

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

CAMILA VIEIRA DA SILVA

**MUDANÇAS DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS DO LUBRIFICANTE INDUSTRIAL
QUANDO CONTAMINADO POR ÁGUA**

BAURU
2016

CAMILA VIEIRA DA SILVA

**MUDANÇAS DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS DO LUBRIFICANTE INDUSTRIAL
QUANDO CONTAMINADO POR ÁGUA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação da Profa. Ma. Bárbara de Oliveira Tessaroli.

**BAURU
2016**

S5862m Silva, Camila Vieira da

Mudanças das propriedades físico-químicas do lubrificante industrial quando contaminado por água / Camila Vieira da Silva. -- 2016.

40f. : il.

Orientadora: Profa. M.^a Barbara de Oliveira Tessarolli.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química)
- Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP

1. Lubrificantes. 2. Lubrificação. 3. Contaminação. 4. Características físico-químicas. 5. Análises em Lubrificantes.
I. Tessarolli, Barbara de Oliveira. II. Título.

CAMILA VIEIRA DA SILVA

**MUDANÇAS DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO
LUBRIFICANTE INDUSTRIAL QUANDO CONTAMINADO POR
ÁGUA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação da Profa. Ma. Bárbara de Oliveira Tessarolli.

Banca examinadora:

Profa. M^a. Bárbara de Oliveira Tessarolli
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Ângelo Ricardo Favaro Pipi
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 16 de junho de 2016.

Dedico este trabalho a Deus e minha família
que me acompanharam na conquista desse
sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar tudo isso, a minha família pelo apoio dado as minhas escolhas, por todo carinho, esforços e por sempre estar presentes em todos os momentos da minha vida.

Aos meus professores pela dedicação, atenção, paciência e pelo conhecimento compartilhado e em especial a minha professora orientadora pelo empenho e confiança dedicados ao me trabalho.

As minhas amigas que toraram essa jornada mais alegre.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

O presente trabalho visa demonstrar as alterações das principais propriedades quando um óleo lubrificante de uso industrial está contaminado com água. O lubrificante, que é muito utilizado na indústria aplicado em técnicas de lubrificação, quando contaminado por água algumas de suas características podem ser afetadas, comprometendo o seu desempenho e funções podendo acarretar em ineficiência na lubrificação e gerar grandes prejuízos devido a quebras inesperadas. Os resultados obtidos com a pesquisa poderão servir de critério para uso do produto quando identificado a contaminação, para isso, foi realizado ensaios que determinam e quantificam as propriedades do lubrificante em amostras com diferentes concentrações de água, coletadas de um equipamento industrial em uso e os comparou, com resultados com limites, estabelecidos pela literatura, identificando as propriedades alteradas e. Identificou-se que todas as propriedades analisadas sofreram variações com a presença de água, sendo então um ponto muito importante a ser avaliado quando se utiliza o produto.

Palavras-chave: Lubrificantes. Lubrificação. Contaminação. Características físico-químicas. Análises em lubrificantes.

ABSTRACT

This study aims to demonstrate the changes of the main properties as a lubricating oil for industrial use is contaminated with water. The lubricant, which is widely used in industry applied lubrication techniques when contaminated with water some of its features may be affected, compromising their performance and functions may result in inefficient lubrication and generate large losses due to unexpected breaks. The results obtained from research may serve as a criterion for use of the product when identified contamination, for it was carried out tests which determine and quantify a lubricant's properties in samples with different concentrations of water collected from an industrial equipment in use and compared with results with limits established in the literature, identifying changed properties. It was found that all analyzed properties have varied with the presence of water, then being a very important point to be evaluated when using the product.

Keywords: Lubricants. Lubrication. Contamination. Physical and chemical characteristics. Analysis in lubricants.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Objetivos alcançados com a lubrificação.....	16
Figura 2 -. Concentração de contaminação de água presentes nas amostras	21
Figura 3 - Viscosímetro Automático.....	22
Figura 4 - Espectrofotômetro de emissão atômica.....	24
Figura 5 - Contador de partículas.	25
Figura 6 - Titulador automático DL 53 – Mettler.....	27
Figura 7 - Massa da alíquota da amostra.....	27
Figura 8 - Equipamento Densímetro automático DA 650 Kyoto-Kem.	28
Figura 9 - Resultados de Viscosidade.....	29
Figura 10 - Dados para comparação de viscosidade.....	29
Figura 11 – Resultado de Metais.	30
Figura 12 - Dados para comparação de metais.....	30
Figura 13 - Resultados de contagem de partículas.	31
Figura 14 - ISO a partir de quantidade de partículas.	32
Figura 15 - Limites de partículas considerado pelo LABELT.....	32
Figura 16 - Resultados de índice total de acidez.	33
Figura 17 - Limites de índice de acidez considerado pelo LABELT.	33
Figura 18 - Resultados de densidade.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag	Prata
As	Arsênio
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	Boro
Ba	Bário
Ca	Cálcio
cSt	Centistokes
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g/mL	Grama por mililitro
°C	Grau Célsius
IAT	Índice Total de Acidez
ISO	International Organization for Standardization
K	Constante do tubo viscosímetro
KOH/g	Hidróxido de potássio por grama
LABELT	Laboratório de ensaios em lubrificantes, tintas e vernizes
Li	Lítio
Máx.	Máximo
mg/Kg	Miligramas por Quilogramas
Mg	Miligramas
mL	Mililitros
mm ² /S	Milímetros ao quadrado por segundo
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
mol/L	Mols por litro
Na	Sódio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo

