

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA  
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**DOUGGLAS EDUARDO DA SILVA**

**LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL  
ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE**

GOIANÉSIA / GO  
2021

DOUGGLAS EDUARDO DA SILVA

**LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL  
ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA / GO  
2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

S5811

Silva, Douglas Eduardo da.

Lubrificação Industrial/Análise de Óleo Lubrificante.

Douglas Eduardo da Silva – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021- Faceg, 2021.

42 p.; il.

Orientador: Prof. Dr Thiago Ferreira da Cunha.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia:

FACEG,2021.

1. Lubrificação Industrial. 2. Análise de Óleos Lubrificantes. 3. Óleo  
4. Lubrificantes.

I. Silva, Douglas Eduardo da. II. Lubrificação Industrial/Análise de Óleo Lubrificante.

CDU 621

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, DOUGGLAS EDUARDO DA. Lubrificação Industrial / Análise de Óleo Lubrificante. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 42p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME: DOUGGLAS EDUARDO DA SILVA

GRAU: BACHAREL

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia Goiás a permissão para reproduzir cópias da Monografia de graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte deste Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que a citada a fonte.

*Douglas Eduardo da Silva*

Douglas Eduardo da Silva

CPF: 032.029.611-36

End: Rua 1 Qd 27 Lt 16A Res. Parque das Palmeiras 76380000 – Goianésia/GO – Brasil

E-mail:douglas\_voip@hotmail.com

DOUGGLAS EDUARDO DA SILVA

**LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL  
ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Goianésia, 25 de junho de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Thiago Ferreira da Cunha - Orientador  
Faculdade Evangélica de Goianésia

---

Prof. Dr. Cléber Caetano Thomazi  
Faculdade Evangélica de Goianésia



---

Prof. Dra. Lauriane Gomes Santin  
Faculdade Evangélica de Goianésia

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, minha esposa e minha filha que me apoiaram emocionalmente colaborando para que eu chegasse até aqui com muita dedicação, esforço e perseverança.

Aos meus amigos, colegas de classe, professores, em especial ao nosso querido orientador **Dr. Thiago Ferreira da Cunha**, pela disposição em nos ajudar e melhorar nosso trabalho a cada dia e a toda a equipe da Faculdade Evangélica de Goianésia.

**Douglas Eduardo da Silva**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores que contribuíram para a formação do conhecimento, em especial ao professor orientador **Dr. Thiago Ferreira da Cunha** pela paciência, disponibilidade e dedicação em nos orientar na criação deste trabalho por meio do amplo conhecimento na área da integridade estrutural e à minha família que me apoiou ao longo de minha trajetória.

**Douglas Eduardo da Silva**

“O sucesso não ocorre por acaso, nasce sobretudo de muito esforço e dedicação.”

**Henry Ford**

## RESUMO

A análise de óleo lubrificante aplicada em uma indústria de mineração faz parte do processo de manutenção e desempenha um papel fundamental. Grande parte dos equipamentos utilizados na mineração necessitam de lubrificação para desempenhar suas funções. Apesar da lubrificação ser de extrema importância para garantir o pleno funcionamento dos equipamentos, muitas empresas, por desconhecimento dos benefícios que se pode obter ao buscar os requisitos da gestão dos lubrificantes, tendem a negligenciar essa forma de manutenção. O trabalho desempenha um papel de extrema importância dentro de uma indústria de mineração, que é o gerenciamento dos óleos lubrificantes em determinadas áreas e equipamentos. O objetivo é apresentar o conceito sobre a lubrificação industrial e sua gestão, expondo as diretrizes e procedimentos básicos para realização das análises dos óleos lubrificantes, elaborando um conceito sobre seus efeitos na manutenção preventiva e preditiva dos ativos. Abordaremos algumas análises de óleo e seus rendimentos utilizando distintos equipamentos, avaliando o desempenho e confiabilidade. A organização pode aumentar o desempenho da produção e auxiliar na redução de custos do produto. Por fim, fica constatado a importância dos procedimentos de coleta e análise do óleo, que fazem parte do rol de ferramentas da manutenção preventiva e preditiva, e, assim como um exame de sangue, a análise de óleo lubrificante transmitem dados essenciais sobre a integridade dos ativos. Sempre que um lubrificante é avaliado, conseqüentemente é avaliado o equipamento atrelado a ele. A motivação da realização desse trabalho está relacionada diretamente com o cotidiano do autor como profissional da área industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Óleo – Lubrificação – Lubrificante – Petróleo – Manutenção – Indústria

## **ABSTRACT**

Lubricating oil analysis applied in a mining industry is part of the maintenance process and plays a key role. Much of the equipment used in mining requires lubrication to perform its functions. Although lubrication is of extreme importance to ensure the full functioning of the equipment, many companies, due to unawareness of the benefits that can be obtained by pursuing the requirements of lubricant management, tend to neglect this form of maintenance. The work performs a very important role within a mining industry, which is the management of lubricating oils in certain areas and equipment. The objective is to present the concept of industrial lubrication and its management, exposing the guidelines and basic procedures for conducting analyses of lubricating oils, elaborating a concept of its effects on the preventive and predictive maintenance of assets. Some oil analyses and their yields using different equipment will be addressed, evaluating the performance and reliability. The organization can increase production performance and help reduce product costs. Finally, the importance of oil collection and analysis procedures are part of the preventive and predictive maintenance tools, and just like a blood test, lube oil analysis transmits essential data about the integrity of the assets. Whenever the lubricant is evaluated, it is also the equipment that is connected to it. The motivation for this work is directly related to the author's daily life as a professional in the industrial area.

**KEYWORDS:** Oil Analysis – Lubrication – Lubricant – Petroleum – Maintenance – Industry

## **LISTAS DE ABREVIATURAS**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASTM - *AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS*

H<sub>2</sub>S - SUFATO DE HIDROGÊNIO

ISO - *INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*

NAS - *NATIONAL AEROSPACE STANDARD*

NFPA - *NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION*

NH<sub>3</sub> - AMÔNIA

SAE - *SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS*

TAN - *TOTAL ACID NUMBER*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - A origem da palavra petróleo vem do latim petra (pedra) + oleum (óleo).</b> .....	12
<b>Figura 2- Processo Simplificado de Produção de Óleos Básicos.</b> .....	14
<b>Figura 3 - Classificação de Viscosidade Segundo a ISO 3448</b> .....	14
<b>Figura 4 - Formas possíveis de partículas (German, 1994).</b> .....	22
<b>Figura 5 - Ferramenta para coleta de óleo</b> .....	26
<b>Figura 6 - Amostra de óleo pronta para o envio</b> .....	27
<b>Figura 7 - Dashboard do site online</b> .....	27
<b>Figura 8 Sistema de Filtragem OFF LINE</b> .....	28
<b>Figura 9 - Diagnóstico da análise de óleo</b> .....	29
<b>Figura 10 - Unidade Hidráulica do Britador</b> .....	30
<b>Figura 11 - Diagnostico presença de água no óleo</b> .....	30
<b>Figura 12 - Caixa redutora</b> .....	31
<b>Figura 13 - Diagnostico de espectrometria do óleo</b> .....	31
<b>Figura 14 – Redutor</b> .....	32
<b>Figura 15 -Diagnostico de análise de óleo, viscosidade abaixo</b> .....	32

