor, contaminantes do óleo, entre outros, podem influenciar muito mais na formação de resíduos de carbono do que o valor determinado em teste de laboratório.

### **- TBN (total basicity number – número de basicidade total)**

O óleo para motores de combustão Diesel está continuamente exposto aos produtos de combustão, ácidos que devem ser neutralizados antes que possam corroer as peças do motor. Aditivos alcalinos estão presentes tanto para neutralizar os ácidos resultantes da combustão (principalmente os fortes ácidos nítricos e sulfúrico) e os mais fracos, ácidos orgânicos resultantes da oxidação do óleo durante o seu envelhecimento.

O TBN de um óleo é a medida de reserva alcalina, uma medida de quanto um óleo é alcalino e é usado para determinar a capacidade do óleo para neutralizar os ácidos da combustão. A manutenção da reserva alcalina correta é fundamental para prevenir a corrosão desnecessária da parte superior do pistão, anéis de pistão e rolamentos da extremidade superior do motor. O grave empobrecimento do TBN resulta em ácido corrosivo e incrustações dentro do motor e, adicionalmente, um TBN baixo é indicativo de detergência reduzida do óleo.

### **- TAN (total acid number – número de acidez total)**

Os óleos continuamente reagem com o oxigênio atmosférico para produzir produtos de oxidação orgânicos que são de natureza ácida, à temperatura ambiente esta reação é muito lenta e tem pouco efeito sobre as condições do óleo, mas nas temperaturas elevadas que existem dentro de um motor em funcionamento as taxas de reação são muito maiores. Isto é especialmente verdadeiro quando ocorre um aquecimento localizado em superfícies de deslizamento, em que as temperaturas podem ser muito maiores do que a do metal ao redor. A combustão e o uso de produtos em solução no óleo podem adicionalmente catalisar a reação entre o óleo e o oxigênio. Os produtos de degradação são os ácidos orgânicos que não reagem facilmente com os aditivos alcalinos TAN e tendem a coexistir, provocando o aumento da viscosidade do óleo e podendo se depositar como lacas em superfícies quentes.

A Acidez Total do óleo ou TAN é a medida de ambos os ácidos orgânicos e ácidos inorgânicos fortes presentes no óleo, e é aplicável a caixas reductoras, motores a gás, turbinas a gás e lubrificantes hidráulicos, não sendo geralmente associado com os lubrificantes do cárter do motor a menos que sejam severamente contaminados. Uma exceção pode ser os lubrificantes de cárter de motores a gás, onde o TAN pode esgotar muito rapidamente e temperaturas elevadas de operação podem gerar altos níveis de ácidos orgânicos fracos.

## **4.2 Análise morfológica de partículas contaminantes e de desgaste**

### **- Desgaste**

O exame das diversas partículas sólidas presentes no lubrificante em uso tem sido objeto de extensas pesquisas, uma vez que já se comprovou que esses elementos são portadores de inúmeras informações acerca do sistema lubrificado.

O adequado tratamento dos dados trazidos por essas partículas leva ao conhecimento do perfil normal de desgaste bem como à predição de problemas no equipamento: falhas e até mesmo fraturas são provocadas por desgaste, que cria pontos de intensificação de tensão, enfraquece peças, desajusta mecanismos, provoca vibrações, etc. Quando uma peça sofre desgaste, partículas são depositadas no lubrificante; dependendo do tipo de processo sofrido: abrasivo, adesivo, corrosivo ou composto, tipos diferentes de partículas são detectados.

Além de se conhecer o tamanho e o número de partículas, os estudos se direcionaram para a investigação da morfologia das mesmas, e dos vários elementos encontrados pode-se determinar, na maioria dos casos, qual sua origem e se realmente indicam prejuízo ao sistema. A utilização de um ou outro método investigatório, espectrofotometria, ferrografia ou análise microscópica, depende não só da aplicação em particular como dos meios disponíveis e até mesmo da linha de trabalho seguida.

Figura 8: Desgaste por falta de lubrificação



Fonte: <http://www.revistatae.com.br/noticialnt.asp?id=7063>.

### - Ferrografia

A Ferrografia é um tipo de análise inserida nas manutenções preditivas com o objetivo de verificar o grau de severidade da condição da máquina, de acordo com o tamanho e a quantidade de partículas provenientes do desgaste. Isto é feito por meio da identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas em amostras de óleos ou graxas lubrificantes, de qualquer viscosidade, consistência e opacidade.