P.A.	Pureza Analítica
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Si	Silício
SI	Sistema Internacional de Medidas
Sn	Estanho
T	Temperatura
Ti	Titânio
um	Micrometro
V	Vanádio
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 METODOLOGIA	15
4 REVISÃO DE LITEURATURA	16
4.1 LUBRIFICAÇÃO	16
4.2 LUBRIFICANTES E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	17
4.3 SISTEMA E ÓLEO HIDRÁULICO.....	19
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
5.1 ENSAIOS DE VISCOSIDADE CINAMÁTICA	21
5.1.1 Materiais	22
5.1.2 Procedimento	22
5.2 DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS	23
5.2.1 Materiais	23
5.2.2 Procedimento	24
5.3 CONTAGEM DE PARÍCULAS	24
5.3.1 Materiais	25
5.3.2 Procedimento	25
5.4 ÍNDICE TOTAL DE ACIDEZ (IAT).....	26
5.4.1 Materiais	26
5.4.2 Procedimento	27
5.5 DENSIDADE.....	28
5.5.1 Materiais	28
5.5.2 Procedimento	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6.1 VISCOSIDADE.....	29
6.2 METAIS	30
6.3 CONTAGEM DE PARTÍCULAS	31
6.4 IAT – ÍNDICE TOTAL DE ACIDEZ.....	33
6.5 IAT – DENSIDADE	34
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O lubrificante é um produto, que pode ser sólido, líquido ou gasoso, utilizado em componentes mecânicos que exercem um movimento. Sua origem pode ser animal, vegetal, mineral ou sintético, os mais utilizados atualmente são a base mineral, que é um dos derivados de petróleo, devido a suas características apresentar maior estabilidade e preço mais acessível para sua produção. Os lubrificantes também são compostos por aditivos que melhoram e proporcionam características ideais para seu uso tornando-os mais eficientes e duradouros. Sua função é diminuir esse atrito, pois, forma uma película protetora entre as partes reduzindo o contato. Além dessa importante atividade ele também exerce as funções de refrigeração, detergência, vedação, controle de corrosão e de desgaste. (ROUSSO, 1990)

As indústrias, fazem uso da técnica de lubrificação que inicialmente é aplicada para proporcionar um bom funcionamento de seus equipamentos e máquinas, e essa técnica, quando bem implantada, controlada e valorizada, com auxílio das análises físico-químicas periódicas, se torna uma importantíssima ferramenta para a manutenção preditiva que possibilita uma manutenção mais eficaz e econômica, pois, com base nos históricos de manutenção e relatórios de análises dos lubrificantes é possível programar uma manutenção, centralizá-la no problema ou em pontos que podem apresentar futuras falhas. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

As análises laboratoriais para controle de qualidade de lubrificantes apresentam resultados que permitem uma investigação com base nas características apresentadas pelo produto em uso, comparando-as com as iniciais de um lubrificante novo, sendo possível observar o que está de acordo e o que está fora dos parâmetros esperados e pré-estabelecidos (DAVI, 2006). O lubrificante pode ser contaminado ao longo de seu uso por diversas substâncias, como poeiras, fluidos do sistema e combustíveis que podem ser internas do equipamento ou externas do ambiente, essas possíveis contaminações podem provocar alterações de suas propriedades comprometendo suas características e impedindo suas funções lubrificantes, por isso há a necessidade do monitoramento do produto com acompanhamento analítico. (WEIDLICH, 2009).

A contaminação desses produtos por água pode ser bastante comum se não houver atenção aos procedimentos; ela pode ocorrer ainda no armazenamento antes do uso, durante o uso por falhas nos sistemas que armazenam e que utilizam água, por má vedação

e umidade externa do ambiente quando há abertura do sistema para coletas, reposições de peças e manutenções. Com suas propriedades comprometidas após a contaminação, o lubrificante pode não cumprir seu papel e acarretar grandes problemas no equipamento que se estenderão para a linha de produção, afetando todo o processo e acarretando vasto prejuízos. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Devido à importância da lubrificação no setor industrial e a busca do melhor produto para essa operação, é fundamental que todas as propriedades do lubrificante estejam dentro dos parâmetros de qualidade que quando contaminados por água podem provocar danos ao equipamento e redução de sua vida útil. A relação da contaminação com as possíveis mudanças ou perdas das propriedades físico-químicas servirá de ferramenta para formação de critério de uso e ações para recuperação do produto.

2 OBJETIVOS

Apresentam-se nos tópicos a seguir os objetivos gerais e específicos do trabalho.

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar mudanças de características físico-químicas de lubrificantes industriais quando contaminados por água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conceituar lubrificação e sua importância
- Apresentar as características físico-químicas de lubrificantes de uso industrial.
- Realizar ensaios em amostra de óleo lubrificante com e sem contaminação de água.
- Comparar resultados com parâmetros de qualidade.
- Identificar propriedades físico-químicas afetadas pela contaminação.

3 METODOLOGIA

A pesquisa a seguir é de caráter quantitativo, pois, analisará e apresentará resultados de ensaios que determinarão suas propriedades físico-químicas de lubrificantes industriais. Serão utilizados ensaios laboratoriais pertinentes para a investigação e comparação das principais propriedades físico-químicas com parâmetros de qualidade que permitirão verificar os efeitos que essa contaminação provoca. Quanto à metodologia, o trabalho faz opção pelo método comparativo, uma vez que irá correlacionar os dados experimentais obtidos com dados literários, sendo possível assim, identificar as mudanças das características iniciais do produto após contaminação.