## **LISTA DE TABELA**

<b>Tabela 1 – Lista dos equipamentos avaliados .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 2 - Lista de Ferramentais para coleta de óleo .....</b>	<b>26</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	OBJETIVOS .....	10
1.2	OBJETIVO GERAL .....	10
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	10
1.4	JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA</b> .....	<b>12</b>
2.1	LUBRIFICANTES .....	12
2.2	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES .....	13
2.3	TIPOS DE ÓLEOS LUBRIFICANTES .....	16
2.4	ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES .....	19
2.5	ANÁLISE DE FERROGRAFIA .....	19
2.6	ANÁLISE DE ADITIVOS .....	20
2.7	ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO .....	21
2.8	ANÁLISE DE VISCOSIDADE .....	21
2.9	ANÁLISE DE PARTÍCULAS .....	22
2.10	ANÁLISE DE ACIDEZ DO ÓLEO .....	23
2.11	ANÁLISE DE PRESENÇA DE ÁGUA .....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>PESQUISA DE CAMPO</b> .....	<b>26</b>
4.1	PROCEDIMENTO DE COLETA DE AMOSTRA .....	26
4.2	PROCEDIMENTO DE ENVIO DA AMOSTRA .....	27
4.3	RECEBIMENTO DO LAUDO .....	27
4.4	TRATATIVA DOS LAUDOS .....	28
4.5	CASO 1: CONTAMINAÇÃO POR PARTÍCULAS SÓLIDAS .....	28
4.6	CASO 2: CONTAMINAÇÃO POR ÁGUA .....	29
4.7	CASO 3: CONTAMINAÇÃO POR DESGATE DOS COMPONENTES INTERNOS .....	30
4.8	CASO 4: VISCOSIDADE ABAIXO DO NORMAL .....	31
<b>5</b>	<b>RESULTADO</b> .....	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A lubrificação em uma indústria mineradora faz parte do processo produtivo e desempenha um papel fundamental sobre os ativos. Grande parte dos equipamentos e máquinas utilizadas na mineração necessitam de lubrificação para desempenhar suas funções requeridas. Para um bom desempenho no setor industrial, alguns cuidados são necessários com os ativos. Há análise de óleo e uma das ferramentas mais importantes para garantir o bom desempenho dos equipamentos, mantendo um lubrificante que atenda aos requisitos de cada Máquina e/ou equipamento. A análise do óleo lubrificante é utilizada com objetivo principal de identificar as condições do óleo e possíveis falhas dos ativos, aumentando a qualidade da lubrificação, há confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos (Hernandes P., 2018).

A gestão da lubrificação torna-se mais abrangente quando direcionada para a saúde do ativo, melhorando sua eficiência e proporcionando crescimento da taxa de produtividade das empresas (SILVA E WALLBANK, 1998).

Partindo dessa prática, o objetivo é apresentar o conceito sobre a lubrificação industrial e sua gestão, expondo as diretrizes e procedimentos básicos nas análises dos óleos lubrificantes utilizados em uma indústria de mineração. A lubrificação e análise de óleo lubrificante visam qualidade, desempenho, custo, disponibilidade e confiabilidade dos ativos que proporcionam maior segurança no processo de produção, assim facilitando o cumprimento das metas de produção estabelecidas.

SENAI-ES, 1997 descreve que a falta de lubrificação pode acarretar sérios problemas, levando a falhas prematuras dos componentes dos equipamentos e máquinas, vindos assim a aumentar o custo de manutenção. A análise de óleo de lubrificação torna possível a verificação das condições de aplicação e eficiência do tipo de lubrificante aplicado na indústria de mineração.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.2 OBJETIVO GERAL

Apresentar o conceito sobre a lubrificação industrial e sua gestão, expondo as diretrizes e procedimentos básicos para realização das análises dos óleos lubrificantes utilizados em uma indústria de mineração.

### 1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

O trabalho tem por objetivos específicos informar sobre a lubrificação industrial e seus efeitos na manutenção preventiva e preditiva dos ativos. A motivação da realização desse trabalho de conclusão de curso está muito relacionada com o dia-a-dia do autor como profissional da indústria, assim, há o foco na elaboração do estudo com ênfase no conceito de lubrificação industrial e análise de óleo lubrificante, com uma abordagem simples e rica em detalhes que orientará os principais cuidados e precauções na gestão de lubrificação industrial. Assim, como pilar central, o trabalho será elaborado com auxílio da metodologia KAIZEN<sup>1</sup> que tem como base: “*fazer o hoje melhor que ontem e o amanhã melhor que hoje*”.

Busca-se indicar e orientar melhorias voltadas para área da lubrificação e análise de óleo lubrificante, visando qualidade, segurança e redução de custo no ambiente industrial. Uma vez profissional da indústria, o autor vivência as metas desafiadoras e acredita que a lubrificação industrial e sua gestão desenvolve um papel muito importante em tais metas. Ao longo desse projeto, existem inúmeros desafios e, ao elaborar um conteúdo que é vivenciado na prática, pode gerar valor para as futuras gerações.

---

<sup>1</sup> KAIZEN e de origem Japonesa que significa “melhoria contínua”.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Devido à lubrificação industrial desenvolver um importante papel no processo produtivo de uma mineradora, essa literatura irá proporcionar um rico conteúdo, que funcionará como um manual de orientação para na prática de gestão da lubrificação, trazendo um aspecto bastante detalhado das boas práticas de manutenção. Porém, sua linguagem intuitiva levará o leitor a aplicar sua contextualização de forma fácil e rápida.

Por um longo tempo, a lubrificação foi bastante desconsiderada e, muitas vezes, esquecida, sendo que deve desempenhar um dos papéis mais importantes dentro de uma indústria. Atualmente, a lubrificação está sendo mais valorizada, mesmo assim, ainda é comum que não se reconheça a sua importância e o seu devido desempenho. Por isso, a motivação desse trabalho voltada para a área de lubrificação. Após algumas pesquisas, nota-se que as empresas que investem fortemente na área de lubrificação com seus devidos conceitos aplicados, sempre procuram continuamente inovar, tanto na qualidade dos seus lubrificantes como na qualidade dos equipamentos. Isso é feito investindo em boas contratações de laboratórios para realizar o acompanhamento de seus lubrificantes, além de treinamentos para seus colaboradores para melhor suprir suas necessidades. Essas empresas têm o custo de manutenção corretiva quase zerado, levando em conta que uma parada não planejada de um equipamento custa uma quantia exorbitante quando compara a uma parada planejada para manutenção. O devido monitoramento dos equipamentos e seus lubrificantes ocasionam uma melhor disponibilidade e manutenibilidade. Dessa forma, possibilita melhores resultados, alcançando metas e disponibilidade estabelecidos para os ativos, viabilizando baixo custo de manutenção.

Conforme descrito por CABRAL 2006, uma das áreas que também, aos poucos, vem ganhando seu espaço no ramo industrial é a área de melhoria contínua, que tem como foco melhorar e suprimir várias necessidades com o objetivo de prolongar a vida útil dos ativos, baixar o custo de manutenção e aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos para empresa. Além disso, outro foco muito importante desenvolvido por essa área é melhorar as condições de funcionamento e operação, minimizando os riscos de acidentes com seus colaboradores.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 LUBRIFICANTES

A lubrificação está presente na civilização a muitos séculos. Dados históricos confirmam que há mais de mil anos A.C. o homem já utilizava processos de diminuição de atrito pela lubrificação, mesmo sem conhecer seus fundamentos teóricos. A lubrificação desempenha um papel muito importante nas máquinas e equipamentos como, por exemplo, a máquina de lavar roupa doméstica, a qual necessita de lubrificação e de relubrificação ao longo do ciclo de vida (STOETERAU, 2014).

Geralmente a lubrificação não está à vista, pois ela se encontra na parte interna dos compartimentos e entre as engrenagens de um equipamento, assim, desempenhando uma importante função em qualquer máquina. A lubrificação está ligada diretamente ao petróleo, porém há outras fontes que se extrai o lubrificante como, vegetal e animal.

Atualmente, os lubrificantes derivados do petróleo são mais frequentemente empregados na indústria, devido sua produção equivalente. A origem do petróleo, conforme ilustrado a seguir, na Figura 1, baseado em Thomas, 2004 se dá através da derivação do latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo).



**Figura 1 - A origem da palavra petróleo vem do latim *petra* (pedra) + *oleum* (óleo).**

**Fonte: Autoria própria**

Há inúmeras referências do petróleo na civilização antiga como: egípcios, gregos, persas, fenícios e astecas, além de relatos em texto bíblicos<sup>2</sup>. Tais referências indicam o uso em diversas aplicações como, embalsamento, calafetação de embarcação, flechas incendiárias e material de construção.

Thomas, 2004 comenta que o petróleo está na vida do homem desde os tempos bíblicos, onde que os antigos babilônicos, egípcios e os gregos o utilizavam para pavimentação, calafetação de embarcação, construção e embalsamento de mortos.

<sup>2</sup> "betumarás com **betume** sua **arca**, tanto por dentro como por fora" (Gênesis, 6:14)

Conforme SENAI-ES, 1997 descreve que existem praticamente três tipos básicos de produtos para realizar a lubrificação: o óleo lubrificante, muito conhecido na aplicação de motores de automóveis, caixas redutoras e máquinas em geral; a graxa, um complexo de sabão base<sup>3</sup> e óleo base, comumente utilizado em diversos equipamentos como, ventiladores, redutores, sistema de lubrificação e sistemas hidráulicos; e o lubrificante sólido, onde sua aplicação pode ser em pó e/ou em barra, um exemplo é o grafite, comumente utilizado para lubrificação em correntes de transmissão.

