

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO  
FERRAMENTA DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

por

DIONLENO BORGES SCHUTZ

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, 2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

SCHUTZ, DIONLENO BORGES  
UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO  
FERRAMENTA DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / DIONLENO  
BORGES SCHUTZ. -- 2022.

25 f.

Orientador: JUAN PABLO RAGGIO QUINTAS.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto  
Alegre, BR-RS, 2022.

1. ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE. 2. ENGENHARIA DE  
MANUTENÇÃO. 3. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL. 4. LUBRIFICAÇÃO.  
I. QUINTAS, JUAN PABLO RAGGIO, orient. II. Título.

DIONLENO BORGES SCHUTZ

UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE  
COMO FERRAMENTA DA ENGENHARIA DE  
MANUTENÇÃO

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

**ENGENHEIRO MECÂNICO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin

Coordenador(a) do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos.

Orientador: Prof./Profª. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Rodrigo Rossi

Porto Alegre, 2022

## DEDICATÓRIA

Quero dedicar este trabalho à minha mãe Marilei Borges Schutz (in memoriam), que sempre esteve ao meu lado. Minha maior incentivadora desde o início.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida. A minha esposa pela compreensão e paciência demonstrada durante o período do projeto.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

EPÍGRAFE

*“Não encontre um defeito,  
Encontre uma solução.”*

*Henry Ford*

Schutz, Dionleno Borges. **Engenharia de manutenção, análise de óleo lubrificante**. 2022. 24 página. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

## RESUMO

O presente trabalho tem como principal motivação o local de trabalho, que está diretamente ligado ao cotidiano do autor, como profissional da área industrial. O objetivo é apresentar o conceito de engenharia de manutenção, voltada para a lubrificação industrial, expondo procedimentos para a coleta e análise dos óleos lubrificantes, na construção de um conceito sobre os efeitos da engenharia de manutenção sobre os ativos, avaliando o desempenho e confiabilidade. Apresentando dados que pode haver aumento de desempenho e redução de custos. Assim fica constatado a importância da análise de óleos como ferramenta de manutenção preventiva e preditiva, que fornece dados essenciais sobre a integridade dos equipamentos. Este estudo abordara um caso prático de análise de lubrificantes e óleos na indústria de papel e celulose. A pesquisa bibliográfica concentra-se em livros, artigos técnicos, revistas e sites que abordam os tópicos de lubrificação e análise de óleo. Mostrando a importância da análise dos óleos lubrificantes como ferramenta da engenharia de manutenção. Que através do monitoramento é possível aumentar a vida útil do ativo, gerando um aumento na confiabilidade. Pois é através da análise das condições dos lubrificantes que podem ser evitadas quebras, desgastes dos componentes internos e paradas não programadas.

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

Schutz, Dionleno Borges. Maintenance engineering, lubricating oil analysis. 2022. 24 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

## ABSTRACT

The main motivation of the present work is the workplace, which is directly linked to the author's daily life, as a professional in the industrial area. The objective is to present the concept of maintenance engineering, focused on industrial lubrication, exposing procedures for the collection and analysis of lubricating oils, in the construction of a concept about the effects of maintenance engineering on assets, evaluating performance and reliability. Presenting data that can increase performance and reduce costs. Thus, the importance of oil analysis as a preventive and predictive maintenance tool is verified, which provides essential data on the integrity of equipment. This study will address a practical case of analysis of lubricants and oils in the pulp and paper industry. The literature search focuses on books, technical articles, magazines and websites that address the topics of lubrication and oil analysis. Showing the importance of the analysis of lubricating oils as a maintenance engineering tool. That through monitoring it is possible to increase the useful life of the asset, generating an increase in reliability. Because it is through the analysis of the conditions of the lubricants that breakages, wear of the internal components and unscheduled stops can be avoided.

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



## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1 MANUTENÇÃO.....	2
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	2
2.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	2
2.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	2
2.5 MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	3
2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO.....	3
2.7 ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES .....	4
2.8 ANÁLISE DE FERROGRAFIA.....	4
2.9 ANÁLISE DE ADITIVOS .....	5
2.10 ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO .....	5
2.11 ANÁLISE DE VISCOSIDADE .....	5
2.12 ANÁLISE DE PARTÍCULAS .....	6
2.13 ANÁLISE DE ACIDEZ DO ÓLEO.....	6
2.14 ANÁLISE DE PRESENÇA DE ÁGUA.....	7
3. METODOLOGIA .....	7
4. PESQUISA DE CAMPO.....	8
4.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DE AMOSTRA .....	8
4.2 PROCEDIMENTO DE ENVIO DA AMOSTRA.....	8
4.3 RECEBIMENTO DO LAUDO .....	9
4.4 TRATATIVA DOS LAUDOS .....	9
4.5 CASO 1: CONTAMINAÇÃO POR PARTÍCULAS SÓLIDAS .....	9
4.6 CASO 2: CONTAMINAÇÃO POR ÁGUA.....	12
4.7 CASO 3: CONTAMINAÇÃO POR DESGATE DOS COMPONENTES INTERNOS .....	13
5. RESULTADOS.....	13
6. CONCLUSÃO .....	14
REFERÊNCIAS .....	15