4 REVISÃO DE LITEURATURA

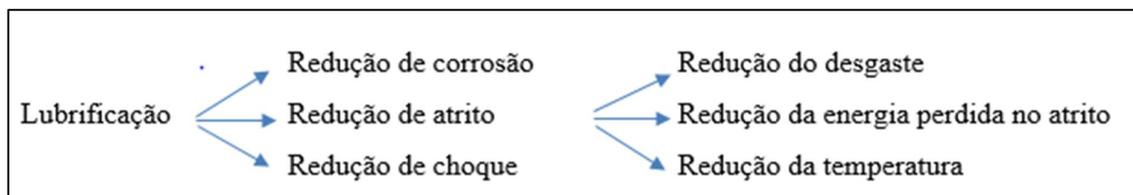
4.1 LUBRIFICAÇÃO

A lubrificação consiste em diminuir o atrito indesejável entre duas superfícies rígidas que estão em contato e em movimento, por meio da introdução de um produto lubrificante com propriedades específicas. Esse atrito é indesejável, pois, promove aquecimento do sistema e desgaste das partes em movimento e o lubrificante aplicado forma uma película de proteção eliminando o contato direto entre as superfícies onde o atrito ocorrerá com o fluido, que desliza sobre as partes se transformando em um atrito fluido. (WEIDLICH, 2009).

O atrito deve ser impedido ao máximo utilizando um lubrificante ideal, que atuará entre os corpos evitando o contato sem provocar corrosão, diminuindo a resistência ao deslizamento e proporcionando uma lubrificação perfeita. (ALBUQUERQUE,1973).

Esse método é largamente utilizado na indústria e atribuem outros benefícios, pois, um lubrificante, bem selecionado e controlado, promove redução do aquecimento, inibi corrosão e reduz choques entre as peças, benefícios esses que baseiam os objetivos da lubrificação que são, redução do consumo de energia, desgaste, aquecimento, corrosão e choque. Tais objetivos são alcançados das seguintes formas mostradas na Figura 1 abaixo. (ROUSSO, 1990).

Figura 1: Objetivos alcançados com a lubrificação.



Fonte: Rouso, 1990 p.29.

Nota: Adaptado pelo autor.

A lubrificação deve ser planejada e acompanhada de um plano que levará em considerações fichas técnicas, recomendações do fabricante, condições de trabalho do equipamento, distribuição da lubrificação e outros dados. O plano não deve ser utilizado individualmente, ele deve ser integrado com programas de manutenção, procedimentos de

produção, de estoques, compra e todas as ferramentas necessárias para o controle da indústria. (RUNGE; DUARTE; GEMPERLÉ, 1994).

A lubrificação pode ser classificada como total, limite e mista, ocorre de acordo com a película que é formada. Quando essa película separa completamente as partes em movimento, eliminando totalmente o atrito, é considerada lubrificação total e proporciona um desgaste praticamente insignificante. Quando a película é mais fina e em alguns momentos permite o contato das superfícies, é classificada como limite e, em condições severas de trabalho necessitam de aditivos para continuar protegendo as peças do atrito, quando essa lubrificação é empregada pode ocorrer desgastes nas partes metálicas. É classificada de lubrificação mista quando no sistema acontecem os dois casos já citados em momentos diferentes devido a movimentos diversos que as superfícies realizam durante a operação, por exemplo, na partida do equipamento exerce um movimento com menor velocidade que havendo uma película mais fina e quando acelera produz uma pressão hidrodinâmica que separa as partes e a película aumenta. (LUBRIFICAÇÃO..., c1997).

Para obter bons resultados em uma lubrificação é fundamental conhecer os componentes e sistemas integrados do equipamento, pois, a teoria de lubrificação se baseia em algumas máquinas específicas não sendo viável aplicar sempre os mesmos conceitos. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

4.2 LUBRIFICANTES E SUAS CARACTERÍSTICAS

Produtos lubrificantes podem ser qualquer substância que, quando aplicada entre duas superfícies em movimento diminui a resistência e o atrito, podem ser de origem animal, vegetal, sintético ou mineral obtido através do petróleo, são acrescidos de aditivos para melhorar algumas características essenciais para sua utilização e para maior durabilidade. (ALBUQUERQUE, 1973).

Para que o produto seja considerado um lubrificante adequado deve possuir características que proporcionam a formação de uma película com espessura que seja fluida e que mantenha as superfícies separadas e absorve os choques causados pelo movimento, além de possuir aderência na suficiente. (ROUSSO, 1990).

Apresentam-se nos estados gasoso, sólido, pastoso ou líquido e são classificados a partir de sua origem, sua base, refinação, viscosidade, tipo de serviço e uso. Sua qualidade

é constatada através de aplicações e validações que determinam seu desempenho. (WEIDLICH, 2009).

Os lubrificantes de origem animal e vegetal possuem baixa resistência à oxidação quando comparado com óleos minerais e sintéticos, por isso são utilizados apenas como agentes de oleosidades na formulação de produtos. Os sintéticos, que são preparados em laboratórios são muito eficientes, mas devido ao seu alto custo tornou-se obsoleto. O óleo de base mineral, derivado de petróleo apresenta características diversas e suas deficiências são compensadas com adição de aditivos na fabricação do produto final. (ROUSSO, 1990).

As bases minerais, que são mais utilizadas, têm como matéria prima o óleo cru que é obtido através do petróleo por refino e composto por mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas sendo hidrocarbonetos em maioria e a partir da relação numérica entre carbonos e hidrogênios tem-se óleos básicos se série parafínicos ou naftênicos. Não há como classificar um melhor que o outro, pois, possuem propriedades divergentes que serão indicados para determinados fins. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

O lubrificante é composto também por aditivos que são adicionadas ao óleo com as finalidades de melhorar suas propriedades como resistência a oxidação e índice de viscosidade, dando uma propriedade que inicialmente o produto não possuía como uma reserva alcalina. (RUNGE; DUARTE; GEMPERLÉ, 1994).