Com a primeira revolução industrial, o mercado de lubrificante cresceu significativamente e perpetua seu desenvolvimento até os dias atuais. Empregado em diversos setores, o mercado de lubrificante tem seu espaço em indústria de mineração, têxteis, fábricas de cimento, siderurgias e fabricas de papel e celulose.

A falta de lubrificação pode acarretar sérios problemas, levando a falhas prematuras dos componentes dos equipamentos e máquinas, vindos assim a aumentar o custo de manutenção (SENAI-ES 1997).

A lubrificação é muito utilizada na indústria em todo mundo e para garantir que desempenhe seu papel, é muito importante a gestão nessa área, garantindo que seja aplicado o lubrificante certo, com a dosagem correta, cuidado e segurança recomendadas, evitando assim o desperdício, contaminação e degradação dos componentes lubrificados. Com a gestão da lubrificação, as indústrias conseguem se manter competitivas no mercado, proporcionando um produto de qualidade, com eficiência e eficácia, assim reduzindo custos operacionais.

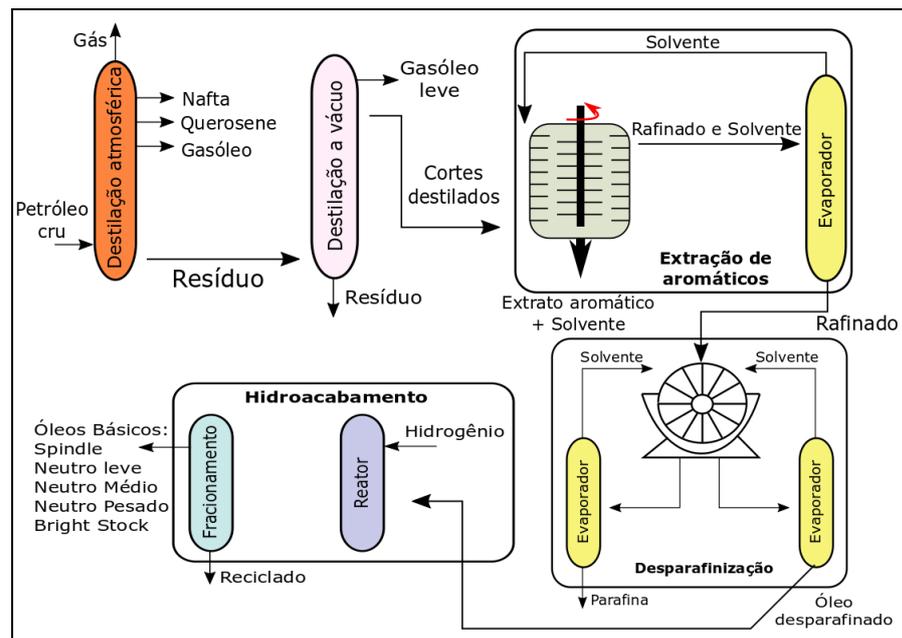
A gestão da lubrificação torna-se mais abrangente quando direcionada para a saúde do ativo, melhorando sua eficiência e proporcionando crescimento da taxa de produtividade das empresas (SILVA E WALLBANK, 1998).

## 2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES

A fabricação dos óleos lubrificantes tem como base a matéria-prima o petróleo cru. Para a obtenção dos óleos lubrificantes é necessário a matéria-prima passar por vários processos, como pode ser visto na Figura 2. A figura traz o processo simplificado de produção do óleo básico, nos quais alguns elementos indesejáveis são eliminados, como o nitrogênio, o enxofre e a parafina. (QUELHAS, 2014)

---

<sup>3</sup> Agente espessante



**Figura 2- Processo Simplificado de Produção de Óleos Básicos.**

Fonte: Adaptada de <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao05/index.html>

Para obter o óleo básico, o óleo cru passa pela fase de separação, através de um processo de destilação a vácuo, assim sendo separadas por faixa de viscosidade em diversas frações.

A *International Standards Organizations* (ISO 3448:1992) estabelece os graus de viscosidade cinemática dos lubrificantes industriais, conforme pode ser visto na Figura 3, os valores variam de mais ou menos 10%.

Grau de Viscosidade (ISO - VG)	Viscosidade Média (cSt a 40°C)	Limites de Viscosidade Cinemática	
		Mínimo	Máximo
2	2,2	1,98	2,42
3	3,2	2,88	3,52
5	4,6	4,14	5,06
7	6,8	6,12	7,48
10	10	9,00	11,0
15	15	13,5	16,5
22	22	19,8	24,2
32	32	28,8	35,2
46	46	41,4	50,6
68	68	61,2	74,8
100	100	90,0	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1.000	1.000	900	1.100
1.500	1.500	1.350	1.650

**Figura 3 - Classificação de Viscosidade Segundo a ISO 3448**

Fonte: Adaptado de ISO 3448, 1992

Após a separação, as frações são destinadas a combinação de processo que resulta no óleo básico, esse processo segue uma combinação de procedimento como, rota solvente, processo de hidrotratamento, hidrocrackeamento, hidroisomerização e hidroacabamento (YUE ET AL, 2000).

A rota solvente, tem como objetivo a separação dos hidrocarbonetos saturados e insaturados. A maioria dos fabricantes de bases alcano (parafina) usa este método para obter base na rota de solvente. O método é dividido em duas etapas, primeiro a extração com solvente, usada para remover hidrocarbonetos aromáticos para aumentar a viscosidade. Na segunda etapa aplica-se a desparafinação com solvente para evitar que ocorra a cristalização, ou seja, o congelamento em baixa temperatura do produtor. (MARIANO, 2005)

Conforme Kramer et al. 2003 descreve, desde 1930 se utiliza a separação de hidrocarboneto saturado e insaturado para obter o óleo base. Definindo que as duas principais etapas são, remover aromáticos por extração com solvente e remover parafinas por resfriamento e precipitação na presença de diferentes solventes.

O processo de hidrotratamento ocorre antes da extração com solvente. Parte dos hidrocarbonetos insaturados são convertidos em hidrocarbonetos saturados para aumentar o rendimento. Este processo elimina grande quantidade de compostos de enxofre e nitrogênio e, ao envolver a adição de hidrogênio ao óleo base na presença de um catalisador sob condições de alta pressão e alta temperatura, remove as impurezas, produzindo moléculas estáveis, melhorando a cor e prolongando a vida útil do óleo base.

Segundo SZKLO 2008, outra técnica que consome hidrogênio em uma planta de refino é o hidrotratamento. A técnica empregada visa a eliminação de compostos indesejáveis, tais como enxofre, nitrogênio, oxigênio, halogênios e metais (especialmente níquel, chumbo e vanádio).

Esse processo também é utilizado para estabilização de um determinado corte de petróleo através da hidrogenação de compostos reativos presentes, já que ao converter mono e diolefinas e parafinas, auxilia a redução de formação de goma e resílios nos combustíveis, exemplo diesel a gasolina, pois apresentam a tendência de reagirem entre si e com outros hidrocarbonetos na presença de oxigênio, luz ou calor, gerando polímeros (SZKLO 2008).

O hidrocrackeamento é similar ao processo anterior. Sua particularidade está na reação das moléculas, formando um novo composto de hidrocarbonetos saturado. O aumento das moléculas saturadas é muito maior ao que é obtido no processo de hidrotratamento e na

extração do solvente. Esse processo leva a passagem da base por um catalisador em condições de altas temperaturas e altas pressões, ocorrendo a quebras das moléculas e agrupamento dos compostos estáveis. Nesse processo, o nitrogênio e o enxofre são removidos quase por completo, formando assim um composto com alto índice de viscosidade e baixo ponto de fluidez. De acordo com SZKLO 2008, a hidrocraqueamento é realizado sob alta pressão (33 atm a 190 atm), e faixa de temperatura de 280 a 475°C.

A hidroisomerização consiste em converter moléculas de matéria-prima em moléculas de hidrocarbonetos altamente estáveis, quando se usa o processo de hidrocraqueamento. Esse processo ocorre sob condições de alta pressão e alta temperatura na presença de um catalisador adequado, obtendo um óleo base com alta qualidade.

FERREIRA 2017, descreve que a hidroisomerização está ligada à produção do óleo. Foi desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial e usado para aumentar o número de octanas na gasolina, produzindo isobutileno.