Pode ser analítica ou quantitativa, a primeira permite a visualização das partículas para que se possam ser identificados os tipos de desgaste presentes,

como esfoliação, abrasão, corrosão, etc. A Ferrografia quantitativa, analisa o tamanho e a quantidade das partículas ou seja, as partículas do Ferrograma maiores que  $5\mu\text{m}$ , passam a ser denominadas Large – L (grandes) e as iguais ou menores a  $5\mu\text{m}$ , Small – S (pequenas). Os resultados obtidos com a Ferrografia quantitativa são usados para uma análise de tendências, que irão indicar qual postura tomar.

Diferente do que indica o nome, a Ferrografia não é apenas para detectar partículas ferrosas, mas também ligas em aço, ferro fundido, aço inox, bronze, alumínio, prata, cromo, níquel, magnésio e até sais, vidros e borracha. Ou seja, é altamente aplicada atualmente na engenharia de confiabilidade e gestão da manutenção das diversas máquinas modernas.

Figura 9: Ferrografia



Fonte: <http://manutencaoemfoco.com.br/preditiva-ferrografia/>.

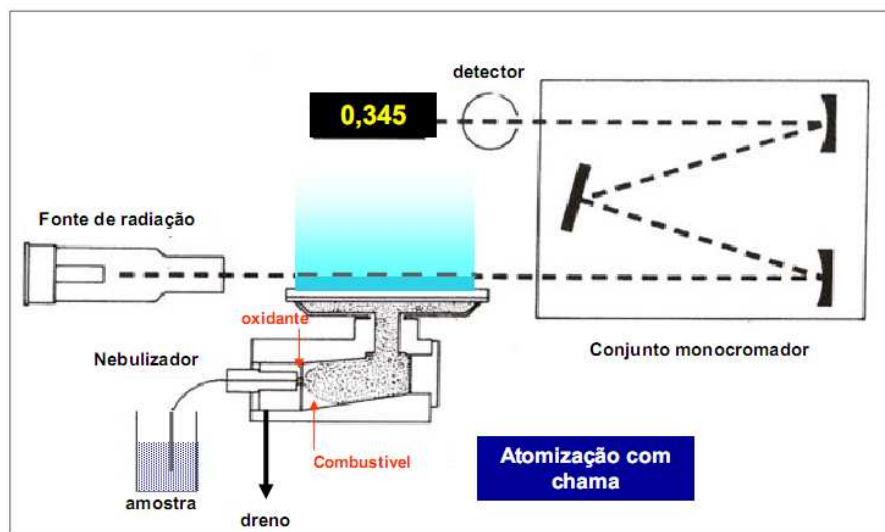
#### - Espectrofotometria de Absorção Atômica com Atomização em Chama

A espectrofotometria de absorção atômica oferece meios rápidos para a determinação dos elementos inorgânicos presentes nos óleos lubrificantes usados, como: metais de desgaste, de contaminação externa e de aditivos presentes.

A identificação de contaminantes metálicos frequentemente fornece indícios para a correção de condições prejudiciais a uma máquina, por exemplo, como já mencionado anteriormente, a presença de cromo pode ser devida ao desgaste dos anéis ou camisas (se o motor estiver equipado com anéis cromados) ou pode ser devida ao vazamento para o cárter de fluido refrigerante inibido com cromatos. A

pesquisa de metais de desgaste poderá ser complementada, com vantagem, pela análise morfológica de partículas, uma vez que o método da espectrofotometria é capaz de proporcionar informações sobre partículas bem menores.

Figura 10: Espectrometria de absorção atômica  
**Diagrama de um espectrômetro de absorção atômica com chama**



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA3SwAH/analises-metals-por-espectroscopia-absorcao-atomica>.

Como mostrado na figura 9, a função da célula de absorção é converter a amostra em átomos no estado fundamental, no eixo ótico do sistema de absorção atômica, a amostra é queimada e vaporizada, e através da sua chama, a fonte de radiação (lâmpada especial) reflete para o conjunto monocromador e assim é feita a detecção e a leitura desejada. Através deste teste é possível detectar nano partículas de metais que podem ser indícios de desgaste, quando no seu princípio.

### **4.3 Amostragem**

Por definição, “amostra” é o fragmento ou parte de um produto natural ou fabricado apresentado para demonstrar sua natureza, qualidade ou tipo; é a porção que representa o todo. Portanto, certa quantidade de um produto, como o lubrificante, só constitui uma amostra se realmente guardar as reais características e propriedades do todo, então a amostragem correta é o ponto de partida para o sucesso de um bom programa de manutenção preditiva e o pessoal encarregado dessa função deve estar bem treinado tecnicamente para realizar o trabalho, de modo a conseguir uma amostra realmente significativa.