Os aditivos que serão adicionados ao lubrificante são selecionados a partir das condições de uso do produto final, a fim de proporcionar características especiais de acordo com a finalidade da aplicação. Estão entre seus objetivos: melhorar características resistência a oxidação, atividades detergentes, aumentar índice de viscosidade e adesividade. (ROUSSO, 1990).

Na adição de aditivos em lubrificantes é indispensável que haja o balanceamento, que é o fator mais importante durante a mistura, pois, esses adicionados atenderão a certas características, mas como é um composto químico pode reagir com outras substancias presentes no óleo base acarretando em falhas na mistura. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Suas características físico-químicas são diversas, sendo que as principais são:

- I. A viscosidade é a resistência do lubrificante ao fluir e é a característica mais importante do produto, pois, a partir dela é determinado o seu uso no equipamento.
- II. Índice de viscosidade é a relação da variação dessa propriedade com a variação de temperatura.

- III. A densidade relativa é obtida pela razão entre a densidade do lubrificante e a densidade da água, importante para saber o volume que o produto ocupará com a variação da temperatura.
- IV. O ponto de fulgor é a temperatura na qual os gases despreendidos pelo lubrificante se tornam inflamáveis, essa característica é destacada, deve ser conhecida para evitar acidentes tanto do produto em atividade e quando estocado. O ponto de fluidez é importante quando o produto é utilizado em baixas temperaturas, consiste na menor temperatura que ele flui e ainda exerce atividade. (ROUSSO, 1990).
- V. O número de neutralização ou índice de acidez total (IAT) apresenta o caráter ácido ou básico do lubrificante que vai depender da natureza do produto e do grau de deterioração que sofreu em serviço. (ALBUQUERQUE, 1973).
Avalia o grau de alcalinidade do óleo e é útil também para verificar a acidez, já que o lubrificante acumula ácidos resultantes da deterioração, seus resultados não são suficientes para indicar que ele está corrosivo ou não (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).
- VI. Índice base total (IBT), apresenta a capacidade do lubrificante em neutralizar os ácidos formados. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Para classificação de lubrificantes industriais além da sua origem e estado físico é utilizado também o sistema ISO (*International Standards Organization*), esse sistema se baseia na viscosidade cinemática quando está na temperatura de 40°C que representa um ponto médio dessa faixa de temperatura, assim facilitando a escolha para determinado fim, já que a viscosidade proporcionará a película protetora desejada. (SANT'ANNA, 2006).

Estabelecida desde de 1978, o sistema ISO, apresenta aos lubrificantes um Grau ISO, um óleo com viscosidade de 68 mm²/s terá um Grau ISO 68, esses graus são normalmente classificados em uma faixa de 2 a 1500 mm²/s e representam um ponto médio da viscosidade que pode estar 10% acima ou abaixo do valor nominal. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

4.3 SISTEMA E ÓLEO HIDRÁULICO

O princípio de um sistema hidráulico em um equipamento é utilizar um líquido que será submetido a uma força afim de gerar movimento e transmitir força mecânica, esse

fluido muitas vezes é um lubrificante conhecido como óleo hidráulico. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

O sistema hidráulico é de grande importância para acionamento e transferência de energia em equipamentos e sistemas integrais utilizados em operações industriais, sendo considerado o sistema mais eficiente para esse fim e é utilizado para gerar uma força que produz o máximo de energia no processo. Essa tecnologia é utilizada em diversos seguimentos na indústria que vão desde equipamento leves que auxiliam em montagem de automóveis até a equipamentos pesados como prensas metálicas e guindastes. (CARACTERÍSTICAS..., 2015).

O óleo em um sistema hidráulico exerce funções básicas de um lubrificante protegendo de desgastes, vedando o sistema contra a entrada de ar e atua também como transmissor de força no sistema. Algumas de suas características ideias e para essa função são as mostradas a seguir (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006):

- I. Apresentar uma viscosidade adequada que suporte as condições do sistema, pois, o mesmo será submetido a temperaturas específicas do sistema que podem estar entre 5°C e 80°C e à vigorosas agitações. Orienta-se que essa viscosidade esteja entre 5 e 850 mm²/s dentro das especificações do equipamento.
- II. Possuir altos índices de viscosidade para operar em sistemas com larga variação de temperatura.
- III. Ser resistente a oxidação que pode ser provocada quando o fluido trabalha em altas temperaturas por longos períodos causando deterioração do produto.
- IV. Propriedade antiferrugem para proteger o sistema de corrosão quando a umidade está presente.

Para a escolha de um óleo hidráulico além das características já vistas deve-se observar outras informações como econômicas, procurando um produto de baixo custo, já que os volumes utilizados nesses sistemas são altos; não ser tóxico nem inflamável, para assegurar a segurança dos operadores; ser quimicamente estável devido as variações das condições do sistema e estar dentro das especificações do equipamento que são preestabelecidas pelos fabricantes com base em análises de desempenho. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O material que foi utilizado no desenvolvimento da pesquisa foram quatro amostras de lubrificantes de sistema hidráulico, todos com classificação ISO 68 da mesma marca, sendo um deles um produto novo sem uso e os demais coletados em prensas hidráulicas do mesmo modelo, com o mesmo tempo de uso e com diferentes concentrações de água, previamente identificadas conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2: Concentração de contaminação de água presentes nas amostras.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	1	2	3	4
CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA (mg/kg)	293	598	777	1026

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os ensaios foram realizados com as amostras para quantificar a viscosidade cinemática às temperaturas de 40 e 100 °C, Índice total de acidez, contagem de partículas, densidade e determinação de elementos metálicos presentes na composição.