## **1. INTRODUÇÃO**

A lubrificação em uma indústria de papel e celulose faz parte do processo produtivo e desempenha um papel fundamental sobre os ativos. Grande parte dos equipamentos e máquinas utilizadas na indústria necessitam de lubrificação para desempenhar suas funções requeridas. Para um bom desempenho no setor industrial, alguns cuidados são necessários com os ativos. A análise de óleo é uma das ferramentas mais importantes para garantir o bom desempenho dos equipamentos, mantendo um lubrificante que atenda aos requisitos de cada 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, a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos

Com base nessa prática, o objetivo é apresentar o conceito de lubrificação e sua gestão, revelando diretrizes e procedimentos básicos na análise de lubrificantes para a indústria papel e celulose. A lubrificação e análise de óleo geram o aumento da qualidade, desempenho, custo, disponibilidade e confiabilidade das máquinas, proporcionando maior segurança durante a produção, facilitando a conquista das metas de produção.

A falta de lubrificação pode acarretar sérios problemas, levando a falhas prematuras dos componentes dos equipamentos e máquinas, vindo 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 papel e celulose.

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.

Através da utilização do programa de análise desenvolvido, com a realização de ensaios laboratoriais das amostras do óleo lubrificante, espera-se identificar e acompanhar a evolução de características como viscosidade, presença de água e contaminantes, que viabilizarão a tomada de decisões para correções de possíveis falhas, aumentando a disponibilidade do equipamento e a redução de custo com ações corretivas não planejadas.

### **1.1 OBJETIVO**

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 papel e celulose. A pesquisa bibliográfica concentra-se em livros, artigos técnicos, revistas e sites que abordam os tópicos de lubrificação e análise de óleo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 MANUTENÇÃO**

A manutenção é considerada o segredo para o sucesso de uma em/presa, assim como a qualidade dos produtos e a eficiência dos equipamentos. É uma exploração constante que inclui manter o equipamento original e usar novas tecnologias para melhorar os resultados.

A Manutenção é um conjunto de procedimentos que incluem: inspeção, conservação, prevenção, substituição com o intuito de manter o pleno funcionamento de equipamentos e máquinas.

De acordo com Xenos, avalia que a grosso modo, a manutenção está limitada a garantir que o equipamento esteja em condições originais. Enquanto, para se obter sucesso na manutenção, as atividades precisam sofrer alterações das condições originais através da implantação de melhorias para evitar as falhas, para aumentar a eficiência e reduzir o custo dos equipamentos.

### **2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO**

Existem muitos tipos de manutenção e diferem na forma como os equipamentos, sistemas ou instalações são mantidos. Neste trabalho, relataremos alguns dos tipos: manutenção corretiva, preventiva, preditiva e engenharia de manutenção.

### **2.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA**

A manutenção corretiva é a mais antiga forma de manutenção, ela se baseia somente na correção de uma falha ou desempenho menor que o esperado, ou seja, é uma manutenção de emergência. É dividida em duas classes: não planejada e planejada.

A manutenção corretiva não planejada corrige a falha, uma quebra inesperada, sempre após a ocorrência da falha, sem acompanhamento ou planejamento anterior. Como Kardec e Nascif (2009) explicam, ela atua em um fato já ocorrido, não há tempo para preparação do serviço, e sendo o mais praticado infelizmente. Aumenta os custos, pois a quebra inesperada acarreta perdas na produção, perdas de qualidade, custos indiretos de manutenção, podendo ter consequências inesperadas no equipamento, pois a extensão dos danos pode ser bem maior.

Quando a maior parte da manutenção da empresa se baseia na corretiva não planejada, o departamento de manutenção é refém dos equipamentos, é comandado por eles, e não o contrário, como deveria acontecer, e o desempenho empresarial da Organização perde muita competitividade (KARDEC e NASCIF, 2009).

A manutenção corretiva planejada se diferencia da não planejada por ser uma decisão gerencial. Ela também é uma correção de uma falha ou de um desempenho menor que o esperado, porém se baseia na modificação dos parâmetros de condição observados pela manutenção preditiva (KARDEC e NASCIF, 2009).

Xenos (1998) ressalva que mesmo que a manutenção corretiva tenha sido escolhida por decisão gerencial, não se pode simplesmente se conformar com a ocorrência de falhas como um evento já esperado e natural, é essencial o esforço para identificar precisamente as causas fundamentais das falhas e bloqueá-las, evitando sua reincidência.

### **2.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

Manutenção planejada para evitar a ocorrência de falhas ou perdas de eficiência, através de manutenções com periodicidades pré-definidas, obedecendo a um plano de manutenção. Diferentemente da manutenção corretiva, a preventiva, como o próprio nome sugere, procura

prevenir, evitar a ocorrência de falhas. É imprescindível quando o fator segurança se sobrepõe aos demais.

