



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MARCOS ROGÉRIO VIEIRA NUNES FILHO

**MANUTENÇÃO PREDITIVA: ANÁLISE E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM
REDUTORES DE VELOCIDADE APÓS TESTE DE FLUIDO LUBRIFICANTE**

RUSSAS
2022

MARCOS ROGÉRIO VIEIRA NUNES FILHO

MANUTENÇÃO PREDITIVA: ANÁLISE E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM
REDUTORES DE VELOCIDADE APÓS TESTE DE FLUIDO LUBRIFICANTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira

RUSSAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N926m Nunes Filho, Marcos Rogério Vieira.
Manutenção preditiva: análise e propostas de intervenção em redutores de velocidade após teste de fluido lubrificante / Marcos Rogério Vieira Nunes Filho. – 2022.
57 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022.
Orientação: Profª. Dra. Carolyn Gomes de Oliveira.
1. Análise de óleo. 2. Manutenção. 3. Redutor de velocidades. I. Título.

CDD 620.1

MARCOS ROGÉRIO VIEIRA NUNES FILHO

MANUTENÇÃO PREDITIVA: ANÁLISE E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM
REDUTORES DE VELOCIDADE APÓS TESTE DE FLUIDO LUBRIFICANTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cândido Jorge de Sousa Lobo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Rogério e Marleide.

A minha irmã, Maria Eliza.

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda a minha saúde e proteção ao longo da minha vida.

A minha família, em especial aos meus pais, Rogério e Marleide, por todo ensinamento, e todo apoio necessário ao longo da minha vida, pois sem vocês essa conquista não seria possível.

A minha irmã, Maria Eliza, por todos os momentos de distração, especialmente nas tardes de domingo assistindo aos jogos do nosso tão amado Sport Club Corinthians Paulista.

A minha namorada, Thaís Cruz, por todo o carinho, amor, amizade, companheirismo, paciência, cuidado e incentivo.

Ao amigo, Pe. Maciel Sousa, pelas trocas e conselhos sobre a vida.

Aos amigos Neil Preece e Mike Nobes (*In memoriam*), por todos os ensinamentos e incentivo.

Aos meus amigos de graduação, em especial, Pedro Honorato, Samuel Carvalho, Jéssica Carvalho, Cleiton Monteiro e Laura Fernanda, que compartilharam comigo várias horas de estudo, bem como, os momentos de diversão e descontração. Esses anos vividos durante a graduação serão inesquecíveis.

Um agradecimento especial aos meus tutores de estágio: Hector Silva, supervisor de manutenção, e ao coordenador de manutenção, Paulo Oliveira, por terem dado a ideia central deste trabalho, bem como pelos dados cedidos, por todos os conselhos, dicas e aprendizados adquiridos no decorrer do meu período de estágio, assim como na construção deste trabalho. Iniciar a minha jornada profissional sob a liderança de vocês, para mim, é, e sempre será algo engrandecedor.

A Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira, primeiramente, por ter aceito o meu convite em ser minha orientadora, pois graças a excelente orientação, hoje estou entregando este trabalho. Agradeço também pelos ensinamentos, e por todo o auxílio prestado na construção deste trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora, Prof. Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros e Prof. Dr. Cândido Jorge de Sousa Lobo pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, cada um teve uma contribuição essencial para que eu chegasse até aqui.

“Não importa quanto a vida possa ser ruim, sempre existe algo que você pode fazer, e triunfar. Enquanto há vida, há esperança.”
(Stephen Hawking).

RESUMO

Todo equipamento ou sistema mecânico está fadado a processos de deterioração, ocasionando o surgimento de falhas que podem comprometer a continuidade e a qualidade de todo um processo produtivo. Na tentativa de prever tais defeitos, é feito o uso de técnicas de manutenção preditiva. Dentre essas, uma que se destaca quando se fala em manutenção de redutores é a análise de óleo lubrificante. Tal técnica é capaz de identificar os primeiros sinais de desgaste de um componente. A identificação é feita por meio de estudo da quantificação das partículas, análise de viscosidade, índice de partículas magnéticas, número total de acidez e afins. A análise de óleo é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem equipamentos e métodos distintos para cada ensaio realizado. Neste trabalho, a análise de óleo lubrificante foi utilizada para avaliar as condições de seis redutores de velocidade de uma indústria de tintas imobiliárias, onde foram avaliados parâmetros como índice de desgaste e análise de viscosidade do lubrificante, por exemplo. Para tal, foi feito um estudo bibliográfico sobre os tipos de manutenção, sobre os ensaios realizados nas amostras de óleo, e sobre os tipos de lubrificantes. Por meio dos resultados obtidos através dos ensaios, foi realizada uma classificação quanto ao *status* que cada amostra se enquadra, e realizada a propositura de ações de intervenção para cada um dos redutores avaliados, com o objetivo de sanar a problemática através da análise de óleo.

Palavras-chave: Análise de óleo; Manutenção; Redutor de velocidades.

ABSTRACT

All equipment or mechanical system is doomed to deterioration processes, causing the appearance of failures that can compromise the continuity and quality of an entire production process. In an attempt to predict such defects, predictive maintenance techniques are used. Among these, one that stands out when it comes to gearbox maintenance is the analysis of lubricating oil. Such a technique is capable of identifying the first signs of wear on a component. The identification is made by studying the quantification of particles, viscosity analysis, magnetic particle index, total acidity number and the like. Oil analysis is performed using laboratory techniques that involve different equipment and methods for each test performed. In this work, the analysis of lubricating oil was used to evaluate the conditions of six speed reducers of a house paint industry, where parameters such as wear index and lubricant viscosity analysis were evaluated, for example. To this end, a bibliographic study was carried out on the types of maintenance, on the tests carried out on the oil samples and on the types of lubricant. Through the results obtained through the tests carried out, a classification was made regarding the status that each sample fits and intervention actions were proposed for each of the evaluated gearboxes that would lead to solving the problem elucidated through the oil analysis.

Keywords: Oil analysis; Maintenance; Speed reducer

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de manutenção.....	17
Figura 2-Cores dos lubrificantes.....	21
Figura 3- Aparelhagem para a determinação de água pelo reagente de Karl Fischer.....	23
Figura 4 - Viscosímetro Cannon- Fenske.....	24
Figura 5- Representação de Instrumentação Básica para Ensaio de Espectrometria de Emissão Atômica.....	25
Figura 6- Representação Esquemática de Uma Medida por Espectrometria por IV.....	26
Figura 7- Equipamento e esquema de funcionamento do método de ferrografia quantitativa.	28
Figura 8- Ferrógrafo analítico FM III e seu princípio de funcionamento.....	29
Figura 9- Fluxo de etapas do trabalho.....	30
Figura 10- Material básico para coleta das amostras.....	32
Figura 11- Amostras embaladas.....	32
Figura 12- Plataforma de acesso aos resultados das análises.....	34
Figura 13- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor reator 02.....	35
Figura 14- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor reator 02.....	36
Figura 15- Gráf. análise determinação de água redutor reator 02.....	36
Figura 16-Gráf. condições do fluido lubrificante redutor reator 02.....	36
Figura 17- Gráf. com dados de carga aditiva redutor reator 02.....	36
Figura 18- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor micronizado 03.....	38
Figura 19- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor micronizado 03.....	38
Figura 20- Gráf. análise determinação de água redutor micronizado 03.....	38
Figura 21-Gráf. condições do fluido lubrificante micronizado 03.....	39
Figura 22- Gráf. com dados de carga aditiva redutor micronizado 03.....	39
Figura 23- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor hom sintético 05.....	40
Figura 24- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor hom sintético 05.....	41
Figura 25- Gráf. análise determinação de água redutor hom sintético 05.....	41
Figura 26-Gráf. condições do fluido lubrificante do redutor hom sintético 05.....	41
Figura 27- Gráf. com dados de carga aditiva redutor hom sintético 05.....	42
Figura 28- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor raspador masseira 05.....	43

Figura 29- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor raspador masseira 05.....	44
Figura 30- Gráf. análise determinação de água redutor raspador masseira 05.....	44
Figura 31-Gráf. condições do fluído lubrificante do redutor raspador masseira 05.....	44
Figura 32- Gráf. com dados de carga aditiva redutor raspador masseira 05.....	45
Figura 33- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor tanque hom 15 sintético.....	46
Figura 34- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor tanque hom 15 sintético..	47
Figura 35- Gráf. análise determinação de água redutor tanque hom 15 sintético.....	47
Figura 36-Gráf. condições do fluído lubrificante do redutor tanque homogeneização 15 sintético.....	47
Figura 37- Gráf. com dados de carga aditiva redutor tanque homogeneização 15 sintético....	48
Figura 38- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor raspador masseira 06.....	49
Figura 39- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor raspador masseira 06.....	50
Figura 40- Gráf. análise determinação de água redutor raspador masseira 06.....	50
Figura 41-Gráf. condições do fluído lubrificante do redutor raspador masseira 06.....	50
Figura 42- Gráf. com dados de carga aditiva redutor raspador masseira 06.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Lista de equipamentos avaliados.....	31
Tabela 02 – Ferramentas utilizadas.....	31
Tabela 03 – Resultado análises redutor reator 02 resic.....	35
Tabela 04 – Resultado análises redutor micronizado 03.....	37
Tabela 05 – Resultado análises redutor tanque 05 sintético.....	40
Tabela 06 – Resultado análises redutor raspador masseira 05.....	43
Tabela 07 – Resultado análises redutor tanque 15 sintético.....	46
Tabela 08 – Resultado análises redutor raspador masseira 06.....	49
Tabela 09 – Resumo dos resultados obtidos das análises.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
cSt	Centistokes
FTIR	<i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i>
ICP	<i>Inductively Coupled Plasma</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IV	Infravermelho
mgKOH/g	Índice de acidez
mm/s ²	Milímetros por segundo ao quadrado
μ	Micro
%	Porcentagem
ppm	Partes por milhão
PQ	Quantidade adimensional de partículas magnéticas
PQI	<i>Particle Quantification Index</i>
TAN	<i>Total Acid Number</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo geral	16
1.2	Objetivos específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Manutenção Industrial	17
2.1.1	<i>Manutenção Corretiva</i>	17
2.1.2	<i>Manutenção Preventiva</i>	18
2.1.3	<i>Manutenção Preditiva</i>	18
2.2	Lubrificantes	19
2.3	Tipos de óleos lubrificantes	19
2.4	Análise de óleos lubrificantes	20
2.4.1	<i>Análise de aparência</i>	21
2.4.2	<i>Análise de determinação de água</i>	22
2.4.3	<i>Análise de viscosidade</i>	23
2.4.4	<i>Análise de índice de partículas-PQI</i>	24
2.4.5	<i>Análise de espectrometria de emissão a plasma-21 elementos</i>	24
2.4.6	<i>Análise de espectrometria por infravermelho</i>	25
2.4.7	<i>Análise de número total de acidez-TAN</i>	26
2.4.8	<i>Ferrografia</i>	27
2.4.8.1	<i>Ferrografia quantitativa</i>	27
2.4.8.2	<i>Ferrografia analítica</i>	28
3	METODOLOGIA	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Resultado das análises de óleo	34
4.1.1	<i>Redutor do reator 02</i>	34
4.1.2	<i>Redutor micronizado 03</i>	37
4.1.3	<i>Redutor tanque homogeneização 05 sintético</i>	39
4.1.4	<i>Redutor raspador masseira 05</i>	42
4.1.5	<i>Redutor tanque homogeneização 15 sintético</i>	45
4.1.6	<i>Redutor raspador masseira 06</i>	48
4.2	Análise e propostas	51
4.2.1	<i>Análise e propostas redutor do reator 02</i>	52

4.2.2	<i>Análise e propostas redutor micronizado 03</i>	52
4.2.3	<i>Análise e propostas redutor tanque homogeneização 05 sintético</i>	53
4.2.4	<i>Análise e propostas redutor raspador masseira 05</i>	53
4.2.5	<i>Análise e propostas redutor tanque homogeneização 15 sintético</i>	54
4.2.6	<i>Análise e propostas redutor raspador masseira 06</i>	54
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 5462 (1994), a manutenção é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Na literatura, encontramos algumas classificações de manutenção, onde a divisão mais utilizada é aquela em dois tipos principais: manutenção corretiva e manutenção preventiva.