Todos os ensaios foram realizados em triplicata e calculado o desvio padrão.

5.1 ENSAIOS DE VISCOSIDADE CINEMÁTICA

A viscosidade cinemática é a resistência ao escoamento do lubrificante, como já foi visto essa é a característica mais importante do lubrificante, pois, é ela que proporcionará a formação da película protetora durante a lubrificação (ALBUQUERQUE, 1973).

Mede-se o tempo de escoamento do lubrificante pelo viscosímetro capilar, que sofre ação da gravidade, quanto mais rápido fluir menor a viscosidade e quanto mais lento maior. Esse ensaio é realizado em temperaturas padronizadas a 40°C e 100°C que é sempre identificada na apresentação de seus resultados. (RUNGE; DUARTE; GEMPERLÉ, 1994).

O resultado do ensaio é obtido relacionando-se o tempo (T) obtido e a constante (K) do viscosímetro capilar utilizado sendo dado pelo produto KT. A unidade de medida mais utilizada na indústria para expressar o resultado de viscosidade é centistokes (cSt) mas no sistema SI apresenta a unidade milímetro quadrado/ segundo (mm²/s), as duas medidas são equivalentes sendo 1 mm²/s = 1cSt. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

5.1.1 Materiais

- Equipamento viscosímetro automático Herzog HVM 472 (apresentado na Figura 3)
- Recipiente porta amostra de vidro
- Querosene biodegradável para limpeza (Arclean N)
- Isopropanol ou propan-2-ol

Figura 3: Viscosímetro Automático.



Fonte: Página da Pensalab.

Fonte: PENSALAB, 2016

Nota da rodapé: Disponível em <http://pensalab.com.br/produtos/hvm-472-multi-viscosimetro-cinematico-automatico-2/>.

5.1.2 Procedimento

O procedimento do ensaio foi baseado na norma ABNT NBR 10441- Produto de petróleo – Líquidos transparentes e opacos - Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). A amostra foi homogeneizada, identificada, e levada ao equipamento para análise.

5.2 DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS

Elementos metálicos estão presentes na formulação do lubrificante através de aditivos e principalmente por desgastes metálicos do equipamento, quando há a determinação desses elementos possibilita avaliar condições do equipamento detectando possíveis peças desgastadas ou em degradação. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Para a determinação dos elementos metálicos presentes nas amostras é utilizado a técnica de espectrofotometria de emissão atômica. Nessa técnica, há uma descarga elétrica, energia externa, que entra em contato com a amostra, essa energia faz os elétrons alcançarem o estado excitado e quando retornam para o estado fundamental emitem luz (com coloração e intensidade específicas de cada elemento) fornecendo o resultado de concentração de cada elemento. (SKOOG; WEST; HOOLER; CROUCH, 2006).

5.2.1 Materiais

- Equipamento Espectrofotômetro de emissão Atômica Spectroil M (apresentado na Figura 4)
- Eletrodo haste de grafite
- Eletrodo disco de grafite
- Porta amostra
- Óleo padrão blank Oil (0 mg/Kg de elementos metálicos)
- Óleo padrão S21+ Li (100 mg/Kg de elementos metálicos)
- Óleo padrão S21+ Li (900 mg/Kg de elementos metálicos)

Figura 4: Espectrofotômetro de emissão atômica.



Fonte: Mencoil Diagnosi Macchaniche, 2016

Nota de rodapé: disponível em <http://www.mecoil.net/en/spectro-scientific-instruments/#q100>.

5.2.2 Procedimento

O procedimento do ensaio é baseado na norma ASTM D6595 - *Determination of wear metals and contaminants in used lubricating oils or used hydraulic fluids by rotating disc electrode atomic emission spectrometry* e a unidade de medida utilizada para expressão de resultados é miligramas/ quilogramas (mg/kg). (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011).

Inicialmente foi realizado uma curva de calibração do equipamento utilizando três óleos padrões com a concentrações de 0, 100 e 900 mg/kg de 22 elementos metálicos, sendo eles, Ag, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Ti, V, Zn e Li. As amostras foram analisadas a seguir com a finalidade identificar os elementos Fe, Cr, Al e Sn, que fazem parte da composição das peças em contato com o sistema de lubrificação.

5.3 CONTAGEM DE PARÍCULAS

O ensaio de contagem de partículas determina a quantidade e tamanho das partículas sólidas presentes no lubrificante, essas partículas podem ser desde de poeiras que entraram no sistema até partículas de desgaste do equipamento, quando estão em altas quantidades podem entupir filtros presentes no sistema e prejudicar a lubrificação. (SANT'ANNA, 2006).

5.3.1 Materiais

- Equipamento contador de partículas Spectro LNF Q 200 – Spectrosul (apresentado na Figura 5)
- Ultrassom
- Querosene biodegradável
- Béquer de 150 ml

Figura 5: Contador de partículas.



Fonte: Direct Industry, 2016

Nota de rodapé: disponível em <http://www.directindustry.es/prod/spectro-scientific/product-153083-1579824.html>

5.3.2 Procedimento

O ensaio é realizado com base na norma ISO 4406 - *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding level of contamination by solid particles*. (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999).