Xenos (1998) analisa as vantagens da manutenção preventiva em vista da manutenção corretiva:

“(...) a frequência de falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta, diminuindo as interrupções inesperadas da produção. Ou seja, se considerarmos o custo total, em várias situações a manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a manutenção corretiva, pelo fato de se ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de se ficar sujeito às paradas inesperadas por falhas nos equipamentos.” Xenos (1998).

Porém, como Kardec e Nascif (2009) esclarecem se de uma forma a manutenção preventiva permite um bom controle das atividades, nivelamento dos recursos, além de previsibilidade do uso de materiais e sobressalentes, por outro lado promove a retirada do equipamento ou sistema de operação para a execução das atividades programadas. Assim, devem-se pesar os fatores para que o uso dessa política seja adequado à realidade dos equipamentos, sistemas ou plantas.

Kardec e Nascif (2009) esclarecem também que nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para a adoção nos planos de manutenção preventiva, além disso, condições ambientais e operacionais influem significativamente na degradação dos equipamentos, logo, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação.

Como é evidenciado por Xenos (1998), muitas vezes é negligenciado pelas empresas, o cumprimento dos itens de manutenção preventiva e o tempo que seria gasto com a preventiva acabam sendo gastos para trabalhar em falhas que surgem no dia-a-dia da produção. Isso se dá porque sem uma boa manutenção preventiva, as falhas tendem a aumentar, ocupando todo o tempo do pessoal de manutenção.

## **2.5 MANUTENÇÃO PREDITIVA**

É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, com o objetivo de definir o melhor instante para a intervenção, com o máximo aproveitamento do ativo (OTANI e MACHADO, 2008 apud COSTA, 2013).

Kardec e Nascif (2009) falam que os objetivos da manutenção preditiva são:

“Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preventiva é o de predizer as condições dos equipamentos. Ou seja, ela privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.” Kardec e Nascif (2009).

Kardec e Nascif (2009) ainda apontam as condições básicas para se adotar a manutenção preditiva: o equipamento, sistema e instalação devem permitir monitoramento/medição e merecer esse tipo de ação e as falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada.

## **2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO**

A engenharia de manutenção vem nos trazer uma mudança de cultura, uma quebra de paradigma, trazida pelas ferramentas de qualidade e melhorias contínuas bem como nas mudanças no dia a dia das atividades da área de manutenção.

A aplicação da engenharia de manutenção implica na análise e proposta de melhorias utilizando os dados que o sistema de preditiva colhe e armazena, ou seja, a engenharia de manutenção utiliza dados adquiridos pela manutenção, com o objetivo de melhoria contínua. Para tanto, visa aumentar a confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança; eliminar problemas crônicos e solucionar problemas tecnológicos; melhorar a capacitação pessoal e gerir materiais e sobressalentes; dar suporte à execução e fazer análise de falhas; elaborar planos de manutenção, acompanhar indicadores e zelar pela documentação técnica (KARDEC e NASCIF, 2009).

A empresa que pratica engenharia de manutenção está constantemente alimentando seu banco de dados, não apenas realizando manutenções preditivas, e essas informações são usadas para a constante melhoria dos processos e atividades de manutenção.

## **2.7 ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES**

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

A norma ISO 4406:2017 (International Standards Organization), é quem estabelece os padrões de limpeza dos óleos lubrificantes, utilizado como referência nas indústrias.

A análise dos óleos lubrificantes apresenta-se complexa pois considera vários fatores para checar a condição do lubrificante, esses fatores são analisados e dispostos 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, aditivo, contaminação externa, análise de ferrografia, viscosidade, partículas diversas, acidez e presença de água.

## **2.8 ANÁLISE DE FERROGRAFIA**

A ferrografia é um procedimento usado para monitorar e diagnosticar o estado e a situação dos equipamentos feita a partir da quantificação e análise morfológica das partículas de desgaste (limalhas), verificadas nas amostras de lubrificantes. Isso permite que se identifique o tipo de desgaste, severidade e contaminante (BARONI & GOMES, 2002).

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

Existem dois níveis de análise ferrográfica. A quantitativa onde são avaliados as condições ou desgaste das peças de máquinas por meio da quantidade das partículas em suspensão nos lubrificantes, e uma técnica analítica, que utiliza a observação das partículas no lubrificante.

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

## 2.9 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. Além disso, a estabilidade do óleo é alterada pelas condições ambientais (como temperatura e pressão) de operação e, por esse e outros motivos, devem ser acrescentadas substâncias que possam alterar essas características.

A estabilidade de um lubrificante depende do 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 fazem a vida útil do óleo lubrificante diminuírem.

Quando adicionados em pequenas quantidades (geralmente 1% a 5% por volume), o aditivo pode ter propriedades bem definidas ao óleo, eles são reesponsáveis pela qualidade e vida útil do produto à melhoria do desempenho da lubrificação, todos são fatores responsáveis pela qualidade do produto.