A manutenção corretiva atua efetuando reparos e melhorias após a falha do equipamento, tratando de um efeito curativo. A manutenção preventiva tenta evitar ao máximo uma falha, tomando uma série de ações, atividades ou diretrizes que podem parar ou diminuir, ou não, a necessidade de manutenção corretiva (Kimura,2010).

Porém, é possível estratificar o conceito de manutenção preventiva em duas subclasses: manutenção preventiva sistemática e manutenção preventiva preditiva. A manutenção preventiva sistemática é baseada em função do tempo de funcionamento da máquina, sendo ela a mais utilizada em razão da sua simplicidade, e custos envolvidos.

A manutenção preventiva preditiva atua baseada na condição, fazendo uso de informações adquiridas através de inspeções das condições físicas, análise do comportamento do equipamento, exigindo um bom conhecimento técnico, instrumentação específica para coleta e análise de dados.

De acordo com Arato (2004) a prática da manutenção preditiva envolve três etapas: detecção do defeito, estabelecimento de um diagnóstico e análise de tendência.

A detecção do defeito acontece por meio da observação dos valores medidos das variáveis de controle que indicam uma evolução mais rápida do que a degradação natural do equipamento.

O estabelecimento do diagnóstico é o resultado das análises dos valores das variáveis de acompanhamento estabelecidos, tomando como referência modelos de desgaste e informações anteriores do equipamento.

A análise de tendência visa ampliar o diagnóstico e se prever, na medida do possível, quanto tempo se dispõe antes da parada forçada pela quebra propriamente dita do equipamento. Em tais etapas são utilizadas técnicas e procedimentos que consistem em monitorar diversos parâmetros do equipamento que possam indicar o estado de conservação do mesmo.

Na indústria, existem equipamentos que se faz necessário uma análise cautelosa e criteriosa a fim de determinar o melhor tipo de manutenção a ser empregada nos ativos. Dentre

esses equipamentos, é possível citar os redutores lubrificados a óleo, sendo este um dispositivo mecânico cuja sua finalidade é a redução de rotação de um acionador, que em boa parte das vezes é um motor elétrico.

Geralmente, tais equipamentos são alocados em etapas importantes de um processo produtivo, dessa forma, não seria interessante que o tipo de manutenção a ser empregada fosse o método corretivo, devido toda a questão de tempo de reparo e custos com perda de produção, além de se tratar de um equipamento que é necessário toda uma infraestrutura e mão de obra especializada para efetuar os devidos reparos.

Dessa forma, o melhor método de manutenção a ser empregado em redutores lubrificados a óleo é a manutenção preditiva, pelo fato desta trabalhar na tentativa de evitar ao máximo a falha do equipamento fazendo uso de técnicas que realizam o acompanhamento de parâmetros relevantes acerca das condições de uso destes equipamentos.

Uma das principais técnicas utilizadas para o monitoramento das condições destes equipamentos é fazendo uso de métodos de manutenção preditiva, no caso, a análise de óleo lubrificante.

Por meio da análise de óleo lubrificante é possível determinar o ponto ótimo de parada para se aplicar a manutenção preventiva, pois com a análise dos dados coletados é possível definir a real necessidade de intervenção no equipamento, identificando equipamentos com problemas crônicos e propondo correções, fazendo com que a disponibilidade de recursos aumente, além de reduzir custos em manutenção. No mais, com a análise de óleo também é possível que seja eliminada a troca de componentes com vida útil remanescentes de forma prematura.

Tal ação tem grande relevância na indústria, visto que, proporcionará redução de custos com manutenção, as situações de riscos de falha serão antecipadas, e o monitoramento das reais condições de cada equipamento será mais preciso. Estes são alguns dos ganhos ao se fazer uso da análise de óleo.

Esta avaliação do óleo lubrificante faz uso de técnicas laboratoriais envolvendo instrumentos e reagentes. A identificação é feita por meio de estudo da quantificação das partículas, análise de viscosidade, índice de partículas magnéticas e afins, que fornecem informações precisas sobre as condições das superfícies que estão em movimento, sem a necessidade de desmontar todo o conjunto.

1.1 Objetivo geral

O intuito deste trabalho é apresentar o método de análise de óleo lubrificante como uma das técnicas de manutenção preditiva para o monitoramento de parâmetros de redutores industriais e por meio dos resultados obtidos, propor ações de intervenção nos equipamentos que levem a sanar as problemáticas apontadas nos ensaios.

1.2 Objetivos específicos

O trabalho tem como objetivos específicos:

- Apresentar as análises laboratoriais de aparência, determinação de água, viscosidade, índice de partículas magnéticas, TAN, espectrometria de emissão a plasma e por infravermelho como ensaios para avaliar as condições de redutores de velocidade através de amostras de óleo lubrificante.
- Classificar o *status* dos equipamentos por meio dos resultados obtidos na análise do lubrificante.
- Propor ações a serem tomadas com o objetivo de determinar as reais causas das anormalidades apontadas nos ensaios realizados.
- Propor ações corretivas que sanem não conformidades apresentadas nos ensaios.

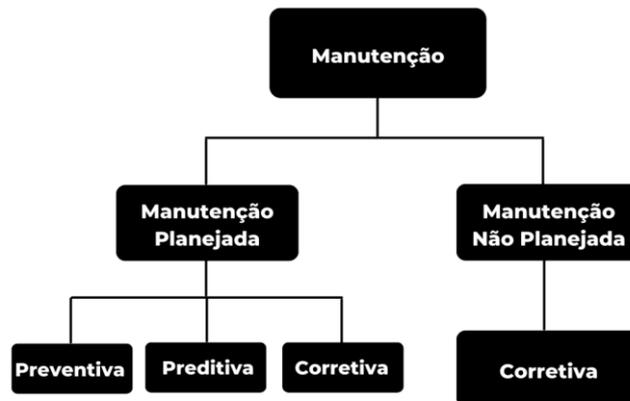
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manutenção industrial

A manutenção industrial consiste no conjunto de ações práticas e estratégicas que visam a integridade de equipamentos e processos no ambiente fabril. Tendo como objetivo a redução de falhas operacionais que podem acarretar em paradas, proporcionando que a produção aconteça de forma contínua.

No tocante aos tipos de manutenção aplicadas, a Figura 1 mostra a seguinte classificação.

Figura 1- Tipos de manutenção



Fonte: Retirado do blog Arkmeds (2022)

2.1.1 *Manutenção corretiva*

É o tipo de manutenção cuja sua finalidade é a de corrigir algum defeito que venha surgir em um equipamento, e que após tal correção, este possa desempenhar suas funções previamente estabelecidas em projeto de forma eficiente e confiável (NBR 5462, item 2.8.8, pág 7).

Segundo Pinto e Xavier (1988), esse tipo de manutenção pode ocorrer de duas formas, uma de forma não programada, onde a correção da falha é de modo aleatório, não apresentando nenhum tipo de planejamento prévio e a de forma programada, onde mesmo após a falha funcional, não se faz necessário a intervenção de forma imediata.

2.1.2 Manutenção preventiva

Trata-se da manutenção efetuada em períodos de tempo pré-determinados ou com base em outros critérios, este tipo de manutenção tem como finalidade a redução da probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (NBR 5462, item 2.8.7, pág 7).

De acordo com Xenos (1998), ao comparar com a manutenção corretiva, somente no sentido de custo com a manutenção, temos que o método preventivo se torna mais caro, pois é necessário a troca de peças e os componentes têm que ser reformados antes de atingirem seu limite de uso. Por outro lado, o número de ocorrências com falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta, além de reduzir as paradas inesperadas da produção.

De forma geral, se for levado em conta o custo total, em diversas situações a manutenção preventiva se torna mais vantajosa frente a manutenção corretiva, visto que se pode ter o domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de ficar sujeito às paradas inesperadas devido às falhas nos equipamentos.

2.1.3 Manutenção preditiva

É a manutenção que fornece condições para garantir uma qualidade de serviço desejada, fazendo uso sistemático de técnicas de análise e meios de supervisão, a fim de reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (NBR 5462, item 2.8.9, pág 7).

De acordo com Pinto e Xavier (1988), o objetivo deste tipo de manutenção é a de prevenir falhas, seja em equipamentos ou sistemas, isso se dá ao fazer o acompanhamento de diversos parâmetros, proporcionando ao equipamento a capacidade de funcionamento contínuo pelo maior período de tempo possível.

Na prática, o termo relacionado a manutenção preditiva é o de predizer a condição dos equipamentos, portanto, este modo de manutenção favorece a disponibilidade dado que não promove a intervenção dos equipamentos ou sistemas, dado que as medições e verificações são realizadas com o equipamento em funcionamento.

2.2 Lubrificantes

A lubrificação pode ser definida como o ato de reduzir o atrito entre duas superfícies que apresentam movimento relativo uma sobre a outra, para isso, se faz necessário a introdução de uma substância entre as mesmas. Sempre que uma superfície apresentar movimento em relação a outra, haverá uma força contrária ao referido movimento, denominada atrito. De forma conjunta ao mecanismo de geração de atrito, também surgem aquecimento, ruído e desgaste das superfícies envolvidas.

Dessa forma, o principal objetivo dos lubrificantes é a de reduzir o atrito e de forma conjunta, minimizar o desgaste, o ruído, além de diminuir o aquecimento ocasionado pelo deslocamento relativo das superfícies. A redução do desgaste ocorre quando o lubrificante impede o contato entre as áreas, além de promover a remoção de partículas abrasivas. O calor gerado também é reduzido, pois o mesmo é dissipado pelo lubrificante.

No mais, o lubrificante atua na remoção de contaminantes pela ação dos detergentes e dispersantes ou por meio da circulação do óleo por filtros. Ele também pode ser utilizado como agente de vedação e proteção contra corrosão, como isolante térmico e no amortecimento de choques e ao dispersar vibrações. No mais, os lubrificantes podem ser encontrados no estado sólido, líquido, gasoso e pastoso.

A lubrificação possui papel fundamental na manutenção, ela garante proteção aos componentes. A ausência deste recurso pode ocasionar sérios problemas, levando a falhas prematuras dos componentes dos equipamentos e máquinas, conseqüentemente, aumentará o custo com manutenções.

2.3 Tipos de óleos lubrificantes

Os lubrificantes líquidos são os mais empregados na lubrificação, estes são caracterizados pela viscosidade, porém, outras propriedades também são importantes. Os óleos lubrificantes têm nomes que especificam tais propriedades, podendo ser subdivididos em: óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos, óleos aditivados e óleos sintéticos.

Os óleos minerais provêm através da destilação e refino do petróleo, dessa forma, suas propriedades dependem da natureza do óleo cru, sua composição é formada por grande número de hidrocarbonetos, estes pertencentes a três classes: parafínicos, naftênicos e

aromáticos. Os óleos minerais são os mais utilizados e importantes em lubrificação (PETROBRÁS,1999).

Os graxos são de origem animal ou vegetal, foram os primeiros lubrificantes a serem utilizados, sendo substituídos posteriormente pelos óleos minerais. Atualmente, seu uso é raro, devido à instabilidade química, principalmente em altas temperaturas, provocando a formação de ácidos e vernizes (PETROBRÁS,1999).

Os compostos são constituídos de misturas de óleos minerais e graxos. Aplicações específicas necessitam deste tipo de óleo lubrificante, pois este apresenta maior oleosidade e maior facilidade de emulsão na presença de vapor (PETROBRÁS,1999).

Os aditivados são óleos minerais puros ou sintéticos, em que foram adicionadas substâncias denominadas de aditivos, com a finalidade de reforço ou acréscimo de determinadas propriedades (CUNHA,2004).

Os sintéticos são provenientes da indústria petroquímica, produzidos em laboratório por meio da polimerização, especialmente para proporcionar características especiais de viscosidade e resistência a temperaturas altas ou muito baixas, com a finalidade de atender aplicações especiais em alguns setores da indústria. Tais lubrificantes apresentam um custo elevado, devido a isso, seu uso é limitado aos locais onde óleos convencionais não podem ser utilizados (PETROBRÁS,1999).