As amostras são inicialmente levadas ao ultrassom por cerca de 3 minutos e em seguida ao equipamento para a contagem de partículas.

5.4 INDICE TOTAL DE ACIDEZ (IAT)

O índice total de acidez de um lubrificante apresenta seu caráter ácido e é importante para verificar as condições dos aditivos e se há deterioração que está elevando sua acidez, sua medida é relacionado com a quantidade de reagente necessário para neutralizar os ácidos presentes no lubrificante. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

O método utilizado para determinar esse índice é titulação potenciométrica onde a amostra dissolvida em um solvente é titulada com solução de hidróxido de potássio (KOH) até a obtenção do resultado, o procedimento é realizado conforme norma ABNT NBR 14448- Óleos lubrificantes, produtos de petróleo e biodiesel- Determinação do número de acidez pelo método de titulação potenciométrica. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

5.4.1 Materiais

- Equipamento titulador automático DL 53 – Mettler (apresentado na Figura 6)
- Balança analítica
- Pipeta graduada de 100 ml
- Balão volumétrico de 1000 ml
- Proveta de 500 ml
- Béquer de 100 ml
- Água destilada
- Hidróxido de potássio 0,1 mol/L em meio alcoólico (comercial)
- Isopropanol P.A.
- Tolueno P.A.
- Solução tampão pH 4
- Solução tampão pH 7

Figura 6: Titulador automático DL 53 – Mettler.



Fonte: Teck Trader, 2016

Nota de rodapé: Disponível em <http://www.techtrader.com.au/current-specials.html>.

5.4.2 Procedimento

A massa da amostra, a ser analisada o índice de acidez, depende de uma previsão de resultado, sendo determinada conforme Figura 7. A amostra é dissolvida em uma solução 50% de tolueno, 49,5% de isopropanol e 0,5% de água. A titulação é realizada com solução alcoólica de hidróxido de potássio 0,1 mol/L, previamente padronizada. As eficácias dos eletrodos são verificadas com soluções padrões de pH 4 e pH 7 antes da realização do ensaio.

Figura 7: Massa da alíquota da amostra.

Índice de acidez mg KOH/g esperado	Massa da alíquota (g)
0,05 a < 1,00	20,0 +/- 2,0
1,00 a < 5,00	5,0 +/- 0,5
5,00 a < 20,00	1,0 +/- 0,1
20,00 a < 100,00	0,25 +/- 0,02
100,00 a < 260,00	0,10 +/- 0,1

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 14448 Óleos lubrificantes, produtos de petróleo e biodiesel - Determinação do número de acidez pelo método de titulação potenciométrica. 2013, p 10. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Nota: Adaptada pelo autor.

5.5 DENSIDADE

A densidade de um óleo lubrificante é geralmente padrão e é informada muitas vezes em fichas técnicas que acompanham o produto, quando analisada e observadas variações além dos limites pode se identificar alguma tendência de contaminação. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

O ensaio é realizado com base na norma ABNT NBR 14065– Destilados de petróleo e óleos viscosos – Determinação da massa específica e da densidade relativa pelo densímetro digital. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b).

5.5.1 Materiais

- Equipamento densímetro automático DA 650 Kyoto-Kem (apresentado na Figura 8)
- Frasco porta amostra
- Tolueno
- Acetona
- Óleo padrão

Figura 8: Equipamento Densímetro automático DA 650 Kyoto-Kem.



Fonte: Kem Kyoto electronics, 2016

Nota de rodapé: Disponível em <http://www.kyoto-kem.com/en/product/da6xx/>.

5.5.2 Procedimento

A amostra é succionada pelo equipamento, que após alguns minutos apresentados os resultados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 VISCOSIDADE

O equipamento succinou a amostra e a aqueceu até que atingisse a temperatura do ensaio, em seguida um volume fixo da amostra foi submetido ao escoamento pelo tubo viscosímetro presente em um banho líquido também mantido a temperatura do ensaio. O tempo de escoamento foi medido pelo equipamento onde foi relacionado com a constante do tubo viscosímetro e apresentando o resultado.

Na Figura 9 são apresentados as médias de resultados obtidos após o ensaio de viscosidade à 40°C e 100°C em mm²/s, apresentados pelos quatro números significativos conforme expressão de resultados da norma que determina o procedimento do ensaio.

Figura 9: Resultados de Viscosidade.

ENSAIOS	RESULTADOS (mm ² /s)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Viscosidade 40°C	69,56 ± 0,05	68,4 ± 0,03	78,22 ± 0,02	84,26 ± 0,02
Viscosidade 100°C	10,6 ± 0,01	10,36 ± 0,02	11,54 ± 0,03	14,79 ± 0,03

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 10, é apresentado resultados da ficha técnica do produto novo, limites de variação, a partir dessa ficha, estabelecidos pela literatura e pelo laboratório LABELT para que possa considerá-lo próprio para uso.

Figura 10: Dados para comparação de viscosidade.

ENSAIOS	AMOSTRAS		
	Ficha técnica	Limites Literatura	Limites LABELT
Viscosidade 40°C	69,60 mm ² /s	± 20%	± 20%
Viscosidade 100°C	11,08 mm ² /s	± 20%	± 20%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando os resultados detecta-se que mesmo com pouca contaminação, caso da amostra 2 que se encontra dentro dos limites, a propriedade tem uma leve queda e a partir da amostra 3 há um aumento significativo e que apesar de estar dentro dos limites se mantém em alerta o seu uso. A amostra 4 apresentou viscosidade elevada ultrapassando os resultados estabelecidos para seu uso.