Os aditivos mais utilizados na indústria podem ser classificados de acordo com sua utilização, embora alguns aditivos tenham usos múltiplos, geralmente mais de um aditivo é adicionado ao mesmo óleo.

## 2.10 ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO

As análises de óleo são uma parte das operações diárias nas indústrias, tais como: refinarias de petróleo, celulose e papel, geração de energia, mineração, etc. São verificadas as propriedades físicas e químicas dos lubrificantes, realizando a análise de espectrometria, para a verificar tais propriedades.

No óleo novo, também é necessário verificar a presença de contaminantes. Para tanto, utiliza-se a especificação padrão norma: ABNT NBR 14066 (2008): Óleos lubrificantes - Determinação de bário, cálcio, magnésio e zinco por espectrometria de absorção atômica.

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

## 2.11 ANÁLISE DE VISCOSIDADE

A capacidade de lubrificação do óleo lubrificante depende da viscosidade. Então, analisar essa característica física é uma condição necessária na área de lubrificantes. Onde 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, 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. 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.

## 2.12 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 que são mais utilizados 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, entre outros, para contabilizar o número de partículas. A ISO 4406 (International Standards Organization) estabelece os padrões de limpeza, tendo obtido uma vasta aceitação em muitas indústrias. Na Figura 1 são mostradas as formas das partículas mais comuns encontradas nas amostras de óleo lubrificantes.



Figura 1 - 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. É importante ter uma amostra que possa representar efetivamente o lote de material e que a amostra esteja totalmente dispersa.

## 2.13 ANÁLISE DE ACIDEZ DO ÓLEO

A análise de acidez mede a quantidade de substâncias ácidas presentes no óleo e indica a eficiência do processo de neutralização dos resíduos ácidos devido o tratamento ao óleo. Também chamado de número de acidez total, 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 mais alto geralmente indica que o lubrificante envelheceu, portanto, é um indicador da vida útil restante do óleo lubrificante. Ao monitorar número de acidez total, 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.

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

#### **2.14 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 substituição ou readequação 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 acetone nitrila 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**

A utilização da análise de óleo está diretamente relacionada à boa manutenibilidade e confiabilidade do ativo, e a análise de óleo lubrificante é uma das ferramentas para demonstrar as boas características dos componentes internos do equipamento. A aplicação desta ferramenta é utilizada para analisar os padrões de desgaste de componentes internos, além de realizar uma análise abrangente do desempenho do óleo lubrificante utilizado na máquina.

Este estudo aborda um caso prático de análise de lubrificantes e óleos na indústria de papel e celulose. A pesquisa bibliográfica concentra-se em livros, artigos técnicos, revistas e sites que abordam os tópicos de lubrificação e análise de óleo.

As análises de óleo são coletadas nos equipamentos pelo técnico capacitado, 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 verificada a qualidade das amostras se estão atendendo todos os parâmetros, após são etiquetadas, contendo informações do local de instalação e código de barras para melhor acompanhamento e verificação dos laudos das amostras enviados pelo laboratório.

O estudo de caso abrange o sistema de unidades hidráulicas com compartimento de óleo para acionamento dos motores, cilindros hidráulicos que comandam o movimento das prensas de lavagem da celulose. Abrange também mancais de casquilhos, que são banhados a óleo para suportar toda a carga das prensas que são utilizadas para branqueamento da polpa de celulose.

O óleo é o principal componente responsável pelo bom funcionamento desses equipamentos. Como um exame de sangue, a análise do lubrificante revela dados básicos sobre



a integridade do equipamento. Na análise, é possível identificar o desgaste final das peças e componentes da máquina, bem como a presença de fuligem e contaminantes externos. Óleo contaminado pode causar vários danos, como sério desgaste de buchas, rolamentos, engrenagens, etc., resultando em folga excessiva de todos os componentes. Isso leva à substituição de todos esses componentes, o que pode ser evitado por meio de análises para verificar o estado do óleo, viscosidade, contaminação e acidez, que são as características de menor desempenho do sistema.

A análise de óleo também pode apresentar diversos fatores como desgaste interno de engrenagens, rolamentos e afins. Como resultado, o tempo de inatividade não planejado ou falhas inesperadas podem ser evitados, livrando-se de uma série de problemas e perdas.

Esta pesquisa foi realizada numa indústria de papel e celulose localizada no estado do Rio Grande Sul, suas instalações ficam no município de Guaíba, foram avaliados diversos equipamentos como, unidades hidráulicas, redutores.

#### **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 haverá 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 Figura 2 a seguir fazem referência às principais ferramentas: a frasco plástico, mangueira de pressão (minimess), bomba de sucção, luvas, mangueira incolor, chave ajustável.