2.4 Análise de óleos lubrificantes

A análise de óleo lubrificante é o método que permite fazer o acompanhamento das condições dos óleos lubrificantes e dos componentes internos do equipamento, sendo esta, uma das ferramentas mais importantes da manutenção preditiva, em que é possível diagnosticar falhas precoces que ocorrem nas partes internas das máquinas como as engrenagens.

Com a análise de óleo, é possível a detecção de desgaste tanto nas peças móveis dos equipamentos quanto a presença de substâncias contaminantes no meio. Ao ser realizado um diagnóstico preciso por meio desta técnica, a identificação e conseqüentemente as tomadas de decisões são mais rápidas e mais assertivas, evitando assim comprometer o desempenho do processo produtivo e conseqüentemente a qualidade do produto.

Porém, se faz necessário levar em consideração vários fatores para que se possa chegar nas reais condições de uso do lubrificante. Tais fatores são analisados e reunidos em um

relatório organizado e de fácil entendimento, tornando possível o devido diagnóstico e consequentemente as ações necessárias para atuar na antecipação de falhas.

2.4.1 Análise de aparência

A análise de aparência em lubrificantes é a avaliação baseada por meio dos sentidos do ser humano. Em tal situação, o principal modo para realizar esse tipo de análise é fazendo uso da visão.

As alterações que podem ser observadas são a turbidez, presença de materiais em suspensão, fases distintas, coloração alterada dentre outros sinais que podem ser percebidos através da análise visual do lubrificante (ALS,2018). Estas alterações são indicativos de contaminação por água e que a eficiência do lubrificante está comprometida. A Figura 2 ilustra a variação das cores dos lubrificantes.

Figura 2-Cores dos lubrificantes.



Fonte: Retirado da plataforma Mecânica Industrial (2022)

2.4.2 Análise de determinação de água

Em certas condições de operação e ambientes, a contaminação do óleo lubrificante por água é mais comum do que a de material particulado sólido, tal situação não é levada em conta como causa primária de defeitos nos equipamentos industriais.

A água pode estar presente nos óleos lubrificantes em três fases ou estados, onde o primeiro destes é conhecido como água dissolvida, caracterizada pelas moléculas dispersas por todo o volume do lubrificante. Boa parte dos óleos lubrificantes industriais suportam de 200 ppm a 600 ppm de água no estado dissolvido, dependendo da temperatura e do estado de envelhecimento do óleo lubrificante (LOBB,2015).

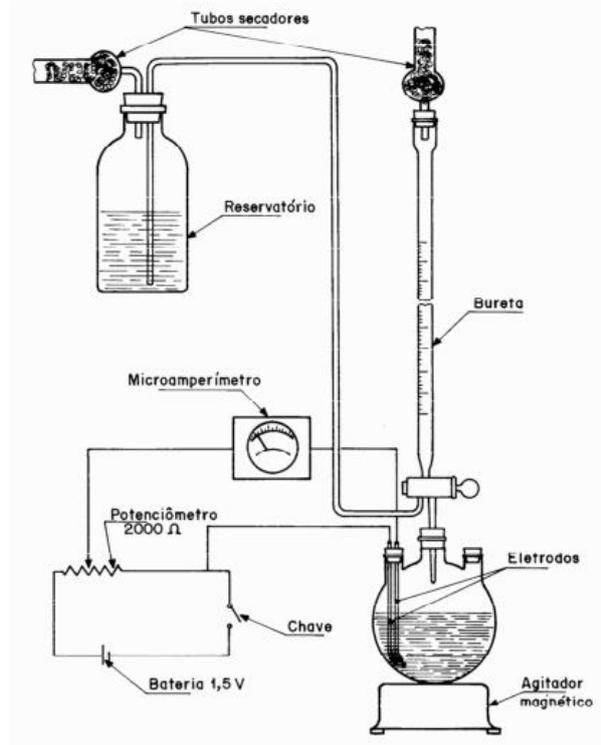
Ainda segundo Lobb (2015) quando a quantidade de água excede o nível máximo para permanecer dissolvida, o óleo fica saturado, chegando no estado conhecido como emulsão, em que a água fica suspensa no óleo em forma de gotículas, e o terceiro estado é denominado de água livre, onde este é composto da união de gotículas de água sob condições favoráveis que acabam por acumular no fundo do reservatório de óleo do equipamento.

A presença de água no lubrificante é capaz de acelerar o processo de oxidação e corrosão dos componentes, também pode provocar a perda das propriedades físico-químicas desejáveis dos aditivos. No mais, é capaz também de aumentar o atrito entre as partes móveis devido a perda da capacidade de lubrificação, ocasionado assim o aumento da temperatura, os desgastes e conseqüentemente, a formação de partículas.

Diante disso, para se controlar o nível de umidade nos óleos lubrificantes devemos utilizar de meios para a detecção da sua presença, existem alguns testes que são capazes de mensurar o nível de água no óleo.

Um dos métodos mais eficazes nesse âmbito é o método de Karl Fischer, onde se é capaz de detectar quantidades tão pequenas quanto 5 ppm. As normas mais utilizadas que descrevem o passo a passo deste procedimento são os métodos ASTM D6304, ASTM D4377 e NBR 11348. A Figura 3 mostra a aparelhagem necessária para se realizar o respectivo ensaio.

Figura 3- Aparelhagem para a determinação de água pelo reagente de Karl Fischer



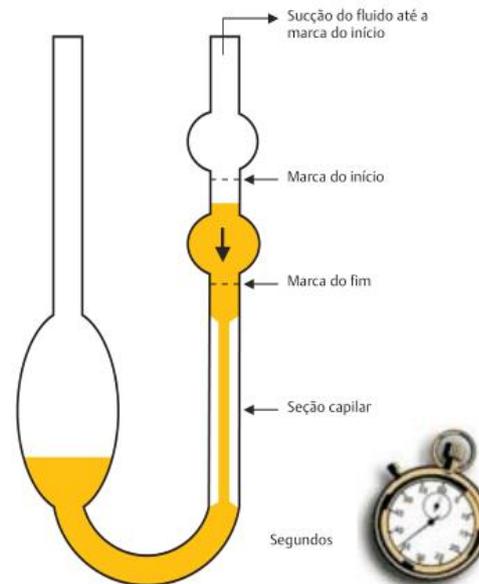
Fonte: ABNT NBR 11348 (2005)

2.4.3 Análise de viscosidade

A viscosidade é a propriedade mais importante dos óleos lubrificantes, em que este está atrelado diretamente ao atrito e conseqüentemente influencia na taxa de desgaste dos componentes do equipamento. Dessa forma, é de suma importância analisar essa característica física tão necessária na área da lubrificação. Ela é definida como a tensão de cisalhamento em um plano no fluido por unidade de gradiente de velocidade normal ao plano. Tal propriedade pode ser expressa como viscosidade cinemática (mm^2/s ou cSt) ou viscosidade dinâmica, cujo a unidade é o Pa.s.

A norma ASTM D445 apresenta um teste padrão para viscosidade cinemática de líquidos, na qual este método especifica um procedimento para a determinação desta propriedade em produtos de petróleo líquido, transparentes e opacos, medindo o tempo que um volume de líquido corre sob gravidade por meio de um viscosímetro capilar de vidro calibrado. A faixa de viscosidades cinemáticas abrangidas por tal método varia de 0,2 a 300.000 mm^2/s em uma faixa de temperatura de 0 a 100 °C. A Figura 4 ilustra um viscosímetro cinemático.

Figura 4 - Viscosímetro Cannon- Fenske



Fonte: Texaco (2005)

2.4.4 Análise de índice de partículas- PQI

A quantificação de partículas é um método bastante comum para se obter níveis de purificação dos lubrificantes. A norma ASTM D8184 é capaz de fornecer tal informação, onde a amostra do lubrificante é examinada através de um campo indutivo, que ao detectar a presença de materiais magnéticos apresenta o resultado na forma de um índice adimensional, denominado índice PQ ou PQI. Um maior teor de partículas magnéticas leva a um índice PQ mais alto, porém, em tal método não é fornecida uma distribuição de tamanho das partículas bem como informações sobre sua morfologia.

2.4.5 Análise de espectrometria de emissão a plasma - 21 elementos

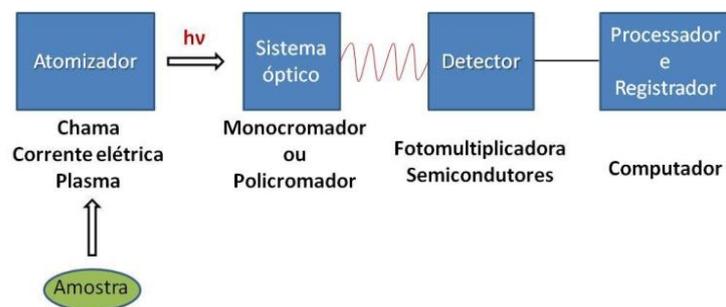
Levando em consideração a grande variedade de materiais que compõem um equipamento, a técnica de espectrometria auxilia no monitoramento das partículas presentes no

lubrificante, é uma ferramenta que auxilia na determinação de qual o melhor momento para que seja efetuada a manutenção no equipamento.

Em tal técnica, os elementos a serem determinados são excitados energeticamente por meio de um plasma indutivamente acoplado (ICP), dessa forma, cada elemento emite um ou vários comprimentos de onda característicos após essa excitação, através do comprimento de onda emitido é capaz de identificar o elemento químico, isso de forma qualitativa.

Para determinar a concentração de cada elemento, é analisada a intensidade da luz emitida nos comprimentos de onda característicos. A espectrometria de emissão óptica (ICP) é uma das técnicas mais utilizadas quando se trata da determinação de metais em óleos lubrificantes. Uma norma que trata do método padrão para esta análise é a ASTM D5185. A Figura 5 mostra uma representação esquemática da instrumentação básica para o respectivo ensaio.

Figura 5- Representação de Instrumentação Básica para Ensaio de Espectrometria de Emissão Atômica



Fonte: Silva (2013)

2.4.6 Análise de espectrometria por infravermelho

Grande parte dos compostos que apresentam ligações covalentes absorvem radiação eletromagnética na região do infravermelho (IV), que consiste em uma região do espectro que possui comprimentos de onda maiores que os da luz visível. A região do infravermelho vibracional corresponde a faixa de 4000 a 400 cm^{-1} em termos de número de onda que corresponde a comprimentos de onda que variam de 2,5 a 25 μm .

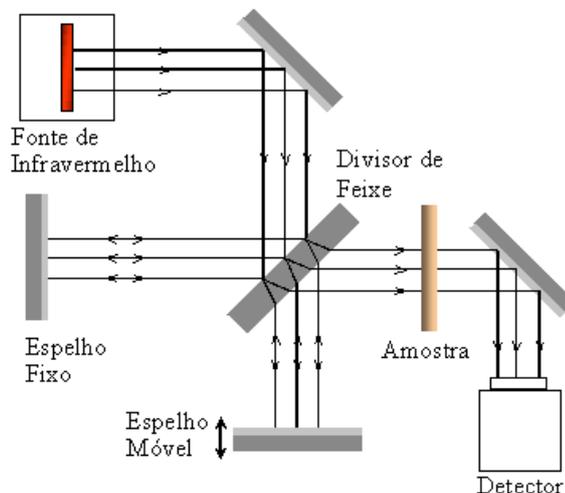
A energia eletromagnética que as moléculas absorvem na região do infravermelho corresponde com as frequências vibracionais das ligações da molécula em questão. Pois ao

absorver essa energia acarreta no aumento da amplitude das vibrações da ligação covalente, e esse aumento é registrado de forma gráfica, na qual o espectro IV é capaz de diferenciar os tipos de ligação, da mesma forma como as impressões digitais diferenciam os humanos. Cada tipo de ligação é vista em uma faixa diferente no espectro (PAVIA, D. L, et al).