A elevação da viscosidade é ocasionada pela presença de emulsão que se forma com a mistura do lubrificante com a água e quando essa propriedade ultrapassa o limite de 20% deve-se retirar o produto de uso, pois sua principal propriedade foi comprometida. (RUNGE; DUARTE, 1990).

6.2 METAIS

Na Figura 11 são apresentados as médias de resultados obtidos após o ensaio de determinação de elementos metálicos expressados em mg/kg.

Figura 11: Resultados de metais.

ENSAIOS	RESULTADOS (mg/kg)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Fe	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
Al	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
Cr	6 ± 0	2 ± 0	6 ± 0	20 ± 1
Sn	15 ± 0,5	8 ± 0	14 ± 0,5	27 ± 1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 12 apresenta limites máximos para a presença de elementos metálicos encontrados na literatura e em dados do laboratório LABELT.

Figura 12: Dados para comparação de metais

ENSAIOS	AMOSTRAS	
	Limites Literatura	Limites LABELT
Fe	Máx. 50	Máx. 100
Al	Máx.10	Máx. 10
Cr	Máx.25	Máx. 20
Sn	Não informado	Máx.50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram analisados os elementos metálicos que estão presentes na composição de peças que compõe o sistema mecânico que quando detectados no lubrificante fornece indícios de desgaste dessas peças uma das causas pode ser ineficiência na lubrificação. (RUNGE; DUARTE, 1990).

Observando os resultados obtidos nota-se que nenhum elemento tem sua concentração superior que os limites estabelecidos, mas seu aumento ocorre

proporcionalmente com a contaminação da água, devendo-se observar outras propriedades que se relaciona com essa característica.

6.3 CONTAGEM DE PARTÍCULAS

As amostras são levadas ao ultrassom com a finalidade de eliminação de bolhas presentes no óleo em seguida são succionadas pelo equipamento, esse, por sua vez, realiza a contagem das partículas que é analisado pela célula de leitura do equipamento, expressando a quantidade de partículas sólidas nos tamanhos de 4 um, 6 um e 14 um.

Na Figura 13 são apresentados as médias de resultados de contagem de partículas.

Figura 13: Resultados de contagem de partículas.

ENSAIOS	RESULTADOS (número de partículas por mL)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
4 um	989 ± 4	3.667 ± 16	60.032 ± 67	-
6 um	295 ± 2	813 ± 12	14.087 ± 32	-
14 um	31 ± 18	107 ± 9	2344 ± 21	-
ESCALA ISO	17/15/12	19/17/14	23/21/18	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para encontrar o ISO a partir das quantidades de partículas encontradas por tamanho é utilizado dados presentes na norma que determina o ensaio, esses dados são exibidos na Figura 14.

Figura 14: ISO a partir de quantidade de partículas.

N° de partículas por mL		N° da escala ISO
Mais de	Até (Inclusive)	
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	09
1,3	2,5	08
0,64	1,3	07
0,32	0,64	06
0,16	0,32	05
0,08	0,16	04
0,04	0,08	03
0,02	0,04	02
0,01	0,02	01
0	0,01	0

Fonte: Norma ISSO 4406, 1999. p 03.

Nota: Adaptada pelo autor.

Na Figura 15 são apresentadas quantidades de partículas sólidas permitidas no lubrificante consideradas pelo laboratório LABELT.

Figura 15: Limites de partículas considerado pelo LABELT.

ENSAIOS	AMOSTRAS
	Número de partículas sólidas aceitáveis
4 um	10.000
6 um	2.500
14 um	320
ISO	20/18/15

Fonte: Elaborado pelo autor.

As partículas encontradas no lubrificante podem ter relação com diversos contaminantes sólidos como metais de desgaste e poeira oriunda do ambiente de trabalho. (RUNGE; DUARTE, 1990).

Quando há um aumento da contaminação de água também é encontrado mais partículas nas amostras e propriedades que elevam o desgaste do equipamento. Os resultados da amostra 3 mostra essa relação e ultrapassa os limites estabelecidos. Não foi possível identificar as partículas na amostra 4, pois a água presente impossibilita a contagem formando bolhas na amostra no momento de sucção.

6.4 IAT – Índice total de acidez.

As amostras são tituladas pelo equipamento até a obtenção do resultado, apresentado, que são baseados em medidas de potencial elétrico detectados por dois eletrodos, sendo um de referência e outro indicador. (SKOOG; WEST; HOOLER; CROUCH, 2006).

O titulador automático realiza todos os cálculos fornecendo os resultados apresentados na Figura 16 em mg KOH/g.

Figura 16: Resultados de índice total de acidez.

ENSAIOS	RESULTADO (mg KOH/g.)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Índice total de acidez.	0,68 ± 0,01	0,86 ± 0,01	1,60 ± 0,03	1,90 ± 0,03

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 17 é apresentado os limites considerados pelo laboratório LABELT de índice de acidez do óleo lubrificante.

Figura 17: Limites de índice de acidez considerado pelo LABELT.

ENSAIOS	AMOSTRAS
	Limites LABELT
Índice total de acidez.	Máx. 1,5 mg KOH/g.)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar de muitas vezes proporcional, não se deve relacionar diretamente o aumento de índice de acidez com a corrosão do sistema, pois esse índice também pode estar relacionado com os aditivos presentes no lubrificante então é necessário avaliar todos os testes para se chegar a uma melhor interpretação dessa análise. (RUNGE; DUARTE, 1990).

Com base nos resultados obtidos observa-se que com o aumento da contaminação de água eleva-se também seu índice de acidez devido a água ter o poder de oxidação. As amostras 3 e 4 tem seus resultados acima do limite.