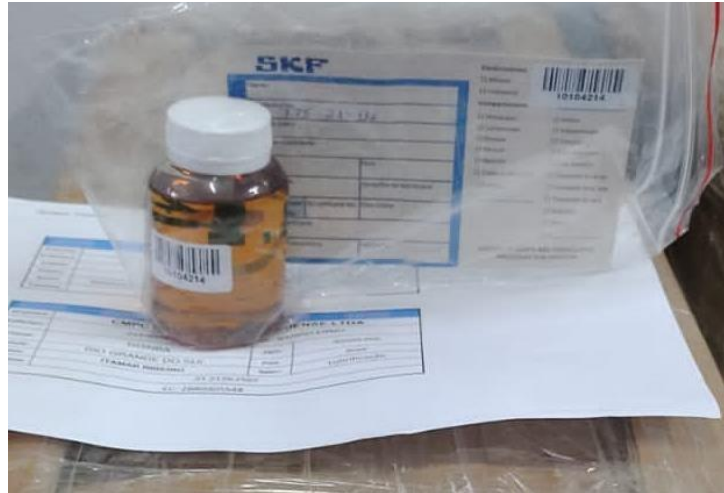


**Figura 2 – Ferramentas utilizadas para realização da coleta de óleo.**

##### **4.2 PROCEDIMENTO DE ENVIO DA AMOSTRA**

A amostra coletada é entregue ao técnico da equipe 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.



**Figura 3 – Amostra etiquetada.**

#### **4.3 RECEBIMENTO DO LAUDO**

Após a chegada das amostras no laboratório, a empresa é comunicada por e-mail para averiguação se a quantidade de amostras enviadas 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.

#### **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, seguindo as 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 1100 litros, apresentando anormalidade com mostra na Figura 4. São devidamente tratados para reestabelecer as condições operacionais definidas pelo fabricante. O diagnóstico da análise de óleo mostra um estado crítico, pois segundo a norma ISO 4406 (Norma de contagem de partículas) que classifica os níveis de contaminação pela quantidade de partículas maiores que 4 (>4 microns) e pela quantidade de partículas maiores que 6 (> 6 microns) e maiores que 14 (>14 microns) por 100ml, conforme figuras 5 e 6.

	CLIENTE:	PTO COLETA   COMPART: /RETORNO MOTOR 4 - NOVO PONTO
	UNIDADE/OBRA: Obra Padrão - Celulose Riograndense - Gualaiba RS	FAMILIA EQUIP. / FABRIC: INDUSTRIAL - -
	ÁREA:	MODELO EQUIP.: -
	SETOR:	TAG/FROTA: 763-39-053
	CÓD. EXTERNO AMOSTRA:	CHASSI/SÉRIE: 763-39-053
	CÓD. EXT. COMPARTIMENTO:	CÓD. EXT. EQUIPAMENTO:

**AValiação:** Condição do Lubrificante: A amostra apresenta grande quantidade de partículas sólidas de diversas fontes. Condição do equipamento: Apresenta moderada concentração de Cobre a qual não indica um potencial desgaste severo nos componentes.

**Ações de Inspeção:** Recomendamos que seja efetuada a micro filtragem para redução dos contaminantes sólidos, verificar condição dos filtros, problemas relacionados a vedações, entrada de contaminantes e sempre efetuar a transferência através de filtragem. Efetuar nova coleta após 30 dias para acompanhamento.

**COMENTÁRIO DA COLETA:**

Dados da Amostra				Desgaste													Contaminação				Água						
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Período	P amostra	Troca? Adição	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	POI	Si (ppm)	Al (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	ISO (ISO)	>4µm (part/ml)	>6µm (part/ml)	>14µm (part/ml)	KF Vol. (ppm)
1900488947	Crítico	10/05/2020	05/06/2020			Não	15	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	4	0	21/10/15	12573	4281	281	364
1900491807	Anormal	11/02/2020	28/02/2020			Não	14	76	1	1	0	1	0	0	0	1	0	7	3	0	4	2	15/14/11	303	82	13	432
1900338387	Anormal	07/11/2019	25/11/2019			Sim	5	22	0	2	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	16/15/13	379	188	47	503
1900263943	Anormal	24/10/2019	04/11/2019			Não	24	109	0	3	0	0	0	0	0	1	0	10	2	0	4	0	15/14/10	294	84	6	373

Figura 4 – Laudo com alta concentração de partículas sólidas.

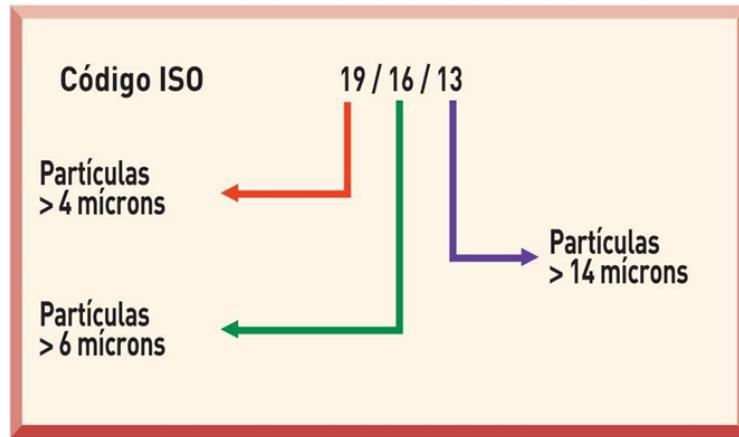


Figura 5 – Exemplo de código ISO.