O hidroacabamento consiste no processo de eliminar compostos de nitrogênio e enxofre e melhorar a cor da base e sua estabilidade térmica e oxidativa. É a etapa final do processo e é utilizado nas mais modernas unidades de produção de óleos básicos. Usa-se um catalisador especial e pressão extremamente alta. O processo converte as impurezas restantes em compostos estáveis e remove o nitrogênio e o enxofre residual.

A etapa final da rota convencional é o hidroacabamento, realizado na planta de beneficiamento. A fim de remover substâncias corrosivas, como compostos, adicionando sulfato de hidrogênio, baixa estabilidade, como olefinas e compostos de nitrogênio, oxigênio e enxofre (CARVALHO, 2010).

O excesso de hidrogênio é retirado e os gases  $H_2S^4$  e  $NH_3^5$  são removidos pela injeção de vapor d'água, em seguida o óleo produzido é seco a vácuo (ANP -DF 2016).

### 2.3 TIPOS DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

Os óleos lubrificantes são conhecidos por sua viscosidade padrão e carga de aditivos, variando em diversas escalas e podem ser classificados como: óleo mineral, sintético, vegetal e animal.

O óleo mineral é composto por óleo básico refinado que contém cargas de aditivos e um produto de baixo custo, produzido em grandes quantidades, usado principalmente em

---

<sup>4</sup> Sulfeto de Hidrogênio

<sup>5</sup> Amônia

veículos de motor a combustão e máquinas industriais como mancais de rolamentos e redutores. Os óleos minerais são adquiridos do petróleo e como tal, são formados principalmente dos componentes químicos carbono e hidrogênio, sob a forma de hidrocarbonetos. O óleo mineral é um lubrificante proveniente do petróleo cru, devidamente aprimorado nas refinarias, e produzido por uma mistura de hidrocarbonetos, bastante usado como lubrificante com boa viscosidade.

De acordo com PETROBRAS, 2019 os hidrocarbonetos constituintes do óleo mineral podem ser predominantemente parafínicos, naftênicos ou mistos.

Os óleos parafínicos possuem oxidação lenta e longa vida útil, assim são utilizados em ambiente com temperaturas razoavelmente altas. Além disso, esse material não é muito sensível a modificações de viscosidade e de temperatura, além de apresentar densidade relativamente baixa. Por conta disso, a sua utilização não é indicada para ambientes de baixas temperaturas, pois o resultado disso pode acabar sendo a sedimentação. (BONNECAZE, 1992).

O óleo mineral naftênico tem em sua composição carga de refrigerante, assim há aplicações em ambiente de baixa temperatura, devido sua carga de refrigerante, além disso ele não é compatível com alguns tipos de materiais sintéticos e elastômeros. Em sistemas de refrigeração são aplicados óleos de lubrificação a base de naftênico, tais sistemas compostos por diversos materiais sintéticos como vernizes, elastômeros, plásticos, necessitam da compatibilidade desses materiais (PIMENTA, 2008).

O óleo mineral misto possui as características do lubrificante parafínico e naftênico. É aquele formado pela mistura dos lubrificantes parafínicos e naftênico, podendo ter as propriedades que atende às aplicações variadas.

O óleo vegetal é extraído de sementes de girassol, mamona, soja etc. O processo de extração é realizado através de prensagem a frio ou extração por solvente. São, principalmente, materiais que constituem substâncias constituídas por triglicerídeos formados pela reação de condensação entre o glicerol e os ácidos graxos livres. Os vegetais fornecem diferentes proporções de óleos. Comparado com o óleo mineral, o óleo vegetal tem excelentes propriedades lubrificantes, no entanto, sua aplicação é limitada por baixa estabilidade de oxidação e baixa fluidez em baixas temperaturas. Isso ocorre devido à presença de insaturação ao longo da cadeia de carbono, o que aumenta a sensibilidade a diferentes tipos de reações.

MANG e DRESEL, 2007 ressalva que outra opção de insumo para a produção de lubrificantes é a utilização de óleos vegetais como, por exemplo, óleos básicos

biodegradáveis. A indústria de lubrificantes vem investindo na produção de óleos biodegradáveis há algumas décadas, embora não tenha conseguido atingir o uso em larga escala devido a uma série de limitações.

O óleo animal é originário de várias espécies, incluindo na produção de produtos como: gordura animal (ácido oleico), óleo de mocotós, óleo de peixe, óleo de salmão, sebo, e entre outros. Os óleos animais podem ser usados para muitos fins nos cosméticos, medicamentos, nutrição e saúde animal, bronzamento, limpeza doméstica, higiene e limpeza, indústria, refrigeradores e muitas outras.

É surpreendente, mas os animais também são matéria-prima para a produção de óleos especiais e primordiais para a saúde humana e para muitas outras aplicações (CAMPESTRE 2021).

O óleo semissintético é uma mistura de óleo de base mineral e óleo sintético e aditivo. Possui preço e qualidade moderados, e sua tecnologia pode estender a vida útil do motor e reduzir a formação de depósitos, borra e verniz mesmo em altas temperaturas. Além disso, devemos observar a classificação de viscosidade e desempenho do óleo de acordo com o manual técnico do usuário.

LACERDA, 2015, relata que na maior parte das vezes os básicos sintéticos possuem vantagens sobre os básicos minerais, visto que dispõem maior estabilidade térmica e à oxidação, superior característica a baixas temperaturas e menor instabilidade.

Os lubrificantes sintéticos são produzidos pela mistura de óleos sintéticos obtidos por um rigoroso processo de refino com aditivos. Desta forma, você pode usar o óleo por mais tempo do que outros tipos de óleo, portanto, motivo de ser o óleo mais caro dos três tipos. Além de ser mais adequado para veículos mais modernos, também pode reduzir a oxidação do óleo, prevenir a formação de lamas e reduzir o desgaste das peças dos motores dos veículos.

Segundo MANG & DRESEL, 2007, o óleo lubrificante é mencionado sintético quando o seu óleo base, componente principal é substanciado em laboratório. Inclusive, para que a fabricação de bases sintéticas seja usada, em maior número, reagentes derivados do petróleo, o óleo concluído contém apenas os itens desejados, aproximadamente livre de contaminantes. Essa característica os torna produtos mais confiáveis e que possibilitam performance superior aos apresentados por óleos convencionais.

## 2.4 ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

O monitoramento das condições do óleo lubrificante dá-se pela análise de óleo lubrificante, através dessa técnica pode-se diagnosticar falhas precoces que ocorrem nos componentes internos das máquinas como rolamentos, engrenagem e retentores, que podem levar a parada inesperada da máquina, perda de produção, custos elevados de operação e lucro cessante, ferramenta essa que se torna útil na manutenção industrial e empregada para aumentar a confiabilidade do ativo.

A ISO 4406:2017 (International Standards Organization), dita os padrões de limpeza de óleos lubrificantes, tornando assim uma referência nas indústrias.

A análise dos óleos lubrificantes mostra-se complexa pois é preciso levar em consideração vários fatores para chegar na real condição do lubrificante, esses fatores são analisados e devidamente reunidos em um relatório de maneira visível e organizada, proporcionando o diagnóstico assertivos para atuar na antecipação de falhas e parada de equipamentos por quebra.

Para a realização das análises de óleo lubrificante, considera-se outras análises para identificar as condições do óleo lubrificante como, análise de ferrografia, aditivo, contaminação, viscosidade, partículas, acidez e presença de água.

## 2.5 ANÁLISE DE FERROGRAFIA

BARONI & GOMES, 2002, descreve que a ferrografia é um procedimento usado para monitorar e diagnosticar o estado e a situação das máquinas feita a partir quantificação e análise da morfologia das partículas de desgaste “limalhas”, encontradas nas amostras de lubrificantes. Isso permite que se identifique o tipo de desgaste, severidade e contaminante.

A ferrografia representa na determinação do rigor, padrão e tipo de desgaste da máquina, por meio de identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas em qualquer amostra de óleo lubrificante ou amostra de graxa de qualquer viscosidade, consistência e opacidade (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2002).

Existem dois níveis de análise ferrográfica. Uma quantitativa que se constitui em uma técnica para avaliações das condições ou desgaste das peças de máquinas por meio da quantificação das partículas em suspensão nos lubrificantes, e uma técnica analítica, que utiliza a observação das partículas no lubrificante.