Quando há oxidação continua do óleo pode ocorrer a formação de ácidos a partir da degradação do produto. (RUNGE; DUARTE, 1990).

6.5 IAT – Densidade

Após ser succionada pelo equipamento a amostra entra em contato com a célula de leitura permanecendo lá até a estabilização de temperatura, previamente configurada para 20°C, em seguida é realizado a leitura da densidade, os resultados estão apontados na Figura 18 em g/mL.

Figura 18: Resultados de densidade.

ENSAIOS	RESULTADOS (g/mL)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Densidade	0,88 ± 0,01	0,89 ± 0,01	0,94 ± 0,01	0,98 ± 0,01

Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade de um lubrificante novo apresentado em sua ficha técnica é de 0,879 g/mL, nas amostras contaminadas por água que tem uma densidade maior, 1g/mL, obteve-se resultados mais altos.

Essa propriedade não permite identificar o tempo de uso do produto, mas quando alterada, aponta a possibilidade da existência de contaminação. (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

A estabilidade da densidade do lubrificante é essencial para determinar volumes do sistema e cálculos de transferência de calor pré-determinados, o que não acontece quando contaminado. (RUNGE; DUARTE, 1990).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão bibliográfica foi possível conceituar os lubrificantes e sua importância e apresentar as características físico-químicas do produto de uso industrial, sendo elas, essenciais para o desenvolvimento do trabalho.

Quatro amostras foram submetidas a ensaios e comparadas com parâmetros de resultados, no qual se observou que a viscosidade, elementos metálicos, partículas sólidas presentes, índice total de acidez e densidade foram afetadas, sofrendo variações, quando se havia alta concentração de água, resultando em ineficiência na lubrificação, já que com isso o lubrificante não exercerá as funções esperadas, contribuindo para a ocorrência de diversos danos mecânicos e prejuízos a indústria.

Com base nos resultados apresentados foi possível observar as propriedades afetadas que possibilita uma análise mais profunda do produto sendo possível criar critérios para o seu uso, visto contaminações conforme apresentado a partir da amostra 3 suas características são comprometidas impedindo o seu uso.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Olavo A. L. Pires. **Lubrificação**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1973. 138 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6595**: Determination of wear metals and contaminants in used lubricating oils or used hydraulic fluids by rotating disc electrode atomic emission spectrometry. Estados Unidos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10441**: Produto de petróleo – Líquidos transparentes e opacos - Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 14448**: Óleos lubrificantes, produtos de petróleo e biodiesel - Determinação do número de acidez pelo método de titulação potenciométrica. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 14065**: Destilados de petróleo e óleos viscosos – Determinação da massa específica e da densidade relativa pelo densímetro digital. Rio de Janeiro, 2013b.

CARACTERÍSTICA dos sistemas hidráulicos. **Mecânica Industrial**, c2015. Disponível em: <<http://www.mecanicaindustrial.com.br/32-caracteristicas-dos-sistemas-hidraulicos/>> Acesso em 01 de mai. 2016.

CARRETEIRO, Ronald P.; BELMIRO, Pedro Nelson A. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 504 p.

DIRECT INDUSRY. **Contador de Partículas**. Disponível em: <http://www.directindustry.es/prod/spectro-scientific/product-153083-1579824.html>. Acesso em 26 de mai. 2016.

INMETRO. **Sistema Internacional de unidades**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/sistema-internacional-unidades.pdf> Acesso em 22 de mai. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4406**: Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding level of contamination by solid particles. Geneva, 1999.

KEM KYOTO ELECTRONICS. **Density**. Disponível em: <http://www.kyoto-kem.com/en/product/da6xx/>. Acesso em: 26 de mai. 2016.

LUBRIFICAÇÃO mecânica. **Abraman**, c1997. Disponível em : <<http://www.abraman.org.br/docs/apostilas/mecanica-lubrificacao.pdf>>. Acesso em: 04 de abr. 2016.

MENCOIL DIAGNOSI MACCANICHE. **Spectro Scientific instruments**. Disponível em: <http://www.mecoil.net/en/spectro-scientific-instruments/#q100>. Acesso em 26 de mai. 2016.

PENSALAB. **HVM 472 Multi Viscosímetro Cinemático Automático**. Disponível em: <http://pensalab.com.br/produtos/hvm-472-multi-viscosimetro-cinematico-automatgico-2/>. Acesso em: 26 de mai. 2016.

ROUSSO, José. **Lubrificação Industrial**. 4^a ed. Rio de Janeiro: CNI, 1990. 125 p.

RUNGE, Peter R. F.; DUARTE, Gilson N. **Lubrificantes nas Industrias**. Cotia: Triboconcept, 1990, 323 p.

RUNGE, Peter R. F.; DUARTE, Gilson N.; GEMPERLÉ, Roland. **Lubrificação Automotiva**. Cotia: Triboconcept Editora Técnica, 1994. 384 p.

SANT'ANNA, Davi Vieira. **Análise de óleos lubrificantes para programa de manutenção**. 2006. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2006.

SKOOG, A. D., WEST, D. N., HOLLER, J. F, CROUCH, R. S., **Fundamentos da Química Analítica**, Thonson Learning, 2006. Tradução da 8^a ed. Norte americana. 999 p.

TECH TRADER. Featured In-Stock Equipment. Disponível em: <http://www.techtrader.com.au/current-specials.html>. Acesso em: 26 de mai. 2016.

WEIDLICH, Felipe. **Avaliação da lubrificação de rolamento de motores elétricos por ultrassom**. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.