A espectroscopia no infravermelho é uma técnica muito utilizada, podendo ser aplicada em trabalhos cotidianos, controle de qualidade e na elucidação de estruturas moleculares (ALVES, O.L). Ela possui como vantagens o tempo reduzido de análise, não requer um preparo criterioso da amostra, a quantidade da amostra é reduzida e a capacidade de caracterizar estruturas complexas.

Fazendo uso desta técnica, podemos fazer o monitoramento de parâmetros relacionados com o desgaste de óleos lubrificantes, alguns destes são: subprodutos de oxidação, ocorrência de nitratação, fuligem, contaminação por combustível e água. A norma ASTM E2412 é uma das mais interessantes quando se trata de análise de óleo lubrificante fazendo uso de infravermelho. A Figura 6 trata da representação esquemática do respectivo método.

Figura 6- Representação Esquemática de Uma Medida por Espectrometria por Infravermelho



Fonte: Bairral (2002)

2.4.7 Análise de número total de acidez- TAN

A análise de acidez do óleo mede a quantidade de substâncias ácidas presentes no óleo indicando a capacidade de neutralização dos resíduos ácidos devido ao tratamento do óleo. Também conhecido como TAN (*Total Acid Number*), ele representa a massa em mgKOH/g

necessária para neutralizar um grama de óleo: é a medida contida em todas as substâncias contidas no óleo que reagem com hidróxido de potássio.

Os constituintes mais comuns destes produtos ácidos são ácidos orgânicos, sabões de metais, produtos de oxidação, nitritos e nitrocompostos e, ainda, outros compostos, que podem estar presentes como aditivo que reagem com o hidróxido de potássio (MALPICA,2007).

2.4.8 Ferrografia

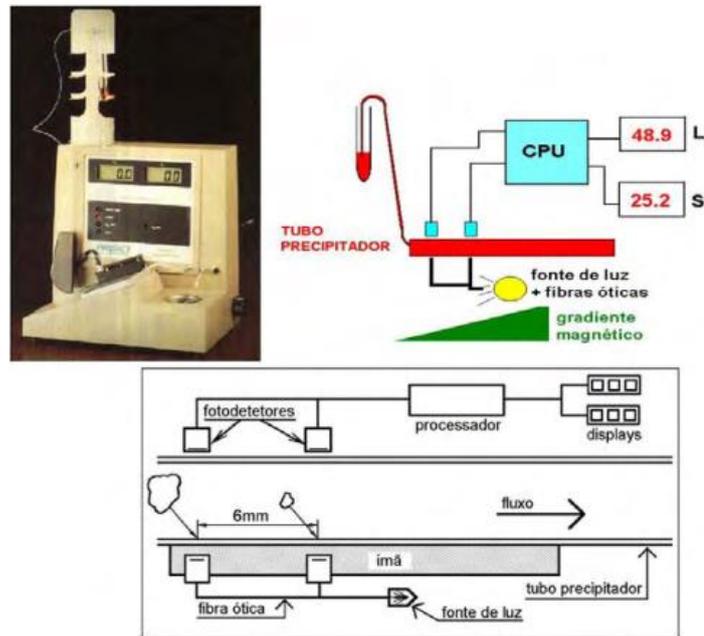
A ferrografia é a técnica mais importante quando se trata do estudo de partículas sólidas misturadas nos óleos. Sendo a técnica de monitoramento e diagnóstico que auxilia na determinação da severidade, modos e tipos de desgaste em máquinas através da identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas em amostras de óleo (LAGO,2007).

Existem dois tipos de análise ferográfica, uma quantitativa que busca avaliar as condições de desgaste dos componentes de um equipamento através da quantificação das partículas em suspensão no fluido lubrificante, a outra do tipo analítica, observa a morfologia das partículas no lubrificante.

2.4.8.1 Ferrografia quantitativa

A ferrografia quantitativa consiste na medição da concentração das partículas ferrosas em uma amostra de fluido. Por meio de tal técnica, é possível obter informações acerca do grau de severidade do desgaste do equipamento que está sendo avaliado. Neste método de ferrografia, é feito o uso de densidade óptica para medir quantitativamente a concentração das partículas de desgaste no fluido lubrificante. A classificação das partículas é feita por meio do seu tamanho, partículas grandes maiores que 5 mm são classificadas como DL (large particles) e partículas menores que 5 mm são classificadas como DS (small particles). A Figura 7 ilustra o equipamento de ferrografia quantitativa, seguido de seu princípio básico de funcionamento.

Figura 7- Equipamento e esquema de funcionamento do método de ferrografia quantitativa.



Fonte: Kimura (2010)

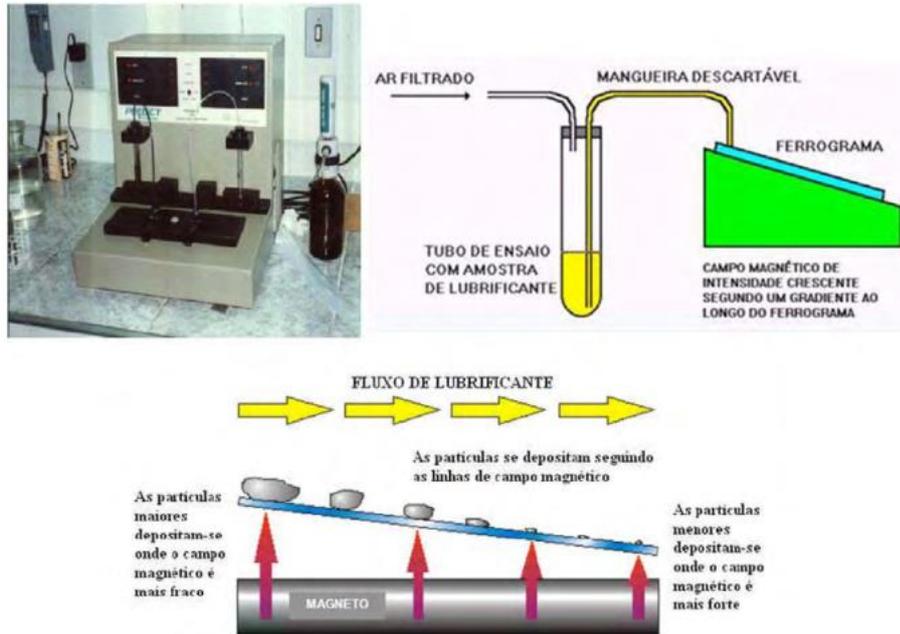
2.4.8.2 Ferrografia analítica

A ferrografia analítica tem por objetivo observar a morfologia, tamanho, cor e analisar visualmente a concentração de partículas no ferrograma (KIMURA,2010).

Enquanto a ferrografia quantitativa indica uma tendência anormal de desgaste, as técnicas ferrográficas analíticas podem ser utilizadas para identificar especificamente a natureza dos problemas potenciais da máquina, possibilitando um estudo profundo das partículas cujo tamanho esteja entre 1 e 250 μm (ARATO,2004).

A Figura 8 ilustra um ferrógrafo analítico juntamente com o seu princípio de funcionamento básico para obtenção de um ferrograma.

Figura 8- Ferrógrafo analítico FM III e seu princípio de funcionamento



Fonte: Kimura (2010)

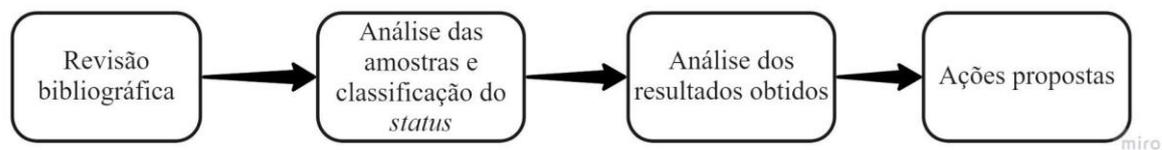
3 METODOLOGIA

A análise de óleo está intimamente relacionada com a boa manutenibilidade e confiabilidade no equipamento, por meio dela podemos saber as condições físicas e químicas dos lubrificantes, além de possibilitar avaliar as condições dos componentes internos dos equipamentos.

O referido trabalho trata da interpretação de resultados de análises de óleo feitas em redutores de velocidade de uma indústria de tintas imobiliárias e de resinas sediada no estado de Pernambuco, mais precisamente no município de Jaboatão dos Guararapes, e por meio da interpretação destes resultados, propor sugestões de ações usando como parâmetro o resultado obtido por cada equipamento.

Na Figura 9 é apresentado de forma sucinta a forma como esse trabalho foi conduzido, estratificando as macros etapas de sua realização.

Figura 9- Fluxo de etapas do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

As amostras de óleo lubrificantes foram coletadas em meados de maio de 2021 pela equipe de manutenção da respectiva empresa, onde foram coletadas uma amostra de óleo lubrificante em seis redutores distintos. A seguir, no Tabela 01, tem-se as informações de cada equipamento:

Tabela 01- Lista de equipamentos avaliados

Nº	Descrição do equipamento	Modelo	Tipo de óleo
01	Redutor reator 02	Transmotecnica H77	ISO 320
02	Redutor micronizado 03	RF107/SEW-EURODRIVE	ISO 220
03	Redutor tanque homogeneização 05 sintético	Transmotecnica H77	ISO 320
04	Redutor raspador masseira 05	RF107/SEW-EURODRIVE	ISO 220
05	Redutor tanque homogeneização 15 sintético	RF87/SEW-EURODRIVE	ISO 220
06	Redutor raspador masseira 06	RF107/SEW-EURODRIVE	ISO 220

Fonte: Elaborado pelo autor

Para que fosse realizada a coleta das amostras, se fez necessário que o equipamento tivesse sido desligado pouco antes do ato da coleta. No momento da coleta da amostra propriamente dita, alguns itens foram necessários para que fosse executada a coleta. A seguir a Tabela 02 e a Figura 10 fazem referência às principais ferramentas:

Tabela 02- Ferramentas utilizadas

Descrição	Quantidade
Luva multitalo	1
Frasco incolor	1
Chave de boca	1
Bomba de sucção	1
Mangueira transparente	1
Pincel	1
Estopa/trapo	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10- Material básico para coleta das amostras



Fonte: Da empresa (2021)

Após a realização da coleta, cada amostra recebeu o seu respectivo código de barras para melhor distinção e a seguir, foram embaladas e enviadas através de serviço de entrega para o laboratório da empresa responsável em analisar as amostras coletadas, conforme Figura 11.

Figura 11- Amostras embaladas



Fonte: Da empresa (2021)

Após as devidas análises laboratoriais das amostras, a empresa responsável pelos ensaios fez uma classificação do *status* de cada uma delas relacionado com os resultados que eram obtidos por cada amostra.

Elas poderiam ser classificadas em uma das seguintes divisões: amostras normais, anormais e críticas. Na qual, cada teste que foi realizado apresenta um *range* e por meio disso é feito a classificação em uma das classes.

No ensaio de viscosidade foi considerado que amostras tidas como normais, poderiam variar em até 10% para mais ou para menos do valor especificado para o respectivo lubrificante indicado, seria considerada anormais os valores de viscosidade cuja sua variação fosse de 20% para mais ou menos. E amostras consideradas críticas, eram aquelas cuja viscosidade apresentava uma variação maior que 25% para mais ou menos.

Para análise de água, amostras que apresentavam até 999 ppm eram consideradas normais, caso o resultado ficasse entre 1000 e 1999 ppm era considerada anormal e acima de 2000 ppm considerada crítica.

Na análise de espectrometria por infravermelho-FTIR, resultados abaixo de 30 abs/cm foram considerados normais, acima de 30 abs/cm anormais e resultados acima de 50 abs/cm foram classificados como críticos.

No ensaio que foi avaliado o Número Total de Acidez-TAN, valores até 1,5 foram considerados normais, acima de 1,5 anormais e valores acima de 4,0 foram considerados como críticos.