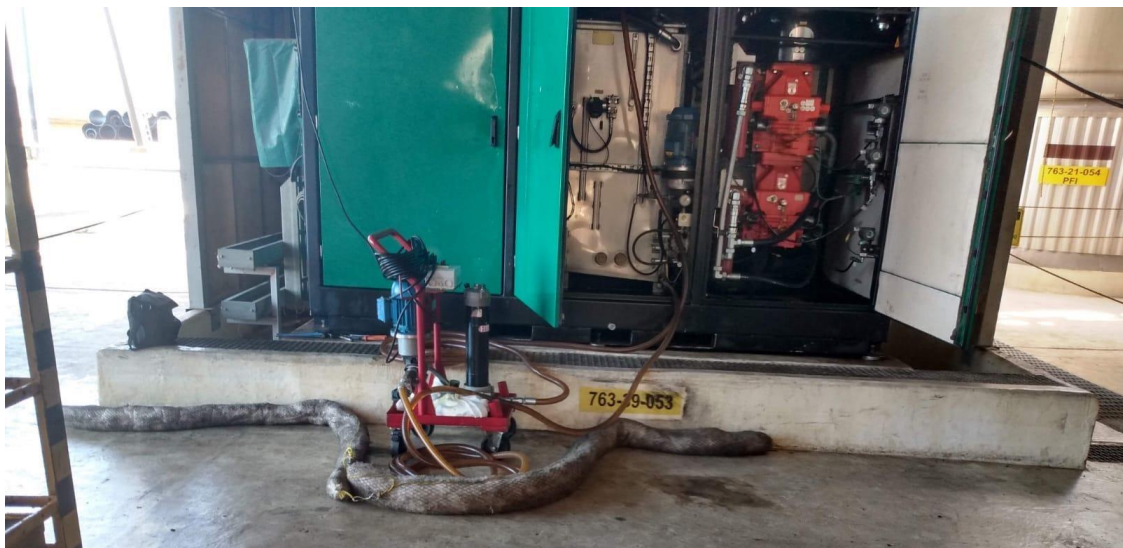
Número de partículas	Número de partículas por ml	
	Mais de	Até e inclusive
24	80.000	160.000
23	40.000	80.000
22	20.000	40.000
21	10.000	20.000
20	5.000	10.000
19	2.500	5.000
18	1.300	2.500
17	640	1.300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	.64	1.3
6	.32	.64

Figura 6 – Quantidade de partículas para definição do ISO

Assim como o laudo apresenta alta concentração de partículas sólidas com ISO 21/19/15, e conforme a norma, é necessário ter um óleo com ISO 18/16/13, utilizado em unidades hidráulicas, conforme nível de limpeza requerido, apresentado na figura 7. Então realizou-se uma filtragem, através de uma *off line*, que consiste em um sistema onde são montados filtros de alto desempenho, conseguindo remover uma grande quantidade de partículas, que causam a contaminação dos componentes hidráulicos, e tem como função limpar todo o reservatório para tornar o óleo em circulação mais limpo, como mostrado na Figura 8.


Nível de limpeza requerido	
Componentes	Código ISO
Controle de servoválvulas	16/14/11
Válvulas proporcionais	17/15/12
Bombas / Motores de palhetas e pistão	18/16/13
Válvulas de controle direcional e pressão	18/16/13
Reguladoras de pressão	18/16/13
Bombas de motores de engrenagem	19/17/14
Cilindros	20/18/15
Controle de Fluxo	20/18/15
Óleo Novo (sem uso)	20/18/15

**Figura 7 – Nível de limpeza requerido conforme aplicação**



**Figura 8 – Sistema off-line instalada na unidade hidráulica.**

Após as tratativas da unidade com a filtragem *off line*, e substituição de todos os elementos filtrantes de pressão, recirculação e também sendo feita a uma melhoria, a troca de filtros respiros por filtros de sílica gel, evitado a condensação do lubrificante e entrada de particulado. Realiza-se nova análise para verificar se a condição do óleo está de acordo com a norma ISO 4406, onde conforme mostra o laudo da Figura 9, apresenta condições normais.

 <p>Normal AMOSTRA 2000162458</p>	CLIENTE:	PTO COLETA   COMPART: /RETORNO MOTOR 4 - NOVO PONTO
	UNIDADE/OBRA: Obra Padrão - Celulose Riograndense - Guaiba RS	FAMILIA EQUIP. / FABRIC.: INDUSTRIAL - INDUSTRIAL
	ÁREA:	MODELO EQUIP.: -
	SETOR:	TAG/FROTA: 763-39-053
	CÓD. EXTERNO AMOSTRA:	CHASSI/SÉRIE: 763-39-053
	CÓD. EXT. COMPARTIMENTO:	CÓD. EXT. EQUIPAMENTO:

**AValiação:** Os resultados são aceitáveis quanto a taxa de desgaste e propriedades químicas. Recomendamos coletas regulares conforme plano de manutenção preditiva.