"Muitas vezes confundido como uma técnica de análise de lubrificante, na verdade, uma ótima técnica de análise de máquina" KARDEC; NASCIF; BARONI, 2002, também utilizada avaliar a saúde do ativo.

BARONI & GOMES, 2002 descreve que a análise de ferrografia tem se desenvolvida para diagnosticar os tipos de desgaste de máquina, contaminação e a aplicabilidade do lubrificante.

## 2.6 ANÁLISE DE ADITIVOS

O principal componente do óleo lubrificante é o óleo base, que equivale, em média, a 95% do volume total do produto final. Pode ser de origem mineral, sintética ou vegetal. No entanto, o óleo básico sozinho não é suficiente para atender aos requisitos de alto desempenho das máquinas modernas de hoje. Além disso, a estabilidade do óleo é afetada pelas condições ambientais (como temperatura e pressão) em que opera e, por esse e outros motivos, devem ser adicionadas substâncias que possam alterar essas características. Essas substâncias são chamadas de aditivos químicos ou simplesmente aditivos e são responsáveis por conferir certas propriedades. O produto final melhora suas características, introduz novas qualidades e até suprime certas propriedades existentes. A estabilidade de um lubrificante é afetada pelo ambiente de trabalho no qual está sendo utilizado, ou seja, fatores externos que afetam diretamente o desempenho do óleo como (temperatura, promotores de oxidação, poluição da água, fragmentos de combustível e ácido corrosivos), que diminuem a vida útil do óleo lubrificante.

De acordo MANG e DRESEL, 2007, os aditivos são produtos químicos sintéticos. Quando adicionados em pequenas quantidades (geralmente 1% a 5% por volume), o óleo pode ter propriedades bem definidas ao óleo, eles são responsáveis pela qualidade e vida útil do produto à melhoria do desempenho da lubrificação, todos são fatores responsáveis pela qualidade do produto. Existem muitos tipos de aditivos, até mesmo misturas de aditivos, que podem ser adicionados ao óleo base para fazer com que o produto final atenda a requisitos específicos. Os aditivos mais comumente usados na indústria podem ser classificados de acordo com sua finalidade de serviço, embora alguns aditivos tenham usos múltiplos, geralmente mais de um aditivo é adicionado ao mesmo óleo. Os principais aditivos podem ser divididos em: antioxidantes, detergentes, dispersantes, antiespumantes, emulsificantes, desemulsificantes, corantes e melhoradores de índice de viscosidade.

## 2.7 ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO

As análises de óleo são uma parte indispensável das operações diárias nas indústrias, tais como: marinha, aviação, refinarias de petróleo, geração de energia, mineração, transporte público, automóveis etc. São verificadas as propriedades físicas e químicas dos lubrificantes, realizando a análise de espectrometria nos lubrificantes, esta última além de verificar o estado das propriedades físicas e químicas dos lubrificantes também pode determinar se o tipo de lubrificante utilizado é de classificação alimentícia, monitoramento para evitar a contaminação do lubrificante.

Para o óleo novo, é necessário monitorar a presença de contaminantes, garantindo o controle da quantidade de seu desempenho como lubrificante. Para tanto, utiliza-se a especificação padrão norma: ABNT NBR 14066 (2008).

No caso do óleo lubrificante usado, todo tipo de impurezas geradas pelo desgaste dos componentes internos é arrastado junto ao óleo. Desta forma, o acompanhamento das propriedades físicas e químicas e dos teores de contaminação é necessário para, assim, determinar o momento apropriado de trocá-los. Além disso, faz-se a análise dos teores de metais presentes no óleo usado para monitorar o desgaste dos componentes internos.

No entanto, as normas NAS 1638 e ISO 4406 (2017) e na seção de análise morfológica de partículas também mostram dados importantes quanto à morfologia (tamanho e formato) e possível origem das partículas contaminantes.

## 2.8 ANÁLISE DE VISCOSIDADE

A capacidade de lubrificação do óleo lubrificante depende em particular da viscosidade. Nesse sentido, analisar essa característica física é uma condição necessária na área de lubrificantes. A viscosidade é definida como a resistência ao fluxo fornecida pelo fluido. É uma das características mais importantes para o controle do uso de fluidos e deve ser mantida dentro dos limites estabelecidos para o uso do óleo.

Segundo a ASTM D2270-10, 2016, o índice de viscosidade cinemática é calculado considerando a mudança de temperatura ente 40 a 100 graus Celsius, assim, é avaliado o índice de escoamento e/ou viscosidade assim como sua variação de acordo com a temperatura dos lubrificantes indústrias.

FOX, 1998 descreve que a viscosidade é uma propriedade do fluido, que se refere à transmissão do movimento através da difusão molecular, quanto maior for a viscosidade do fluido, menor será a velocidade do movimento. A viscosidade de um fluido e a resistência de

um líquido em fluir, as moléculas maiores são igualmente atraídas pelas vizinhas. Quanto mais forte a força intermolecular, mais viscoso é o fluído. Este fator é o que predomina em moléculas de dimensões menores. Os fluidos podem ser classificados em Newtonianos e não-Newtonianos. Os primeiros são aqueles em uma ampla faixa de taxas de cisalhamento neste caso, a viscosidade é constante. Os segundos são fluidos cuja viscosidade não é constante e não pode ser descrita por um único valor. Geralmente os viscosímetros são utilizados para fluidos newtonianos e reômetros são usados para fluidos não newtonianos.

## 2.9 ANÁLISE DE PARTÍCULAS

Ao longo dos anos, organizações como NFPA, ASTM, SAE, ISO e NAS estabeleceram padrões para determinar o grau de contaminação do fluido. Atualmente, os padrões internacionais mais aceitos são ISO 4406 e NAS 1638. A contagem de partículas é o recurso mais habitual para se obter níveis de referência de purificação. São utilizados instrumentos ópticos significativos como o microscópio, a lupa e entre outros, para contabilizar o número de partículas, há várias faixas de tamanho. A ISO 4406 (*International Standards Organization*) dita os padrões de limpeza, tem obtido uma vasta aceitação em muitas indústrias. Na Figura 3 são mostradas as formas das partículas mais comuns encontradas nas amostras de óleo lubrificantes.

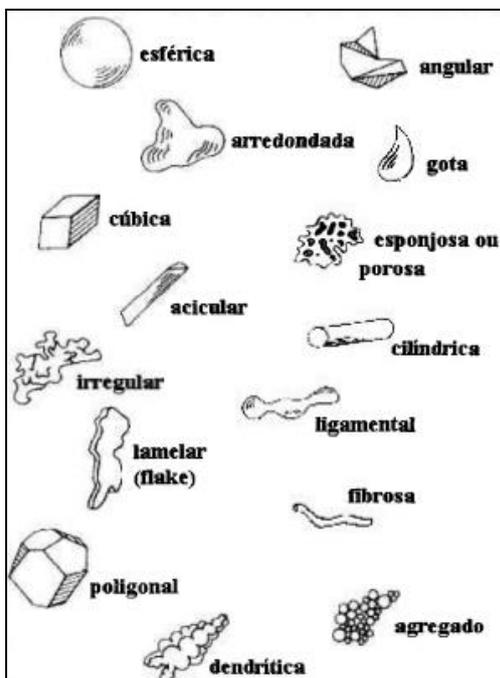


Figura 4 - Formas possíveis de partículas (German, 1994).

De acordo com German (1994), a amostragem e dispersão da amostra são etapas fundamentais na representação do tamanho de partícula e análise reprodutiva. É importante ter uma amostra que possa representar efetivamente o lote de material e que a amostra esteja totalmente dispersa.

## 2.10 ANÁLISE DE ACIDEZ DO ÓLEO

A análise de acidez do óleo mede a quantidade de substâncias ácidas presentes no óleo e indica a eficiência do processo de neutralização dos resíduos ácidos devido o tratamento do óleo. Também chamado de número de acidez total (TAN, do inglês: *Total Acid Number*), representa o número da quantidade de ácido presente no lubrificante. Números maiores que o do lubrificante novo indicam oxidação ou alguns tipos de contaminantes, tais como ácidos orgânicos, ácidos inorgânicos, ésteres ou alguns aditivos ácidos. Os ácidos também serão formados com o uso de lubrificantes. Um valor de TAN mais alto geralmente indica que o lubrificante envelheceu, portanto, é um indicador da vida útil restante do óleo lubrificante. Ao monitorar TAN, o óleo lubrificante pode ser trocado antes que ocorra corrosão severa no sistema de lubrificação. A estabilidade oxidativa mostra que o óleo tem capacidade antioxidante nas seguintes condições: armazenamento de longo prazo ou uso em condições dinâmicas. O método ASTM D943 (do inglês, *Active Standards Test Method*) é usado para medir o óleo de base, e o resultado é expresso como: aumento do índice de acidez total.