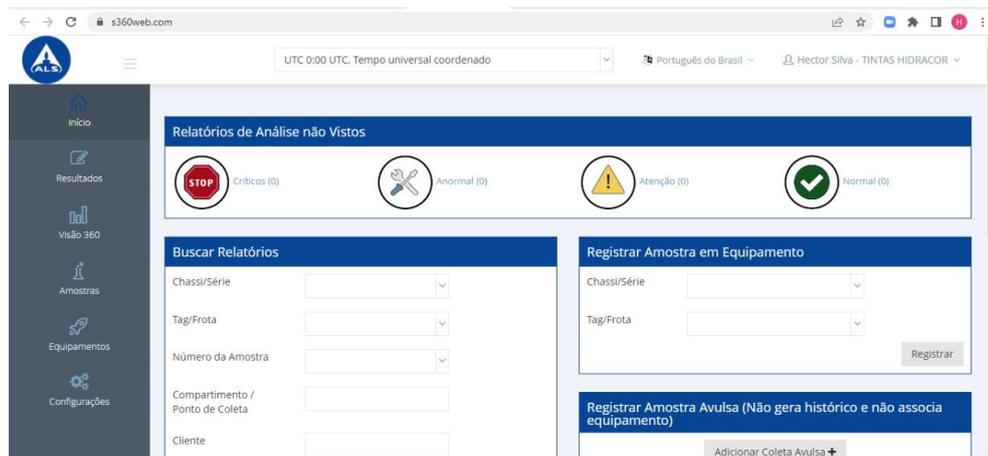
Para os ensaios relacionados a elementos de desgaste, no caso os ensaios de índice de partículas-PQI e espectrometria de emissão a plasma-21 elementos, a empresa que realizou os ensaios informou que a interpretação dos resultados é baseada na expectativa do resultado e no conjunto de informação da amostra, onde não é utilizado valores fixos ou tabelas para classificar os elementos. Pois ao interpretar uma amostra, não se pode avaliar um determinado elemento de forma isolada, precisando ser levado em consideração a combinação de resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultado das análises de óleo

Após a realização de todos os ensaios contratados, a empresa responsável pelas análises laboratoriais fornece uma plataforma *online* onde é possível fazer a leitura de todos os resultados obtidos para cada amostra, em cada ensaio realizado. A Figura 12 ilustra a plataforma de acesso aos resultados dos ensaios.

Figura 12- Plataforma de acesso aos resultados das análises



Fonte: Retirado da plataforma ALS 360 (2022)

4.1.1 Redutor do reator 02

O equipamento em questão é utilizado no setor da fábrica destinado a produção de resina, o óleo utilizado em sua lubrificação é o ISO 320 e nas análises realizadas em sua respectiva amostra, apresentou-se como estado crítico.

Das análises que levam em consideração a condição do lubrificante, a amostra apresentou em seus resultados viscosidade abaixo da especificada para um lubrificante ISO 320, com um valor de viscosidade aos 40°C de 214 cSt. Também foi observado uma pequena quantidade de impurezas em suspensão na amostra.

No tocante às condições do equipamento, na análise de espectrometria de emissão a plasma, apresentou uma elevada concentração de ferro (250 ppm), cobre (338 ppm), chumbo (32 ppm) e estanho (21 ppm). Se tratando das demais análises, os resultados obtidos para o teste de oxidação-FTIR, TAN e análise de determinação de água ficaram dentro dos parâmetros aceitos. Os resultados podem ser vistos na Tabela 03.

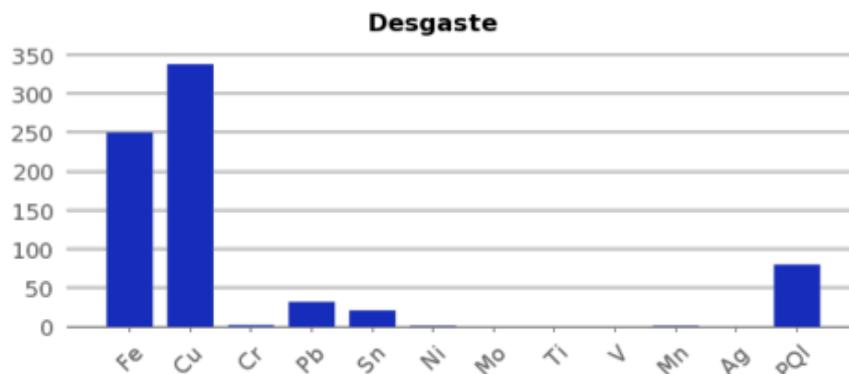
Tabela 03- Resultado análises redutor reator 02 resic

EQUIPAMENTO: REDUTOR REATOR 02 RESIC						
AMOSTRA	DESGASTE					
STATUS	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)
CRÍTICO	250	338	2	32	21	1
	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	PQI
	0	0	0	1	0	80
ÁGUA	CARGA ADITIVADA					
KF Coul (ppm)	P (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	B (ppm)	Ba (ppm)
296	327	37	3	1	0	0
CONTAMINAÇÃO						
Si (ppm)		Al (ppm)		Na (ppm)		K (ppm)
6		2		4		0
FLUIDO	CONDIÇÕES DO FLUIDO					
320	VISUAL	VISCOSIDADE 40 °C (cSt)		OXIDAÇÃO-FTIR (abs/cm)		TAN
	I.P	214		2		0,419

Fonte: Adaptado ALS (2022)

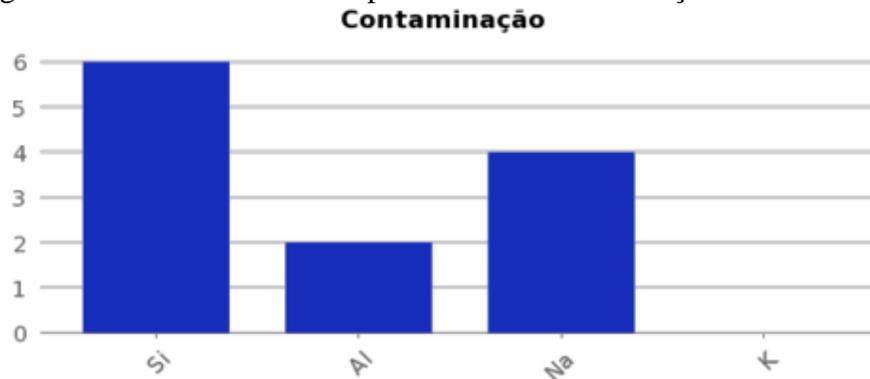
Nas figuras a seguir, é apresentado os resultados obtidos para o respectivo equipamento em formas de gráficos.

Figura 13- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor reator 02



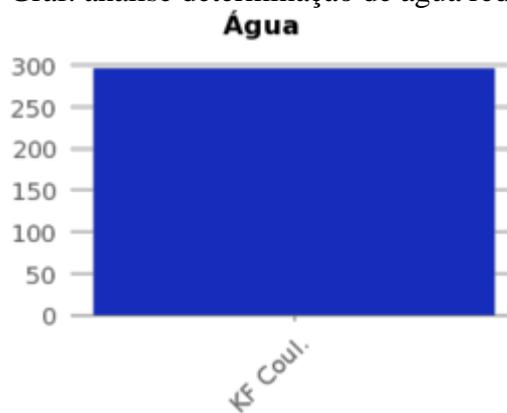
Fonte: ALS (2022)

Figura 14- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor reator 02



Fonte: ALS (2022)

Figura 15- Gráf. análise determinação de água redutor reator 02



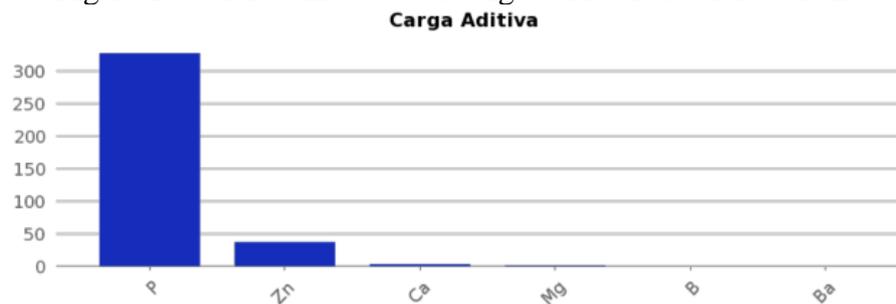
Fonte: ALS (2022)

Figura 16-Gráf. condições do fluido lubrificante redutor reator 02



Fonte: ALS (2022)

Figura 17- Gráf. com dados de carga aditiva redutor reator 02



Fonte: ALS (2022)

4.1.2 Redutor micronizado 03

O referido equipamento é utilizado em um dos moinhos da unidade fabril, o tipo de óleo utilizado para sua lubrificação é o ISO 220, nas análises realizadas em sua amostra, o mesmo apresentou um resultado normal, não apresentando alterações nas condições do lubrificante e quanto às taxas de desgaste, as mesmas foram consideradas aceitáveis. Os resultados podem ser vistos na Tabela 04.

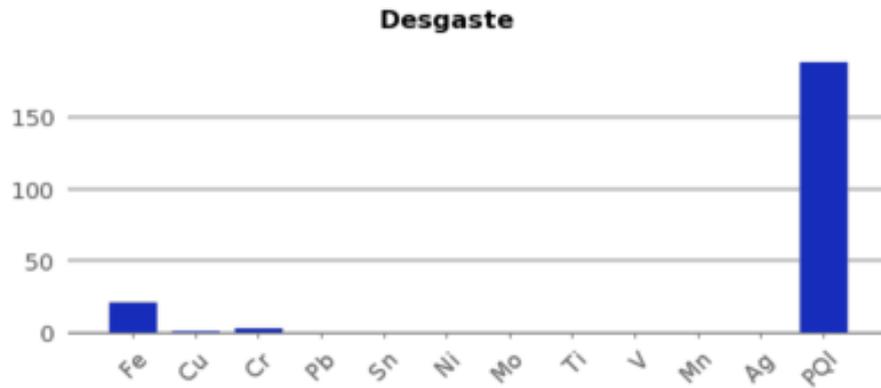
Tabela 04- Resultado análises redutor micronizado 03

EQUIPAMENTO: REDUTOR MICRONIZADO 03						
AMOSTRA	DESGASTE					
STATUS	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)
NORMAL	21	1	3	0	0	0
	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	PQI
	0	0	0	0	0	188
ÁGUA	CARGA ADITIVADA					
KF Coul (ppm)	P (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	B (ppm)	Ba (ppm)
312	209	188	19	3	0	0
CONTAMINAÇÃO						
Si (ppm)		Al (ppm)		Na (ppm)		K (ppm)
6		0		1		0
FLUIDO	CONDIÇÕES DO FLUIDO					
220	VISUAL	VISCOSIDADE 40		OXIDAÇÃO-FTIR		TAN
		°C (cSt)		(abs/cm)		
	NORMAL	230,68		6		0,655

Fonte: Adaptado ALS (2022)

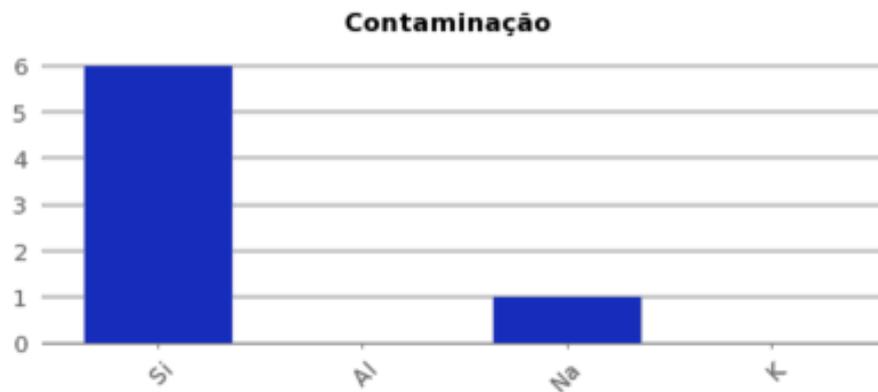
Nas figuras a seguir, é apresentado os resultados obtidos para o respectivo equipamento em formas de gráficos.