**Ações de Inspeção:**

**Comentário da Coleta:**

Dados da Amostra					Desgaste													Contaminação				Água					
mostra	Status	Coleta	Resultado	Período	β amostra	Troca?Adição	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	PbI (ppm)	Si (ppm)	Al (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	ISO (ISO)	>4µm (part/ml)	>6µm (part/ml)	>14µm (part/ml)	KF Vol. (ppm)
3162458	Normal	06/08/2020	24/08/2020			Não	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	17/16/14	653	555	95	423
3162335	Anormal	02/07/2020	22/07/2020			Não	17	68	0	2	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	17/16/15	960	558	176	413
3162713	Anormal	11/06/2020	23/06/2020			Não	15	60	0	1	0	1	0	0	0	0	0	13	2	1	2	0	15/13/11	196	68	10	432
3488947	Critico	10/05/2020	05/06/2020			N/A	15	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	4	0	21/19/15	12873	4281	281	364
3491807	Anormal	11/02/2020	28/02/2020			Não	14	76	1	1	0	1	0	0	0	1	0	7	3	0	4	2	15/14/11	303	82	13	432

Figura 9 – Laudo após a filtragem.

#### 4.6 CASO 2: CONTAMINAÇÃO POR ÁGUA

O caso 2 apresentado refere-se a unidade hidráulica da prensa do branqueamento, com presença de água (>0,2%). Como descrito no subitem 2.14, a água no óleo proporciona a oxidação dos componentes internos da máquina, causando o aumento da viscosidade do óleo, pela presença de insolúveis. Assim, é recomendado dois tipos de tratamento: a filtragem termo vácuo, que consistem na desidratação do óleo, e normalização do mesmo e/ou se aplica a substituição do óleo. No estudo foi utilizado o processo de tratamento termo vácuo que é feita através de filtros, que irão garantir que a quantidade de água em PPM seja reduzida, o procedimento também garante a diminuição de oxigênio. Durante o procedimento, o óleo mineral passa por uma câmara onde os gases e os vapores de água são movidos para a atmosfera, impedindo que se criem soluções aquosas junto do óleo.



Figura 10 – Termo vácuo instalada para desidratação do óleo.

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

O caso 3 refere-se à análise de óleo detectou uma moderada concentração de cobre, evidenciando desgaste nos componentes internos, conforme figura 11. Realizou-se a troca do óleo lubrificante e a inspeção no sistema para verificar as condições e componentes com possíveis desgastes.

Dados da Amostra		Desgaste													Contaminação					Água							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Período	P amostra	Troca/Adição	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mo (ppm)	Ag (ppm)	Pb (ppm)	Si (ppm)	Al (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	ISO (ISO)	>4µm (part/ml)	>15µm (part/ml)	>14µm (part/ml)	KF Vol. (ppm)
2000162321	Anormal	02/07/2020	22/07/2020			Não	18	71	0	1	0	1	0	0	0	1	0	9	2	0	0	0	14/13/10	133	44	9	410
2000162490	Anormal	11/06/2020	23/06/2020			Não	15	82	0	1	0	1	0	0	0	0	7	2	1	2	0	15/12/10	184	38	5	408	
1900488926	Anormal	10/05/2020	05/06/2020			Não	16	67	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	4	0	17/15/13	1077	271	62	422
1900491840	Anormal	11/02/2020	28/02/2020			Não	15	82	0	1	0	1	0	0	0	1	0	9	2	0	4	1	15/14/12	252	107	26	423
1900341156	Normal	07/11/2019	25/11/2019			Sim	5	21	0	0	0	0	1	0	0	0	7	0	0	0	0	0	16/15/13	545	197	41	464

Amostra	Fluido	Condições do fluido				Carga Aditiva					
		Visual	Viscosidade 40°C (cSt)	Oxidação-FTIR (abscm)	TAN (mg/KOH/g)	P (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	S (ppm)	Ba (ppm)
2000162321	ISO VG 100	Normal	95,98	3	0,945	486	753	148	2	0	1
2000162490	ISO VG 100	Normal	96,80	3	0,893	426	677	133	2	1	0
1900488926	ISO VG 100	Normal	96,47	3	0,963	617	940	184	2	1	0
1900491840	100 MOBIL DTE 27	Normal	95,21	3	1,075	462	734	148	2	1	0
1900341156	100 MOBIL DTE 27	Normal	97,20	3	0,981	544	828	156	2	1	0

Figura 11 – Laudo indica desgaste interno de componentes.

## 5. RESULTADOS

O contato-se que a análise de óleo é uma das ferramentas mais indispensáveis e importantes no trabalho da manutenção, técnica que consegue apontar erros e desgaste a partir da presença de elementos contaminantes nos óleos lubrificantes dos componentes. Representa uma das mais importantes variáveis na manutenção, permitindo um melhor seguimento de inspeções periódicas.