Prova dessa preocupação é a bomba de sucção manual, que surgiu não só da necessidade de facilitar a coleta, mas também de diminuir o índice de contaminação. Tanto cuidado é justificado pela observação das consequências danosas que o óleo mal coletado ou mal etiquetado / identificado pode trazer: contaminações que implicam em resultados distorcidos, indicações errôneas que dificultam e atrasam testes – em suma, pode-se afirmar que o processo de análise do lubrificante tem início no campo, nas mãos de quem irá coletar.

Durante a retirada de óleo dos compartimentos, um dos problemas mais comuns, é a mangueira que leva o lubrificante da bomba ao frasco: a cada amostra, esse tubo deve ser trocado e posteriormente higienizado se for destinado a novo uso, já que a limpeza precária acarreta contaminação do óleo coletado a seguir e a alteração de respostas aos testes é facilmente presumível. Os cuidados na coleta de material lubrificante para análises são a garantia de um resultado eficaz.

### **4.4 Laboratórios X melhoria contínua**

Hoje, a melhoria contínua em um laboratório de lubrificantes é um grande pilar de indicador da competitividade, que está baseado na confiabilidade dos resultados gerados e na credibilidade frente aos clientes. Quando um laboratório participa de programas em que sua proficiência é avaliada, quando seus clientes estão satisfeitos e, ainda sua estrutura possui uma certificação e/ou acreditação, ele garante sua credibilidade e é capaz de assumir um papel importante em relação as tendências do mercado de lubrificantes.

Colocar em prática a melhoria contínua no laboratório é um desafio diário. Aumentando a importância de um sistema de gestão da qualidade bem implementado e apropriado, acompanhando novas tecnologias, fazendo capacitação e inovando. O sistema de gestão da qualidade pode ser formatado de acordo com padrões de qualidade reconhecidos internacionalmente, desde os mais abrangentes, como a ISO 9001, até mais os mais específicos, como a ISO/IEC 17025.

Podemos dizer que, atualmente, em se tratando de laboratório, ter um sistema de gestão da qualidade certificado na ISO 9001 não é mais um diferencial, e sim o mínimo para o mercado. Um dos maiores desafios é a busca da acreditação na norma NBR ISO/IEC 17025, que atesta a competência laboratorial nacional e internacionalmente. Possuir esse selo significa dizer que os ensaios realizados naquele laboratório possuem além de qualidade, o reconhecimento por instituições nacionais e de outros países, o que é extremamente necessário no segmento globalizado do Petróleo e gás. Seguindo o contexto de confiabilidade, os serviços oferecidos por um laboratório de lubrificantes devem ser baseados em metodologias reconhecidas precedidas ou não por resoluções e/ou especificações.

Para que o investimento em análises preditivas de lubrificantes seja eficaz e traga como resultado a confiabilidade desejada dos equipamentos, as empresas e armadores contratantes de tais serviços devem levar em consideração as certificações e a qualidade do laboratório terceirizado para tal função.



## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O controle da contaminação dos lubrificantes é exposto como meio essencial para solucionar as causas da falha raiz e aumentar a vida útil das máquinas. Podemos entender que o controle de contaminação é definido como técnica fundamental para a economia relevante em sistemas lubrificados, tais como motores e máquinas em geral.

Com a implantação do sistema de monitoramento de lubrificantes, diminui-se consideravelmente as falhas e avarias, sabendo através deste que a determinação contínua da quantidade de partículas, do teor de água e estado do óleo, demonstram ser, portanto, um processo eficiente para um monitoramento das condições. Assim, perigos previsíveis para os componentes internos podem ser detectados a tempo, podendo-se executar trabalhos de manutenção em função do estado do óleo.

Finalmente, parece inevitável que na gestão de máquinas futuras incluam-se programas de manutenção preditiva através da análise de óleo e engenharia de confiabilidade, visando a excelência na manutenção proativa e controle de condição: como analisado, tal cultura preditiva trará significativa “qualidade de saúde” aos motores e máquinas auxiliares.

Analisando o estudo apresentado, foi muito gratificante e de extremo crescimento de bagagem de conhecimentos que certamente serão de fundamental valia em minha carreira. Espero que com ele, possa contribuir para estudo de jovens

oficiais de máquinas, pesquisas futuras de interessados no assunto ou para demais consultas sobre este segmento.

## REFERÊNCIAS

ABEPRO. Disponível em:

<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007\\_tr580442\\_0292.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr580442_0292.pdf). Acesso em: 22/05/2016.