Figura 18- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor micronizado 03



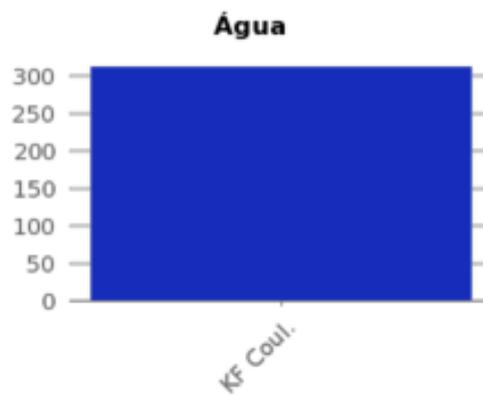
Fonte: ALS (2022)

Figura 19- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor micronizado 03



Fonte: ALS (2022)

Figura 20- Gráf. análise determinação de água redutor micronizado 03



Fonte: ALS (2022)

Figura 21-Gráf. condições do fluido lubrificante micronizado 03.



Fonte: ALS (2022)

Figura 22- Gráf. com dados de carga aditiva redutor micronizado 03.



Fonte: ALS (2022)

4.1.3 Redutor tanque homogeneização 05 sintético

O equipamento em questão é utilizado no setor da fábrica destinado a produção de resina, o óleo utilizado em sua lubrificação é o ISO 320 e nas análises realizadas em sua respectiva amostra, apresentou-se como estado crítico.

Das análises que levam em consideração a condição do lubrificante, a amostra apresentou em seus resultados viscosidade acima da especificada para um lubrificante ISO 320, com um valor de viscosidade aos 40°C de 645,92 cSt. Também foi observado uma pequena quantidade de impurezas em suspensão na amostra.

No tocante às condições do equipamento, na análise de índice de quantidade de partículas (PQI), apresentou um moderado índice, com o valor de 754. Se tratando das demais análises, os resultados obtidos para o teste de oxidação-FTIR, TAN e análise de determinação de água ficaram dentro dos parâmetros aceitos. Os resultados podem ser vistos na Tabela 05.

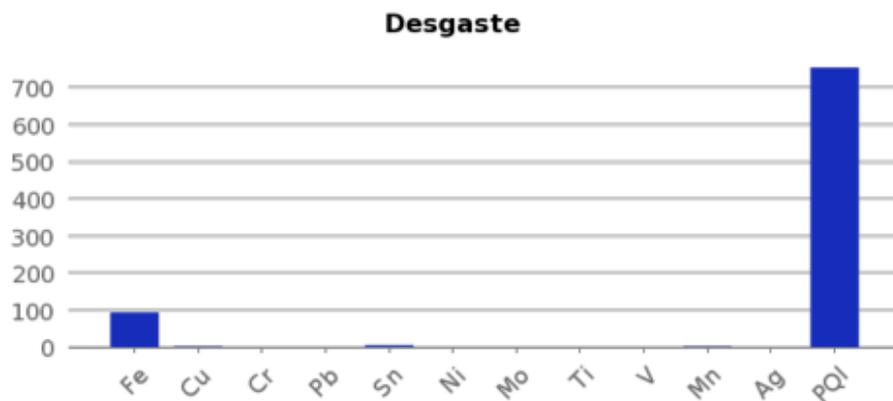
Tabela 05- Resultado análises redutor tanque 05 sintético

EQUIPAMENTO: REDUTOR REATOR 02 RESIC						
AMOSTRA	DESGASTE					
STATUS	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)
CRÍTICO	94	2	0	0	5	0
	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	PQI
	0	1	0	2	0	754
ÁGUA	CARGA ADITIVADA					
KF Coul (ppm)	P (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	B (ppm)	Ba (ppm)
312	269	19	12	3	0	0
CONTAMINAÇÃO						
Si (ppm)		Al (ppm)		Na (ppm)		K (ppm)
1		0		0		0
FLUIDO	CONDIÇÕES DO FLUIDO					
320	VISUAL	VISCOSIDADE 40 °C (cSt)		OXIDAÇÃO-FTIR (abs/cm)		TAN
	I.P.	645,92		10		1,136

Fonte: Adaptado ALS (2022)

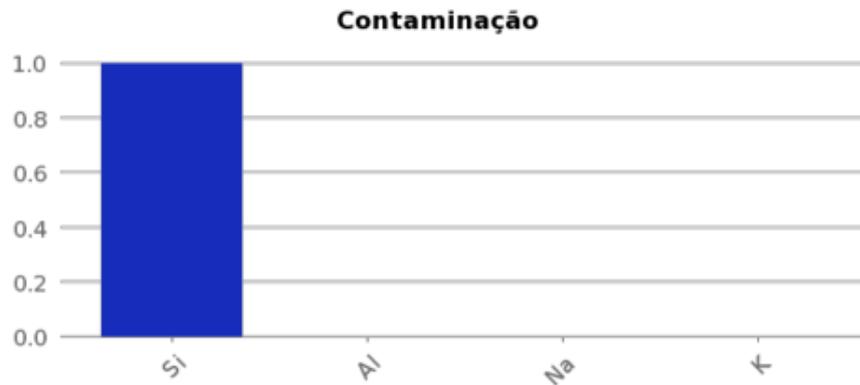
Nas figuras a seguir, é apresentado os resultados obtidos para o respectivo equipamento em formas de gráficos.

Figura 23- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor hom sintético 05



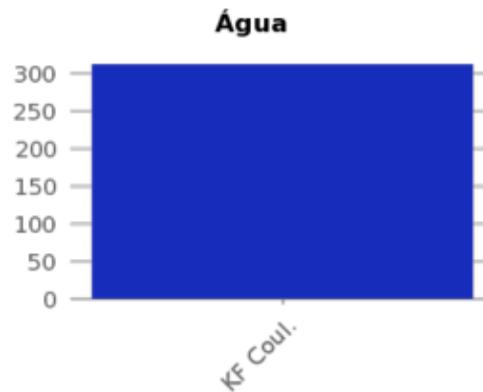
Fonte: ALS (2022)

Figura 24- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor hom sintético 05



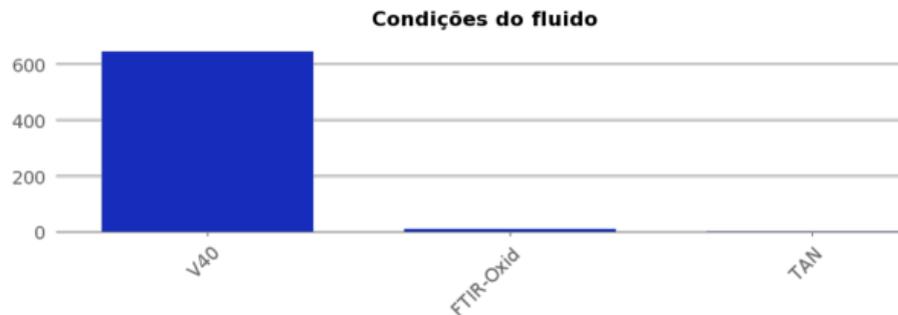
Fonte: ALS (2022)

Figura 25- Gráf. análise determinação de água redutor hom sintético 05



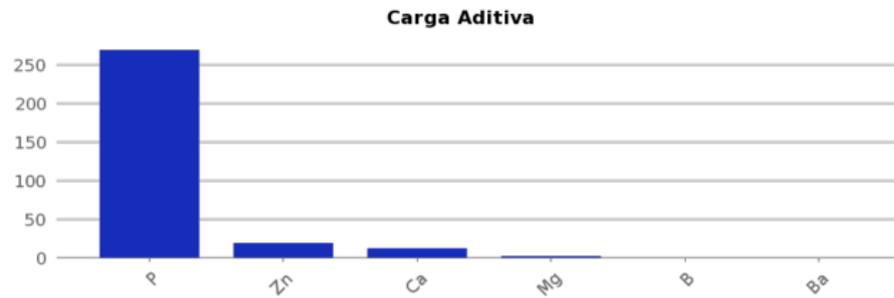
Fonte: ALS (2022)

Figura 26-Gráf. condições do fluido lubrificante do redutor hom sintético 05



Fonte: ALS (2022)

Figura 27- Gráf. com dados de carga aditiva redutor hom sintético 05



Fonte: ALS (2022)

4.1.4 Redutor raspador masseira 05

O referido equipamento é usado no setor da fábrica destinado para a produção das tintas imobiliárias, o óleo utilizado na sua lubrificação é o ISO 220 e nas análises realizadas em sua respectiva amostra, apresentou-se como estado crítico.

Das análises que levam em consideração o desgaste, carga aditivada, contaminação por água, oxidação e TAN, todas elas apresentaram resultados satisfatórios. No entanto, no teste de viscosidade, a amostra apresentou resultado acima do especificado para um lubrificante ISO 220, com um valor de viscosidade aos 40°C de 299,94 cSt. Os resultados podem ser vistos na Tabela 06.

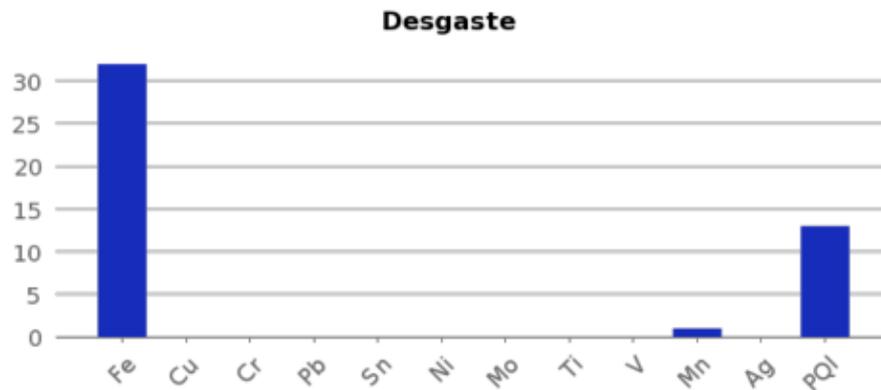
Tabela 06- Resultado análises redutor raspador masseira 05

EQUIPAMENTO: REDUTOR RASPADOR MASSEIRA 05						
AMOSTRA	DESGASTE					
STATUS	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)
CRÍTICO	32	0	0	0	0	0
	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	PQI
	0	0	0	1	0	13
ÁGUA	CARGA ADITIVADA					
KF Coul (ppm)	P (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	B (ppm)	Ba (ppm)
276	236	1	23	17	7	1
CONTAMINAÇÃO						
Si (ppm)		Al (ppm)		Na (ppm)		K (ppm)
11		0		0		0
FLUIDO	CONDIÇÕES DO FLUIDO					
220	VISUAL	VISCOSIDADE 40 °C (cSt)		OXIDAÇÃO-FTIR (abs/cm)		TAN
	NORMAL	299,94		3		0,518

Fonte: Adaptado ALS (2022)

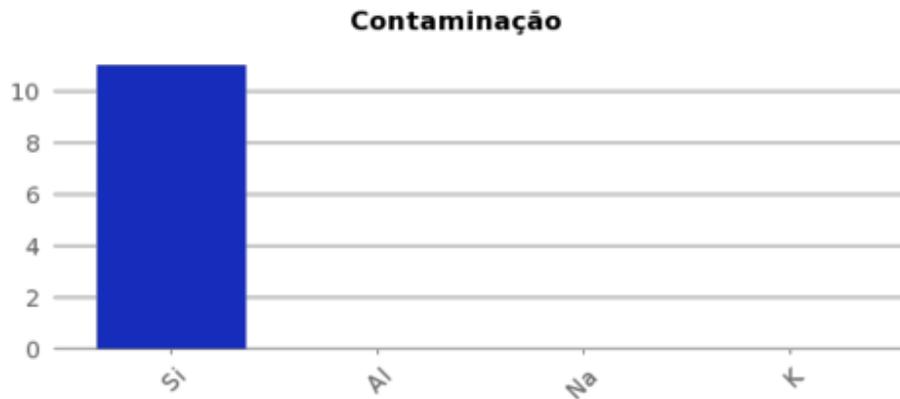
Nas figuras a seguir, é apresentado os resultados obtidos para o respectivo equipamento em formas de gráficos.