BOTS & KRETHER (2014) descreveu que a oxidação, nitração e sulfatação permitem quantificar e comparar o nível de estresse do óleo de base, devido a alteração do número de acidez do óleo.

## 2.11 ANÁLISE DE PRESENÇA DE ÁGUA

A oxidação de um óleo lubrificante ocorre em função da exposição do mesmo a altas temperaturas, atingidas em motores a combustão interna, turbinas, compressores, motores elétricos, sistemas hidráulicos, sistema de circulação de óleo, entre outros. A viscosidade aumenta devido à oxidação, presença de insolúveis, água e contaminação por óleos de maior viscosidade. A análise de óleo nos fornece dados importantes para conter o teor de umidade no lubrificante. O objetivo deste monitoramento é a manutenção planejada de troca ou restauração do óleo contaminado no momento certo, reduzindo custos e reduzindo o risco de tempo de inatividade não planejado. Além disso, permite o acesso às informações por meio de métodos físicos e químicos.

VAN DE VOORT (2003) propôs um método alternativo para outros parâmetros de qualidade, como a determinação do teor de água por método de Karl Fischer através da extração da água contida no óleo lubrificante com acetonitrila seca, sempre comparando os resultados obtidos pela metodologia proposta com os obtidos pelos métodos padrão normatizados.

Segundo HANNON (2002), o teste antes conhecido como *Rotating Bomb Oxidation Test* (RBOT), denominado atualmente por: *Rotating Pressure Vessel Oxidation Test* (RPVOT)- ASTM D2272, foi desenvolvido para o monitoramento de óleos em serviço para indicar a perda na resistência à oxidação.

### **3 METODOLOGIA**

O uso da análise de óleo está diretamente ligado à boa manutenibilidade e confiabilidade do ativo, a análise de óleo lubrificante é uma das ferramentas que certificam a boa característica dos componentes internos dos equipamentos. A aplicação desta ferramenta serve para analisar o tipo de desgaste dos componentes internos, bem como uma análise abrangente do desempenho do óleo lubrificante utilizado na máquina.

Esta pesquisa aborda um estudo de caso prático em indústria de mineração sobre óleos lubrificantes e análise de óleo. A pesquisa bibliográfica se concentrou em livros, artigos técnicos, revistas e sites onde são abordadas temáticas de lubrificação e análise de óleo.

As análises de óleo são coletadas nos equipamentos por pessoas treinadas e capacitadas, após, são repassadas para equipe preditiva onde é feita a aferição das análises, posteriormente são repassadas e conferidas de acordo as identificações dos ativos, verificando se os dados conferem com as ordens de serviço emitidas para coleta de acordo com sua criticidade ou período do equipamento. É verificado há qualidades das amostras se estão atendendo todos os parâmetros, após são etiquetadas com suas etiquetas contendo seu QR code e/ou código de barras para melhor acompanhamento e verificação dos laudos das amostras enviados pelo laboratório. Finalmente, são embaladas e enviadas via serviço de entrega para os laboratórios cadastrados da unidade.

O estudo de caso abrange o sistema de unidades hidráulicas com compartimento de óleo para acionamento de pistões, cilindros hidráulicos que comandam o movimento dos eletrodos do forno elétrico. Abrange também mancais de casquilhos, que são banhados a óleo para suportar toda a carga dos fornos rotativos para secagem do minério e, por fim, um

sistema de lubrificação principal de um britador responsável pela lubrificação das buchas internas do britador para suportar todo processo de britagem do mineiro.

Óleo é o principal componente responsável para funcionamento eficiente desses equipamentos citados. Como em um exame de sangue, a análise de óleo lubrificante revela dados essenciais sobre a integridade dos equipamentos. Na análise é possível identificar eventuais desgastes de peças e componentes no maquinário, bem como a presença de fuligem e contaminantes externos. O óleo contaminado pode causar vários danos como desgaste severo nas buchas, rolamentos, engrenagens etc., causando folgas excessivas de todos os componentes. Isso resulta na substituição de todos esses componentes, podendo ser evitado utilizando as análises para verificação das condições do óleo, sua viscosidade, contaminação e acidez, características mínimas para performance do sistema.

A análise de óleo também pode apontar vários fatores como desgaste interno nos equipamentos tais como engrenagens, rolamentos e afins. Assim, podendo evitar uma parada não programada ou uma quebra indesejada, desencarretando uma série de problemas e prejuízos.

Esta pesquisa foi realizada numa indústria de mineração localizada no estado de Goiás, suas instalações ficam aproximadamente ao município de Goianésia, foram avaliados diversos equipamentos como, unidades hidráulicas, britadores, caixa redutora e redutores e o óleo utilizado conforme demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Lista dos equipamentos avaliados**

**Fonte: Autoria própria**

<b>CASO</b>	<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>TIPO ÓLEO</b>
<b>01</b>	UNIDADE HIDRÀULICA	CONTAMINAÇÃO POR PARTICULAS SOLIDAS	QUINTOLUBRIC B 720 - SINTÉTICO
<b>02</b>	UNIDADE HIDRÁULICA DE UM BRITADOR	CONTAMINAÇÃO POR ÁGUA	MOBIL SHC 626 - SINTÉTICO
<b>03</b>	CAIXA REDUTORA	CONTAMINAÇÃO POR DESGASTE DOS COMPONENTES INTERNOS	LUBRAX GEAR 220
<b>04</b>	REDUTOR	VISCOSIDADE ABAIXO DO NORMAL	LUBRAX GEAR 220

## 4 PESQUISA DE CAMPO

### 4.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DE AMOSTRA

A coleta das amostras deve ser executada preferencialmente em tempo seco, evitando assim possível contaminação externa. Para a realização da coleta das amostras, o equipamento deve estar em funcionamento. Se houver algum risco de acidente, deve-se solicitar a parada do equipamento juntamente com o bloqueio, certificando que não houve nenhum risco de acidente e que todas as medidas de segurança foram tomadas. Podendo iniciar o processo de coleta, alguns itens são necessários para execução da coleta. A Tabela 2 e a Figura 5 a seguir fazem referência às principais ferramentas.

**Tabela 2 - Lista de Ferramentais para coleta de óleo**

**Fonte: Autoria própria**

ITEM	QUANT.	DESCRIÇÃO	ITEM	QUANT.	DESCRIÇÃO
1	1	Frasco plástico incolor	2	1	Mangueira incolor
3	1	Embalagem plástica ziplock	4	1	Ficha de dados
5	1	Conexão Niple	6	1	Bomba de sucção
7	1	Recipiente para drenar óleo	8	1	Toalhas industrial
9	1	Pincel	10	1	Luva látex
11	1	Frasco plástico incolor	12	1	Chave ajustável
13	1	Desengraxante	14	1	Bomba de sucção
15	1	Mangueira de pressão	15	1	Manta absorvente



**Figura 5 - Ferramenta para coleta de óleo**

**Fonte: Autoria própria**

## 4.2 PROCEDIMENTO DE ENVIO DA AMOSTRA

A amostra coletada é entregue há preditiva, onde a mesma passa por aferição, conferindo se a qualidade da amostra coletada coincide com os planos liberados pelo programa de manutenção. Após esse processo, são todas etiquetadas, onde cada etiqueta possui seu código de barra e seu QR code para melhor acompanhamento e rastreamento, então, embaladas e enviadas para o laboratório, conforme Figura 6.



**Figura 6 - Amostra de óleo pronta para o envio**

**Fonte: Autoria própria**

## 4.3 RECEBIMENTO DO LAUDO

Após a chegada das amostras no laboratório, a mineradora é comunicada por e-mail para averiguação se a quantidade de amostra enviada está correta, assim como da data de entrega no laboratório. Todos os ensaios são realizados e seus laudos encaminhados via e-mail e por um endereço eletrônico (link) de acesso para monitoramento direto no site do laboratório a qual são apresentadas todas as informações sobre as análises necessárias para tomada de decisões. A Figura 7 representa o *Dashboard* do site online para gerenciamento e acompanhamento dos laudos do óleo lubrificante.