ADITIVOS para lubrificantes. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/Pedrujr/aditivos-para-lubrificantes>>. Acesso em: 22/05/2016.

ALHO, A. **Sistemas navais e offshore**. Pós Graduação em Engenharia de Máquinas Navais e offshore. Rio de Janeiro, 2008.

DITRIBUIDORA, BR PETROBRAS. **Lubrificantes**: fundamentos a aplicações. gerência Industrial. 2005.

IMPORTÂNCIA da análise de óleo lubrificante. Disponível em:

<<http://docslide.com.br/documents/importanica-da-analise-de-oleo-lubrificante.html>>. Acesso em: 22/05/2016.

Lubrificantes e Lubrificação. Carlos Moura e Ronald Carreteiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1978.

MILKIE, C.M.; Perakis, A.N. **Statistical method for planning diesel engine overhauls in the U.S. Coast Guard**. Naval Engineering Journal. USA, 2004.











MOURA, Carlos R. S.; CARRETEIRO, Ronald P. **Lubrificantes e lubrificação**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.

SILVA, Fernando Antônio Pina da. **Tribologia**. Lisboa: Fundação CalousteGulbenrian, 1985.

TEIXEIRA, Roberta Miranda.; HOLLEBEN, Cintia de.; CORTAS, Laila. Laboratório de Lubrificantes: Novos Desafios. **Lubes em foco**. Rio de Janeiro, n. 50, p. 12-15, ago/set. 2015.