Figura 28- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor raspador masseira 05



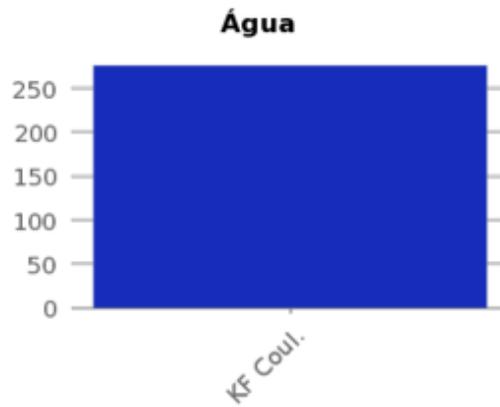
Fonte: ALS (2022)

Figura 29- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor raspador masseira 05



Fonte: ALS (2022)

Figura 30- Gráf. análise determinação de água redutor raspador masseira 05



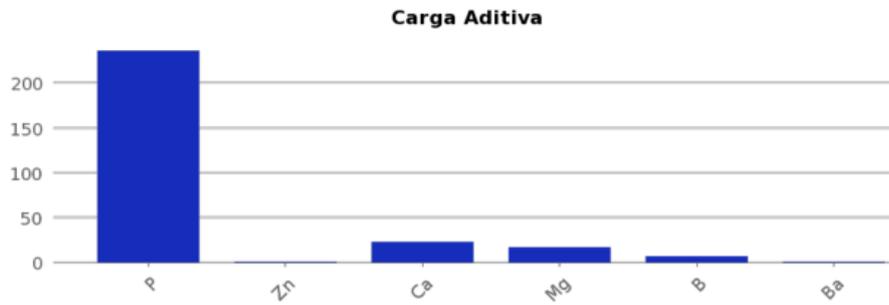
Fonte: ALS (2022)

Figura 31-Gráf. condições do fluido lubrificante do redutor raspador masseira 05



Fonte: ALS (2022)

Figura 32- Gráf. com dados de carga aditiva redutor raspador masseira 05



Fonte: ALS (2022)

4.1.5 Redutor tanque homogeneização 15 sintético

O equipamento em questão é utilizado no setor da fábrica destinado a produção de resina, o óleo utilizado em sua lubrificação é o ISO 220 e nas análises realizadas em sua respectiva amostra, apresentou-se como estado crítico.

Das análises que levam em consideração a condição do lubrificante, a amostra apresentou em seus resultados viscosidade acima da especificada para um lubrificante ISO 220, com um valor de viscosidade aos 40°C de 285,69 cSt. Também foi constatado uma moderada alteração no índice de TAN, com um valor de 4,617 mgKOH/g. Quanto às condições do equipamento, na análise de espectrometria de emissão a plasma, apresentou uma moderada concentração de ferro (165 ppm). Os resultados podem ser vistos na Tabela 07.

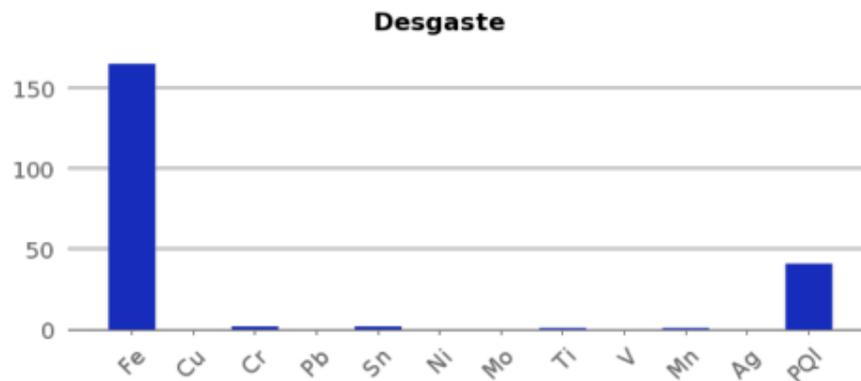
Tabela 07- Resultado análises redutor tanque 15 sintético

EQUIPAMENTO: REDUTOR TANQUE HOM 15 SETOR SINTÉTICO						
AMOSTRA		DESGASTE				
STATUS	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)
CRÍTICO	165	0	2	0	2	0
	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	PQI
	0	1	0	1	0	41
ÁGUA		CARGA ADITIVADA				
KF Coul (ppm)	P (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	B (ppm)	Ba (ppm)
243	387	3	470	3	17	2
CONTAMINAÇÃO						
Si (ppm)		Al (ppm)		Na (ppm)		K (ppm)
4		2		14		0
FLUIDO		CONDIÇÕES DO FLUIDO				
220	VISUAL	VISCOSIDADE 40 °C (cSt)		OXIDAÇÃO-FTIR (abs/cm)		TAN
	NORMAL	285,69		9		4,617

Fonte: Adaptado ALS (2022)

Nas figuras a seguir, é apresentado os resultados obtidos para o respectivo equipamento em formas de gráficos.

Figura 33- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor tanque hom 15 sintético



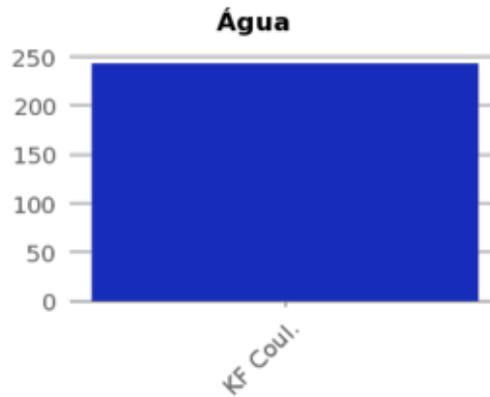
Fonte: ALS (2022)

Figura 34- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor tanque hom 15 sintético



Fonte: ALS (2022)

Figura 35- Gráf. análise determinação de água redutor tanque hom 15 sintético



Fonte: ALS (2022)

Figura 36-Gráf. condições do fluido lubrificante do redutor tanque homogeneização 15 sintético



Fonte: ALS (2022)

Figura 37- Gráf. com dados de carga aditiva redutor tanque homogeneização 15 sintético



Fonte: ALS (2022)

4.1.6 Redutor do raspador masseira 06

O referido equipamento é utilizado no setor da fábrica onde é elaborado as tintas domiciliares. O óleo utilizado na sua lubrificação é o ISO 220, e nas análises realizadas em sua respectiva amostra, apresentou-se como estado anormal.

Das análises que levam em consideração a condição do lubrificante, a amostra apresentou em seus resultados viscosidade acima da especificada para um lubrificante ISO 220, com um valor de viscosidade aos 40°C de 273,86 cSt.

Quanto às condições do equipamento, na análise de espectrometria de emissão a plasma, apresentou uma moderada concentração de ferro (439 ppm). Se tratando das demais análises, os resultados obtidos para o teste de oxidação-FTIR, TAN e análise de determinação de água ficaram dentro dos parâmetros aceitos. Os resultados podem ser vistos na Tabela 08.

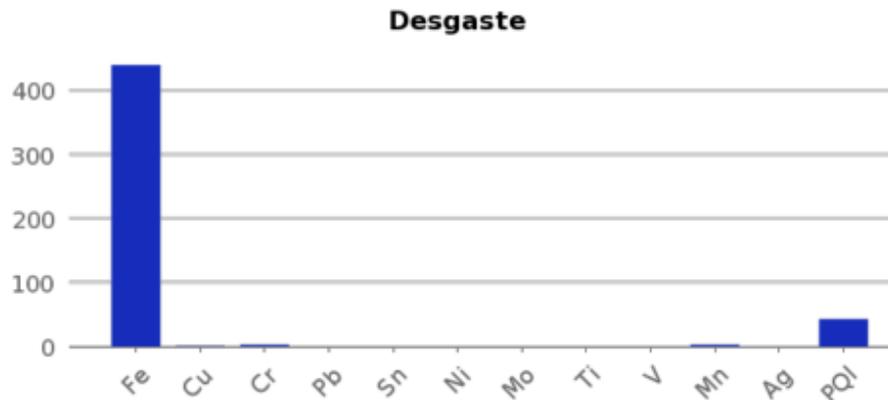
Tabela 08- Resultado análises redutor raspador masseira 06

EQUIPAMENTO: REDUTOR RASPADOR MASSEIRA 06						
AMOSTRA		DESGASTE				
STATUS	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Ni (ppm)
ANORMAL	439	1	3	0	5	0
	Mo (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)	PQI
	0	0	0	3	0	43
ÁGUA		CARGA ADITIVADA				
KF Coul (ppm)	P (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	B (ppm)	Ba (ppm)
311	349	17	9	1	3	0
CONTAMINAÇÃO						
Si (ppm)		Al (ppm)		Na (ppm)		K (ppm)
2		1		0		0
FLUIDO		CONDIÇÕES DO FLUIDO				
220	VISUAL	VISCOSIDADE 40 °C (cSt)		OXIDAÇÃO-FTIR (abs/cm)		TAN
	NORMAL	273,86		3		0,528

Fonte: Adaptado ALS (2022)

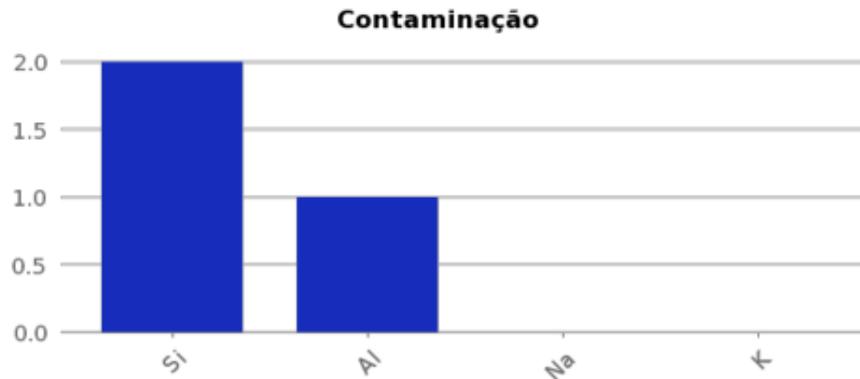
Nas figuras a seguir, é apresentado os resultados obtidos para o respectivo equipamento em formas de gráficos.

Figura 38- Gráf. dos níveis de partículas de desgaste redutor raspador masseira 06



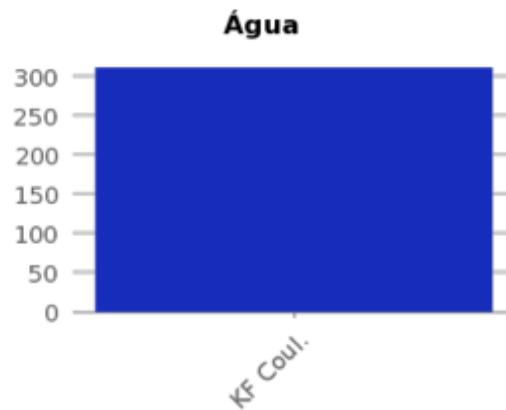
Fonte: ALS (2022)

Figura 39- Gráf. dos níveis de partículas de contaminação redutor raspador masseira 06



Fonte: ALS (2022)

Figura 40- Gráf. análise determinação de água redutor raspador masseira 06



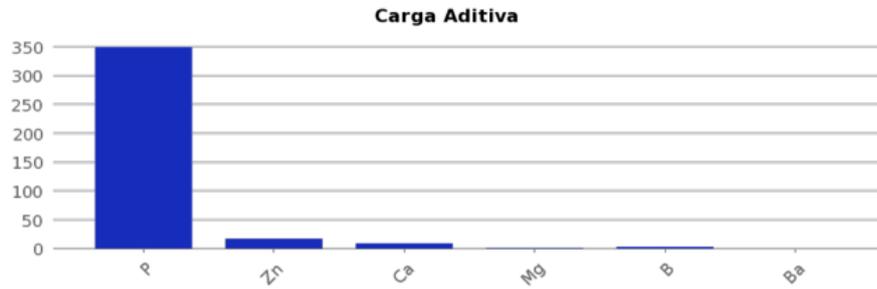
Fonte: ALS (2022)

Figura 41-Gráf. condições do fluido lubrificante do redutor raspador masseira 06



Fonte: ALS (2022)

Figura 42- Gráf. com dados de carga aditiva redutor raspador masseira 06



Fonte: ALS (2022)

4.2 Análise e propostas

Por meio dos resultados de cada equipamento, serão propostas medidas a serem adotadas para que sanem algumas das problemáticas, além de auxiliarem no diagnóstico efetivo das causas que levaram os ensaios a apresentar resultados insatisfatórios, e como consequência, tais ações servirão como embasamento na tomada de decisão a respeito do momento ideal de parada do equipamento para a realização das devidas manutenções. A seguir, é apresentada a Tabela 09 resumindo os resultados que apresentaram alterações para os equipamentos avaliados.