**Figura 7 - Dashboard do site online**

**Fonte: Adaptada TestOil**

#### 4.4 TRATATIVA DOS LAUDOS

A interpretação dos resultados é a etapa do processo em que são consolidadas todas as informações obtidas nos diversos testes realizados pelo laboratório, usando como base os relatórios emitidos de cada análise, determinando se o equipamento está em boas condições ou se existe algum problema potencial ou alguma falha em andamento. São fornecidas diretrizes baseadas nos laudos enviados pelo laboratório diretamente no sistema de manutenção, como criação de ordem de serviço para aquelas análises que apresentam alguma alteração, baseado nas recomendações indicadas nos laudos para a possível tratativa indicada em cada análise.

Também são emitidos relatórios semanais com as criticidades de cada equipamento, juntamente com as ordens de serviço para conhecimento de todos os responsáveis de cada área. Assim, é facilitado o repasse das informações para possíveis tomadas de decisões de acordo com a criticidade que se encontra.

#### 4.5 CASO 1: CONTAMINAÇÃO POR PARTÍCULAS SÓLIDAS

O caso 1 refere-se a análise de óleo de uma unidade hidráulica com 5000 litros, apresentando anormalidade com mostra na Figura 9. São devidamente tratados para normalizar as situações relatadas. O diagnóstico da análise de óleo mostra na data de 18/05/2020, análise em estado crítico com alta concentração de partículas sólidas com NAS 1638 acima de 9, após a troca dos filtros e filtragem do óleo com o sistema de filtragem *OFF LINE* mostrado na Figura 8.



**Figura 8 Sistema de Filtragem OFF LINE**

**Fonte: Autoria própria**

Realizou-se uma nova amostra de óleo na data 09/06/2020. A amostra apresentou anormalidade com NAS 1638 acima de 7, assim, aplicando novas tratativas de melhorar o sistema de filtragem como instalação de unidade de filtragem off line, substituição de todos os elementos filtrantes de pressão, recirculação e dos filtros respiros por filtros de sílica gel evitado a condensação do lubrificante e entrada de particulado na data 15/06/2020. Realiza-se a análise para verificação das condições do óleo em estado de normalidade do óleo conforme Figura 9.

Diagnóstico								
Amostra analisada apresenta-se em condições normais de uso.								
Físico - Químicos	UNIDADE	NORMA	REFERÊNCIA		15/06/20	09/06/20	18/05/20	23/04/20
			Anormal	Crítico	TO0192078	TO0191480	NÁEo Inf	TO0184120
Viscosidade 40°	cSt	D-445	<41.4 ou >50.6	>52.9 ou <39.1	45.1	45.5	42.8	45.5
PH	ND	D-1287			9.96	9.80	9.95	9.12
Contagem de Partículas	UNIDADE	NORMA	REFERÊNCIA		15/06/20	09/06/20	18/05/20	23/04/20
			Anormal	Crítico	TO0192078	TO0191480	NÁEo Inf	TO0184120
ISO	ND	ISO-4406			18/16/13	19/17/14	21/19/16	20/18/15
NAS	ND	NAS-1638	>7	>9	7	8	10	9

**Figura 9 - Diagnóstico da análise de óleo**

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.6 CASO 2: CONTAMINAÇÃO POR ÁGUA

O caso 2 apresentado na Figura 11 mostra o óleo lubrificante refere-se há uma unidade hidráulica de um britador apresentada na Figura 10, com presença de água (>0,2%). Como descrito no subitem 2.11, a água no óleo proporciona a oxidação dos componentes internos da máquina e o aumento da viscosidade do óleo. Assim, é recomendado dois tipos de tratamento: a filtragem por termovácuo, que consistem na desidratação do óleo, e normalização do mesmo e/ou se aplica a substituição do óleo.



**Figura 10 - Unidade Hidráulica do Britador**

**Fonte: Autoria própria**

Diagnóstico								
A amostra analisada apresenta elevada concentração de água, este contaminante gera oxidação dos componentes e degradação do lubrificante.								
Ação Recomendada								
Recomendamos que seja feita a troca do óleo de acordo com a especificação do fabricante.								
Físico - Químicos	UNIDADE	NORMA	REFERÊNCIA		24/03/21	25/12/20	06/10/20	24/07/20
			Anormal	Crítico	TO0227015	TO0217947	TO0207345	TO0197939
Viscosidade 40°	cSt	D-445	<61.2 ou >74.8	>78.2 ou <57.8	68.8	66	66	67.9
Número de Acidez	mgKOH/g	D-974	>1.5	>2	0.66	0.49	0.67	0.64
Aparência	ND				Límpido	Límpido	Límpido	Límpido
Cor	ND				Laranja	Laranja	Vermelho	Laranja
Água %	%	NBR 16358			>0.2	Ausente	Ausente	Ausente

**Figura 11 - Diagnostico presença de água no óleo**

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.7 CASO 3: CONTAMINAÇÃO POR DESGASTE DOS COMPONENTES INTERNOS

O caso 3 refere-se à análise de óleo em estado de alerta de uma caixa redutora com 160 litros, mostrado na Figura 12, apresentando nas datas de 17/12/2019 e 04/05/2020, com contaminação em espectrometria acima 200 ppm de partícula de ferro, em condição anormal conforme Figura 13, evidenciando desgaste nos componentes internos. Realizou -se a troca do óleo lubrificante e a inspeção no sistema para verificar as condições e componentes com possíveis desgastes.

Após a intervenção no sistema, realizou-se a coleta do óleo lubrificante na data 12/10/2020, para verificação das condições do estado de normalidade do óleo, apresentando assim em condições normais.



**Figura 12 - Caixa redutora**

**Fonte: Autoria própria**

Espectrometria	UNIDADE	NORMA	REFERÊNCIA				
			Anormal	Critico	12/10/20 TO0208376	04/05/20 TO0186534	17/12/19 TO0173223
<b>Desgaste</b>							
Ferro	ppm	D-5185	>200	>500	52.7	350.5	450.6
Cobre	ppm	D-5185	>150	>300	1	0	0
Cromo	ppm	D-5185	>15	>50	0	2.8	2
Chumbo	ppm	D-5185	>30	>200	0	0	0
Alumínio	ppm	D-5185	>25	>75	0.3	6.8	4.4
Prata	ppm	D-5185			0	0	0
Níquel	ppm	D-5185	>15	>80	0.9	6.7	7.9
Estanho	ppm	D-5185	>25	>100	0	0	0
Manganês	ppm	D-5185			0	2.9	2.7
Titânio	ppm	D-5185			0.3	4.2	5.3
Cádmio	ppm	D-5185			0	0	0
Vanádio	ppm	D-5185			0	0	0

**Figura 13 - Diagnostico de espectrometria do óleo**

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.8 CASO 4: VISCOSIDADE ABAIXO DO NORMAL

O caso 4 apresentado na Figura 15 mostra o óleo lubrificante de um redutor com capacidade para 550 litros, conforme Figura 14, apresentado na data 15/06/2020, viscosidade abaixo do normal. Assim, a capacidade de lubrificação do óleo lubrificante depende em

particular da viscosidade. Nesse caso, a substituição do óleo lubrificante se faz necessária, uma vez que pode levar a desgastes prematuros dos componentes internos.



**Figura 14 – Redutor**

**Fonte: Autoria própria**

Diagnóstico						
A amostra analisada apresenta viscosidade abaixo do normal podendo gerar uma lubrificação deficiente no equipamento.						
Ação Recomendada						
Recomendamos que seja feita a troca do óleo de acordo com a especificação do fabricante.						
Físico - Químicos	UNIDADE	NORMA	REFERÊNCIA		15/06/20	20/11/19
			Anormal	Critico	T00192252	T00170131
Viscosidade 40°	cSt	D-445	<288 ou >352	<272 ou >368	226.9	324.9
Número de Acidez	mgKOH/g	D-974	>1.5	>2	0.46	0.44
Aparência	ND				Limpido	Limpido
Cor	ND				Castanho	Castanho
Água %	%	NBR 16358	>0.1	>0.2	Ausente	Ausente

**Figura 15 -Diagnostico de análise de óleo, viscosidade abaixo**

**Fonte: Autoria própria**

## 5 RESULTADO

Os resultados obtidos não se limitam a anormalidade das condições dos óleos lubrificantes, pois como observado no estudo de caso de contaminação por partículas sólidas foi aplicado a técnica de filtragem *offline* para normalização do lubrificante, e estudo das causas de contaminação no lubrificante.