A engenharia de manutenção baseia-se em um método prático, a análise de óleo também consegue apontar anomalias, como perdas de propriedades físicas do fluido, presença de sujeira e demais substâncias contaminantes, antes que os problemas se agravem. Com o seu uso, a vida útil dos componentes é ampliada, reduzem-se gastos com material de reposição, trocas de óleo desnecessárias e mão de obra em manutenção não programadas (corretivas).

A análise do óleo lubrificante traz benefícios na manutenção dos equipamentos, já que é uma técnica que permite determinar quais são as reais condições de funcionamento de cada componente, baseada em dados e indicadores fornecidos por um programa de monitoramento e inspeções regulares, apontando irregularidades que podem evoluir para falhas futuras antes mesmo que elas aconteçam.

Diante destes resultados podemos afirmar que se as falhas não forem atacadas prontamente com seriedade, elas tenderão a aumentar e piorar sem um sistema de análise para otimizar a manutenção que reduza o desgaste e a troca desnecessária do óleo. Dentro dessa

perspectiva, pode-se destacar que além de predizer o tempo de vida útil dos equipamentos e seus componentes, o processo da análise de óleo detalha as atuais condições de cada um para que essa vida útil tenha o máximo aproveitamento e rentabilidade para a companhia.

Para obter resultados confiáveis, o procedimento de coleta deve ser descrito detalhadamente, e as amostras fornecidas para análise devem respeitar os padrões para não haver contaminação das mesmas. A rastreabilidade é importante para garantir a origem e o diagnóstico de cada equipamento. A higiene da ferramenta é essencial para resultados confiáveis.

Os resultados obtidos nas amostras de cada dispositivo, compartimento ou sistema não se limitam ao estado do óleo, mas como lidar com tais anomalias, seja por contaminação, viscosidade, abrasão ou acidez, para evitar a degradação dos componentes internos, evitando assim paradas não programadas dos equipamentos.

Com os dados fornecidos pelas análises de óleo, a engenharia de manutenção promoveu melhorias, como a substituição dos filtros de papéis por filtros de sílica gel, que são mais eficientes no controle de contaminantes, além de aumentar o tempo entre trocas dos filtros, que passaram de três para cinco meses, gerando economia. Outra importante contribuição, é o reestabelecimento das condições de operação do óleo lubrificante, que evita a degradação no lubrificante, evitando que o tempo entre as trocas seja menor do que o recomendado pelo fabricante do equipamento.

## **6. CONCLUSÃO**

Nas realizações das análises de óleo é importância adotar o procedimento de coleta determinado, para que no momento da coleta seja evitado ao máximo qualquer tipo de contaminação e quaisquer alterações na amostra de óleo coletada.

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

Conclui-se que com a análise de óleo lubrificante podem ser usadas para se conhecer a real situação de degradação dos componentes mecânicos e fornecer parâmetros importantes para se avaliar a vida útil destes equipamentos. Este tipo de informação pode subsidiar a engenharia de manutenção, através de dados de campo que podem ser usados na otimização de componentes, seleção de materiais, implementação de melhorias no processo de fabricação, especificação de regimes de operação, seleção de lubrificantes e análise do ciclo de vida de equipamentos.

Por fim, sugere-se implantar um sistema de gestão de manutenção automatizado para comparar os dados operacionais com as análises do lubrificante, relacionando-as com as causas das falhas do equipamento. Esses dados seriam armazenados em um banco de dados, estabelecendo correlações consistentes entre eles e as causas das falhas, permitindo-se criar projetos de máquinas com maior vida útil, segurança e confiabilidade.

## REFERÊNCIAS

- KARDEC, Alan; NASCIF Júlio. Manutenção: função estratégica. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009.
- MONCHY, François. A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial. 1. Ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987.
- PEREIRA, Mário Jorge. Técnicas Avançadas de Manutenção. 1. Ed. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2010.
- XENOS, Harilaus G. Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade. 1.ed. Rio de Janeiro: EDG, 1998.
- RODRIGUES, Renato; GOLÇALVES, José Correia. Procedimentos de Metodologia Científica. 8. Ed. Lages: Ed. Papervest, 2017.
- ABNT NBR 14066 (ASTM D4628). Determinação de Cálcio, Magnésio e Zinco em óleos lubrificantes novos por Espectrometria de Absorção Atômica, Brasil, 2008.
- 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.
- 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.
- HERNANDES, P. Análise de óleo: Tudo o que você precisa saber sobre o assunto. ALS Global. Brasil, 05 de janeiro 2022. Disponível em:  
<https://www.alsglobal.com/%2Fpt-br%2Fnews%2Fartigos%2F2018%2F07%2Fanalise-de-leo-tudo-o-que-voc-precisa-saber-sobre-o- assunto>
- LACERDA, Heitor Silva Lima, Os Lubrificantes: Métodos de Utilização, Descarte Correto e Re-refino CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DEMÁQUINAS APMA 2015.1 Rio de Janeiro 2015
- KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.



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.

SILVA, M. B; WALLBANK, J. Lubrication and application method in machining. Industrial Lubrication and Tribology, 1998.