Tabela 09- Resumo dos resultados obtidos das análises

Equipamento	Alterações constatadas
Redutor reator 02	Impurezas em suspensão, viscosidade abaixo da ideal e concentrações elevadas de ferro, cobre, chumbo e estanho.
Redutor micronizado 03	Nenhuma alteração constatada.
Redutor tanque homogeneização 05 sintético	Impurezas em suspensão, viscosidade acima da ideal e alteração moderada no índice PQI.
Redutor raspador masseira 05	Viscosidade acima da ideal.
Redutor tanque homogeneização 15 sintético	Viscosidade acima da ideal, alteração moderada no índice TAN e moderada concentração de ferro.
Redutor raspador masseira 06	Viscosidade acima da ideal e moderada concentração de ferro.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.2.1 Análise e propostas redutor do reator 02

Dos resultados apresentados para o respectivo equipamento, foi constatado que a viscosidade do óleo lubrificante utilizado estava abaixo do ideal, tornando a capacidade de lubrificação ineficiente, acarretando o desgaste prematuro dos componentes internos do equipamento. Nele também foi apresentado partículas não magnéticas em suspensão na amostra e elevada concentração de ferro, cobre, chumbo e estanho, as quais indicam um potencial desgaste severo dos componentes internos.

Como proposta de ações a serem tomadas no equipamento, no que trata da concentração de elementos metálicos na amostra, é proposto a realização do ensaio de ferrografia analítica, pois ela determina a severidade, modos e tipos de desgaste por meio da identificação morfológica, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas, revelando assim o tipo e a fonte do desgaste.

Com a realização deste ensaio complementar e obtendo resultados aceitáveis que não revelassem desgaste severo nos componentes internos do equipamento, seria ideal a troca do óleo lubrificante, sanando assim a problemática relacionada à viscosidade e trazendo de volta a capacidade de lubrificação em sua totalidade.

Porém, caso o resultado obtido no ensaio de ferrografia confirmasse um desgaste severo nos componentes internos, seria colocado em pauta a parada do equipamento para que fossem realizadas as ações necessárias para sanar os pontos não conformes apresentados no referido ensaio.

Após a realização de alguma das sugestões propostas acima, fica a recomendação da realização de uma nova leva de ensaios no período de 30 dias.

4.2.2 Análise e propostas redutor micronizado 03

Os resultados obtidos para o seguinte equipamento foram todos satisfatórios, dessa forma, é sugerido que seja realizada nova coleta em um período de um ano a fim de acompanhamento.

4.2.3 Análise e propostas redutor tanque de homogeneização 05 sintético

Dos resultados apresentados para o respectivo equipamento, foi constatado que a viscosidade do óleo lubrificante utilizado estava acima do ideal, nessa situação, o óleo lubrificante oferecerá mais resistência ao movimento das peças do equipamento. Ainda por meio dos resultados obtidos nas análises, foi constatado que o índice de partículas- PQI estava com um valor moderado.

Como propostas para este equipamento, no tocante ao moderado índice de partículas-PQI, é proposto a realização do ensaio de ferrografia analítica, pois ela determina a severidade, modos e tipos de desgaste por meio da identificação morfológica, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas, revelando assim o tipo e a fonte do desgaste.

Com a realização deste ensaio complementar e comprovando de que não há desgaste severo nos componentes internos do equipamento, seria ideal a troca do óleo lubrificante, sanando assim a problemática relacionada à viscosidade e trazendo de volta a capacidade de lubrificação em sua totalidade.

Em contrapartida, se feito a constatação de alterações que revelassem desgaste nas partes internas do equipamento, a parada do mesmo seria proposta para que fossem realizadas as ações necessárias para que todas as problemáticas fossem sanadas em sua totalidade.

Após a realização de alguma das sugestões propostas acima, fica a recomendação da realização de uma nova leva de ensaios no período de 30 dias.

4.2.4 Análise e propostas redutor raspador masseira 05

Os resultados obtidos para este equipamento apontaram um valor de viscosidade acima da especificada para o lubrificante que é utilizado. Dessa forma, o processo de lubrificação se torna inadequado devido a essa anormalidade.

Como proposta de intervenção no respectivo equipamento, seria a troca imediata do óleo lubrificante. Com essa ação, seria resolvido a problemática quanto a viscosidade acima da ideal e a capacidade de lubrificação seria totalmente recuperada.

Outra medida proposta, seria de efetuar uma nova análise de óleo com 30 dias após a troca do lubrificante com o intuito de acompanhar o comportamento do mesmo.

4.2.5 Análise e propostas redutor tanque de homogeneização 15 sintético

Neste equipamento as análises demonstraram uma alteração na viscosidade, no índice de TAN e uma moderada concentração de ferro. Como medidas a serem tomadas, quanto à concentração de ferro encontrada, seria interessante que fosse realizada a análise de ferrografia para que fosse avaliado de forma mais precisa a causa desta concentração fora dos parâmetros considerados normais.

Na obtenção de um resultado que apresentasse um desgaste normal dos componentes internos, poderia ser feita a troca do óleo lubrificante sanando assim a problemática relacionada à viscosidade e do número total de acidez-TAN. Caso fosse feito a constatação de alterações que revelassem desgaste nas partes internas do equipamento, a parada do mesmo seria proposta para que fossem realizadas as ações necessárias para que todas as problemáticas fossem sanadas em sua totalidade.

Após a realização de alguma das sugestões propostas acima, fica a recomendação da realização de uma nova leva de ensaios no período de 30 dias.

4.2.6 Análise e propostas redutor raspador masseira 06

Neste equipamento as análises demonstraram uma alteração na viscosidade e uma moderada concentração de ferro. Como medidas a serem tomadas, quanto à concentração de ferro encontrada, seria interessante que fosse realizada a análise de ferrografia para que fosse avaliado de forma mais precisa a causa desta concentração fora dos parâmetros considerados normais.

Na obtenção de um resultado que apresentasse um desgaste normal dos componentes internos, poderia ser feita a troca do óleo lubrificante sanando assim a problemática relacionada à viscosidade. Se o ensaio constatasse alterações que revelassem desgaste nas partes internas do equipamento, a parada do mesmo seria proposta para que fossem

realizadas as ações necessárias para que todas as problemáticas fossem sanadas em sua totalidade.

Após a realização de alguma das sugestões propostas acima, fica a recomendação da realização de uma nova leva de ensaios no período de 30 dias.

5 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, é possível concluir que a análise de óleo lubrificante é uma poderosa ferramenta de manutenção preditiva. Pois, através dela é possível monitorar e avaliar as reais condições dos fluidos e o desgaste dos componentes internos dos equipamentos.

Dos resultados apresentados para os equipamentos em questão, cinco destes apresentaram alterações relativas à viscosidade do fluido lubrificante, estando acima ou abaixo do especificado. Quanto aos ensaios que tratam sobre desgaste, quatro em um total de seis apresentaram indício de desgaste dos componentes internos.

No ensaio que avalia a acidez do fluido lubrificante, apenas um equipamento apresentou resultado alterado, e para o ensaio visual, um terço dos equipamentos apresentaram alterações.

De todos os equipamentos avaliados, apenas um não apresentou nenhuma alteração em seus resultados, sendo este equipamento o redutor do moinho micronizador 03.

Porém, com os resultados já obtidos, não é possível determinar com veemência quais as reais causas que levaram quatro em um total de seis equipamentos analisados a apresentarem parâmetros anormais e críticos com indício de desgaste de componentes, isso equivale a 66,6% dos equipamentos com não conformidades sobre essa temática evidenciadas através dos ensaios.

Dessa forma, foi proposto para estes equipamentos que apresentaram alterações relacionadas a desgaste de componentes internos, fosse feito o ensaio complementar de ferrografia analítica, pois com ela seria realizado o diagnóstico mais preciso dos modos e as causas do desgaste que aquele respectivo equipamento vem apresentando, e por meio dela, saber quais as reais ações necessárias para que o equipamento pudesse funcionar em sua melhor condição.

Para aqueles equipamentos que fossem submetidos ao ensaio de ferrografia analítica e o resultado obtido fosse considerado como desgaste natural dos componentes, mas que foi apresentado alterações nas condições do lubrificante, a ação proposta é a troca do respectivo fluido para sanar a problemática relacionada a essa temática e trazendo de volta a capacidade de lubrificação em sua totalidade.

Para o equipamento cuja a única problemática apontada foi alteração na viscosidade do fluido lubrificante, foi proposto a troca de todo o lubrificante.

Por isso, é de suma importância que sejam consideradas e realizadas as ações sugeridas, pois através delas será possível acumular dados que auxiliarão na tomada de decisão de qual o melhor momento de parada do equipamento para que sejam sanados os problemas envolvidos e de forma conjunta, a empresa contará com equipamentos saudáveis no seu processo produtivo, ganhando em confiabilidade dos ativos, reduzindo paradas não programadas além de criar uma robustez no processo de manutenção.

REFERÊNCIAS

- ALS. **O que é análise de aparência de lubrificantes?** 2018. Disponível em: <https://www.alsglobal.com/%2Fpt-br%2Fnews%2Fartigos%2F2018%2F10%2Faparncia-de-lubrificantes-to-simples-e-to-til#:~:text=A%20observa%C3%A7%C3%A3o%20de%20altera%C3%A7%C3%A3o%20na,d e%20E2%80%9Can%C3%A1lise%20de%20apar%C3%AAncia%20E2%80%9D..> Acesso em: 16 mar. 2022.
- ALVES, O. L.; **Espectroscopia Infravermelho com Transformada de Fourier: Feliz combinação de velhos conhecimentos de óptica, matemática e informática.** Vivência LQES, Instituto de Química da Unicamp.
- ARATO JR., A. **Manutenção preditiva usando análise de vibrações.** Barueri: Manole, 2004. 190 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5462:** Confiabilidade e manutenibilidade, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11348:** Produtos líquidos de petróleo-Determinação de água pelo reagente de Karl Fischer, 2005.
- CUNHA, R. C. **Análise do estado de conservação de um redutor de velocidade através da técnica de partículas de desgaste no óleo lubrificante auxiliada pela análise de vibrações.** 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.
- KIMURA, Rogério Katsuharu. **Uso da Técnica de Análise de Óleo Lubrificante em Motores Diesel Estacionários, Utilizando-se "Misturas de Biodiesel e Diferentes Níveis de Contaminação do Lubrificante"**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Unesp, Ilha Solteira, 2010.
- LAGO, D. F. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante,** Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).
- LOBB, Marcos Thadeu G.. **Efeitos da Contaminação dos Óleos Lubrificantes por Água. Lubes em Foco,** Rio de Janeiro, v. 51, n. 9, p. 25-27, nov. 2015. Bimestral. Disponível em: https://issuu.com/lubes_em_foco/docs/revista_lubes_em_foco-edicao_51-bai. Acesso em: 14 mar. 2022.
- MALPICA, L. G. **Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes.** 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.
- PAVIA, D. L. et al. **Introdução à Espectroscopia,** Ed. Cengage Learning, 2010.

PETROBRÁS. **Lubrificantes**: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Petrobras. 1999.

PETRONAS. **Princípios Básicos de Lubrificantes e Lubrificação**. Petronas.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nassif. **Manutenção**: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

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.

SILVA, Júlio C. J.. **Espectrometria de Emissão Atômica**. Juiz de Fora: Ufjf, 2013. 70 slides, color.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **TRIBOLOGIA**. Florianópolis: Ufsc, 2004. 179 p.

XENOS, Harilaus Georgius D'Phillippos. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Belo Horizonte: Dg, 1998. 300 p.