A análise de óleo lubrificante traz como resultado os ganhos e benefício na manutenção do equipamento, podendo atuar em uma manutenção programada e evitando gastos e desperdícios desnecessários no processo de manutenção.

Os resultados se expressam na produção fabril, evitando parada sem programação dos equipamentos monitorados pela análise de óleo lubrificante. Na análise dos casos, foi visto que a viscosidade do óleo se encontrava abaixo do especificado, tal viscosidade leva ao desgaste prematuro dos componentes internos. Ao longo do tempo esses desgastes levam a parada da máquina por quebra, acarretando resultados negativos na produção e manutenção.

Para obter resultados confiáveis deve ser realizada a elaboração do procedimento de coleta e a execução da retirada das amostras para análise sem contaminar as amostras. A rastreabilidade é importante para garantir a origem e o diagnóstico para cada equipamento. A higienização das ferramentas é essencial para obter um resultado confiável.

Os resultados obtidos das amostras de cada equipamento, compartimento ou sistema, não se limita a condição do óleo, mas no tratamento dessa anormalidade encontrada, seja por contaminação, viscosidade, desgastes ou acidez, com o objetivo de evitar a degradação dos componentes internos ou parada não programada da máquina.

## 6 CONCLUSÃO

Para há realização das análises de óleo é de extrema importância adotar o procedimento de coleta estabelecido, devido que no ato da coleta deve ser seguido todo o procedimento adotado para assim, evitar ao máximo qualquer tipo de contaminação da amostra e quaisquer alterações na amostra de óleo coletada.

Fica evidente que a análise de óleo é uma importante ferramenta de manutenção preditiva. Por meio dela é possível monitorar e avaliar as condições dos fluidos e desgaste dos componentes internos das máquinas. Dessa forma, é maximizado o desempenho e a confiabilidade dos ativos, identificando possíveis problemas, antes que se tornem falhas funcionais.

Por fim, completamos que, para prolongar a vida útil dos ativos, aumentando a confiabilidade, é necessário que as indústrias façam um monitoramento baseado na condição, conhecida com Manutenção Preditiva. As análises das condições dos lubrificantes evitam quebras, desgastes dos componentes internos e paradas não programadas, aumentando a confiabilidade dos ativos e criando uma robustez no processo de manutenção. Este trabalho abordando conceitos de manutenção industrial, gestão e controle de lubrificação, mostrando a metodologia de desenvolvimento, a fim de servir como suporte e de base para outros possíveis futuros trabalhos relacionados ao tema retratado. Baseado no mesmo pode ser realizado a implantação de planos preventivos de manutenção, o mesmo especifica os tipos de óleos lubrificantes a ser usado, tipos de análise de óleo, tempo de coleta e seus procedimentos e alguns lubrificantes para equipamentos rotativos.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT NBR 14066 (ASTM D4628). **Determinação de Cálcio, Magnésio e Zinco em óleos lubrificantes novos por Espectrometria de Absorção Atômica**, Brasil, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) Superintendência de Biocombustíveis e Qualidade de Produção, Acesse: <http://www.simepetro.com.br/wp-content/uploads/ANP-RELATORIO-TECNICO-2-2016-SBQ-CPT-DF-PANORAMA-DOS-OLEOS-BASICOS-NO-BRASIL.pdf>, acessado em 10 de março de 2021.

ASTM D2270-10(2016), **Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 °C and 100 °C**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

RBARONI, Tarcísio; GOMES, Guilherme F. **Ferrografia, controlando o desgaste de máquinas**. São Paulo: TRIBOLAB 2002.

BOTS, S.; KRETHER, R. Used oil laboratory tests. In: Encyclopedia of Lubricants and Lubrication. Alemanha: OELCHECK GmbH, 2014.

BONNECAZE, R.T. e BRADY, J.F., Yield stresses in electrorheological fluids, J. Rheology, , 1992.

CABRAL, J. P. Organização e gestão da manutenção. Lisboa: Lidel, 2006.

CAMPESTRE, Acesse: <https://www.oleosanimais.com.br/>, acessado em 22 de março de 2021.

CARVALHO, M. 2010. Efeitos do Lubrificante e Aditivo na Economia de Combustível Diesel. Dissertação, EQ/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FERREIRA, Luísa Maria Lima, **Hidroisomerização de alcanos lineares usando catalisadores à base de SAPO-11 hierárquico**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2017.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. Introdução à mecânica dos fluidos, 5ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 1998.

GERMAN, R. M. Powder Metallurgy Science, 2ª ed., Princeton, NJ: MPIF, 1994.

HANNON, J. B. **Performance evaluation of new and in-service turbine oils**. [S.l.]: Machinery Lubrication. practicing oil analysis, 2002. Disponível em: < <http://www.machinerylubrication.com/Read/300/turbine-oil-performance> >. Acesso em: 15 dez. 2011.

HERNANDES, P. Análise de óleo: Tudo o que você precisa saber sobre o assunto. **ALS Global**. Brasil, 31 de julho de 2018. Disponível em: <https://www.alsglobal.com/%2Fpt-br%2Fnews%2Fartigos%2F2018%2F07%2Fanlise-de-leo-tudo-o-que-voc-precisa-saber-sobre-o-assunto>

ISO 4406:2017: Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles. 2017, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4406:ed-3:v1:en>. acessado em 22 de março de 2021.

ISO 3448:1992. Industrial liquid lubricants -- ISO viscosity classification, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3448:ed-2:v1:en>, acessado em 22 de março de 2021.

LACERDA, Heitor Silva Lima, **Os Lubrificantes: Métodos de Utilização, Descarte Correto e Rerrefino** CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS APMA 2015.1 Rio de Janeiro 2015

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KRAMER D. LOK B. K., KURG R. R., ROSENBAUM J.M., ChevronTexaco Global Lubricants, The Evolution of Base Oil Technology Industry Focus. Machinery Lubrication Magazine. March 2003 Untitled, Aceso: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/mecanizacao/livros/PRINCIPIOS%20BASICOS%20DE%20LUBRIFICANTES%20E%20LUBRIFICACAO.pdf> acessado em 16 de Março de 2021.

MANG, T.; DRESEL, W. Lubricants and lubrication. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2007

MOURA, C. R. S. **Lubrificantes e lubrificação**. Rio de Janeiro: LTD. 1975 NAS 1638 “Cleanliness requirements of parts used in Hydraulic systems,” Aerospace Industries of America, Washington D.C., USA, 2001.

MARIANO, J. B. Impactos ambientais do refino de petróleo. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

PETROBRAS, **Óleos Básicos Lubrificantes Informações Técnicas** Dezembro de 2019, acesso em ;<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/Manual-de-Oleos-Basicos-Lubrificantes.pdf>, acessado em 21 de março de 2021

PIMENTA, J.M.D., Uso de Hidrocarbonetos Refrigerantes em Aplicações Residenciais, Mercofrio 2008, Curitiba-PR, 2008.

Processo Simplificado de Produção de Óleos Básicos. <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao05/index.html> acessado em 27 de Fevereiro de 2021.

QUELHAS, A. D. et al. Processamento de petróleo de gás: petróleo e seus derivados, processamento primário, processos de refino, petroquímica, meio ambiente. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

SENAI - ES, 1997, **Lubrificação – Mecânica** Trabalho realizado em parceria SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão).

SILVA, M. B; WALLBANK, J. Lubrication and application method in machining. **Industrial Lubrication and Tribology**, n. 50, p. 149 – 152, 1998.

STOETERAU, R. L.; Leal, L. C. “Apostila de Tribologia. Departamento de Engenharia Mecânica” - Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SZKLO, A. S.; ULLER, V. C. **Fundamentos do Refino de Petróleo** - Economia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2008. v. 1. 285 p.

T MANG AND W. DRESEL, Lubricants and lubrication. 2nd Ed., 2007.

THOMAS, JOSÉ EDUARDO. Fundamentos de engenharia de petróleo, 2ª EDIÇÃO- RIO DE JANEIRO. INTERCIÊNCIA. PETROBRAS, 2004.

VAN DE VOORT, F. R.; Sedman, J.; Yaylayan, V.; Saint Laurent, C.; **Society for Applied Spectroscopy**. 2003.

Y. H. Yue; A. Gédéon; J. L. Bonardet; J. B. D'espinoze; N. Melosh, *Stud. Surface Sci. Catalysis*, 2000, 129, 209-218.