## ANEXO 1 – TABELA DE REFERÊNCIA DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS INDUSTRIAIS

Tabela de Referência de Óleos Lubrificantes Minerais Industriais

										
Fuso 2							Renolin MR 0			
Fuso 5		Magna ABS		HR-5-EP			Renolin MR 1	Sintex 5	Houghto Spin 5	Tirroil HLPD 5
Fuso 10	Hidra AW 10	Hyspin AWS 10	Morlina 10	HR-10-EP	Spindura 10	Spinesstic 10	Renolin MR 3	Eureka 10	Houghto Spin 12	Tirroil HLPD 10
Cilinder 460	Luc 460		Valvataj 460	CIV 460		Cylesstic TK 460		IPICIL 460	Houghto Spin 460	Tirroil 352-A
Cilinder 680	Luc 680		Valvataj 680	CIV 680	Vanguard 680			IPICIL 680	Houghto Spin 680	Tirroil 352-E
Compres. Ref. 68	Refrigel	Icematic SW 68	Clavus 68	CP-68-RF	Capella 68	Refrigeration 68	Resino SP 68	IPIGEL 68		Tirroil 352-J
Linha Moenda		Optifluid 3 H 1	Usina		Sugartex	Moenda	Renolin Compound	IPIRANGA SP	Tenacex SP	Tirroil Gear
Transf. Calor	Therm 100		Thermia		Texa Therm 46	Eso Therm 500	Renotherm 500	IPITHERM	Houghto Therm	Tirroil 634-C
Comp. Betuminosa	Graxa Asfáltica		Cardium Fluid		Crater			IPIRTRAMON		Tirroil LLC
HL 32 (Turbina)	Luc 32		Turbo 32	Marbax TR-32	Regal R & O 32	Teresstic 32	Eterna 32	Ipitur HST 32	Hydro Drive RO 32	Tirroil AWS 32
HL 36 (Turbina)	Luc 46		Turbo 46	Marbax TR-46	Regal R & O 46	Teresstic 46	Eterna 46	Ipitur HST 46	Hydro Drive RO 46	Tirroil ASW 46
HL 68 (Turbina)	Luc 68		Turbo 68	Marbax TR-68	Regal R & O 68	Teresstic 68	Eterna 68	Ipitur HST 68	Hydro Drive RO 68	Tirroil ASW 68
HL 100 (Turbina)	Luc 100		Turbo 100	Marbax TR-100	Regal R & O 100	Teresstic 100	Eterna 100	Ipitur HST 100	Hydro Drive RO 100	Tirroil ASW 100
HL 150 (Turbina)	Luc 150		Turbo 150	Marbax TR-150	Regal R & O 150	Teresstic 150		Ipitur HST 150	Hydro Drive RO 150	Tirroil ASW 150
HL 220 (Turbina)	Luc 220		Turbo 220	Marbax TR-220	Regal R & O 220			Ipitur HST 220	Hydro Drive RO 220	Tirroil ASW 220
HLP 32	Hidra AW 32	Hyspin AWS 32	Tellus 32	Lubrux Ind. HR-32-EP	Rando HD 32	Nuto H 32	Renolin B 10	Ipitur AW 32	Hydro Drive HP 32	Tirroil AWSE 32
HLP 46	Hidra AW 46	Hyspin AWS 46	Tellus 46	Lubrux Ind. HR-46-EP	Rando HD 46	Nuto H 46	Renolin B 15	Ipitur AW 46	Hydro Drive HP 46	Tirroil AWSE 46
HLP 68	Hidra AW 68	Hyspin AWS 68	Tellus 68	Lubrux Ind. HR-68-EP	Rando HD 68	Nuto H 68	Renolin B 20	Ipitur AW 68	Hydro Drive HP 68	Tirroil AWSE 68
HLP 100	Hidra AW 100	Hyspin AWS 100	Tellus 100	Lubrux Ind. HR-100-EP	Rando HD 100	Nuto H 100	Renolin B 30	Ipitur AW 100	Hydro Drive HP 100	Tirroil AWSE 100
HLP 150	Hidra AW 150	Hyspin AWS 150		Lubrux Ind. HR-150-EP	Rando HD 150	Nuto H 150	Renolin B 40	Ipitur AW 150	Hydro Drive HLP 150	Tirroil AWSE 150
HLPD 46	Hidra AW 46	Hyspin HDX 46	Tellus DO 46		Rando HD Ashless 46		Renolin MR 15		Hydro Drive HLPD 46	Tirroil HLPD 46
HLPD 68	Hidra AW 68	Hyspin HDX 68	Tellus DO 68		Rando HD Ashless 68		Renolin MR 20	Ipitur P 912	Hydro Drive HLPD 68	Tirroil HLPD 68
CLP 68	Luc 68 EP	ILO SP 68	Omala 68	Lubrux Ind. EGF-68-PS	Meropa 68	Spartan EP 68	Renolin Compound 102	Ipiranga SP 68	Tenac EP 68 SP	Tirroil Gear 68
CLP 100	Luc 100 EP	Optigear BM 100	Omala 100	Lubrux Ind. EGF-100-PS		Spartan EP 100	Renolin Compound 103	Ipiranga SP 100	Tenac EP 100 SP	Tirroil Gear 100
CLP 150	Luc 150 EP	ILO SP 150	Omala 150	Lubrux Ind. EGF-150-PS	Meropa 150	Spartan EP 150	Renolin Compound 104	Ipiranga SP 150	Tenac EP 150 SP	Tirroil Gear 150
CLP 220	Luc 220 EP	ILO SP 220	Omala 220	Lubrux Ind. EGF-220-PS	Meropa 220	Spartan EP 220	Renolin Compound 106	Ipiranga SP 220	Tenac EP 220 SP	Tirroil Gear 220
CLP 320	Luc 320 EP	ILO SP 320	Omala 320	Lubrux Ind. EGF-320-PS	Meropa 320	Spartan EP 320	Renolin Compound 108	Ipiranga SP 320	Tenac EP 320 SP	Tirroil Gear 320
CLP 460	Luc 460 EP	ILO SP 460	Omala 460	Lubrux Ind. EGF-460-PS	Meropa 460	Spartan EP 460	Renolin Compound 110	Ipiranga SP 460	Tenac EP 460 SP	Tirroil Gear 460
CLP 680	Luc 680 EP	ILO SP 680	Omala 680	Lubrux Ind. EGF-680-OS	Meropa 680	Spartan EP 680	Renolin Compound 112	Ipiranga SP 680	Tenac EP 680 SP	Tirroil Gear 680
CLP 1000	Luc 1000	ILO SP 1000		Lubrux Ind. EGF-1000-OS					Tenac EP 1000 SP	Tirroil Gear 1000
CGLP 68	Luc 68 P	Magna DB 68	Tonna T 68	Lubrux Ind. FP-68	Way Lubrificant 68	Febis K 68	Renolin TAC 342	Truslide 68	STA PUT 68 GS	Tirroil AWAG 68
CGLP 220	Luc 220 P	Magna CF 220	Tonna T 220	Lubrux Ind. FP-220	Way Lubrificant 220	Febis K 220	Renolin TAC 345	Truslide 220	STA PUT 220 GS	Tirroil AWAG 220
Pneumático	Luc Drill 100	RD 100		Lubrux Ind. FP-100	Aries 100	Arox EP 150	Renolin ZAF 100/150	Ipidrill 100	Houghton Drill 100	Tirroil AWAG 100 EP

Fonte: Lucheti Lubrificantes Ltda.