



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Departamento de Engenharia Mecânica
Campus Ilha Solteira

JOSHUA ENRICO PEREIRA IWASAKI

**A ANÁLISE DE ÓLEO COMO MANUTENÇÃO PREDITIVA EM
MÁQUINAS AGRÍCOLAS DE UMA USINA SUCROALCOOLEIRA
VISANDO ECONOMIA EM MANUTENÇÃO CORRETIVA.**

Ilha Solteira - SP
2022

JOSHUA ENRICO PEREIRA IWASAKI

**A ANÁLISE DE ÓLEO COMO MANUTENÇÃO PREDITIVA EM
MÁQUINAS AGRÍCOLAS DE UMA USINA SUCROALCOOLEIRA
VISANDO ECONOMIA EM MANUTENÇÃO CORRETIVA.**

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia – UNESP - *Campus
de Ilha Solteira*, para o cumprimento do
requisito para a obtenção do Grau de
Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. PhD. Miguel Ângelo Menezes

Ilha Solteira - SP
2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Iwasaki, Joshua Enrico Pereira.
196a A análise de óleo como manutenção preditiva em máquinas agrícolas de uma usina sucroalcooleira visando economia em manutenção corretiva / Joshua Enrico Pereira Iwasaki. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
50 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Miguel Ângelo Menezes
Inclui bibliografia

1. Análise de óleo. 2. Manutenção preditiva. 3. Manutenção. 4. Máquinas agrícolas. 5. Custos.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Departamento Técnico de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos 28 dias do mês de Setembro do ano de dois mil e vinte e dois, às 18h00min, por videoconferência, no Departamento de Engenharia Mecânica, do Campus da UNESP, da Faculdade de Ilha Solteira, o discente **Joshua Enrico Pereira Iwasaki**, matriculado sob o número 152054383, tendo como banca examinadora, o orientador Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes, o Engenheiro Mecânico Matheus de Oliveira Camacho (Silver Manutenção e Montagem Industrial) e o Prof. Dr. Wyser José Yamakami apresentou o Trabalho de Graduação intitulado: *"A Análise de óleo como Manutenção Preditiva em Máquinas Agrícolas de uma Usina Suroalcooleira Visando Economia em Manutenção Corretiva"*, obtendo o conceito final Aprovado.

Por ser verdade, os membros da banca examinadora e o discente assinam em seguida.



Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes (Orientador)



Eng. Mec. Matheus de Oliveira Camacho (Silver Manutenção e Montagem Industrial)



Prof. Dr. Wyser José Yamakami



Joshua Enrico Pereira Iwasaki (Discente)

Resumo

No setor agrícola, a utilização de máquinas e equipamentos se torna cada dia mais indispensável para o aumento da produtividade, que aliada as boas práticas de manutenção, retorna um custo reduzido frente aos ganhos obtidos pela substituição de operações manuais por operações mecanizadas. Dentro da manutenção, um dos ensaios de maior recorrência e efetividade é a análise de óleo, que proporciona um controle de contaminação e desgaste dos componentes, tornando possível estimar o ponto adequado de troca de determinado componente sem comprometer outros sistemas e impactar a disponibilidade do ativo. A análise de óleo lubrificante identifica e contabiliza a quantidade de partículas de contaminação presente no óleo, permitindo, assim, não somente quantificar o desgaste, mas também indicar a provável peça desgastada através da contabilização das partículas de elementos de liga. Esse trabalho pretende analisar os dados obtidos de análises de óleo em máquinas agrícolas utilizadas na produção, avaliando os principais subsistemas afetados. Após a inspeção dos compartimentos e a realização da manutenção, foi feita uma comparação do custo de manutenção quando se aplica essa técnica e quando ocorre a manutenção corretiva não planejada. Observa-se um ganho de produtividade do equipamento devido ao menor tempo de parada e menor custo de manutenção. Na análise de custo, a situação real avaliada validou a teoria aplicada, uma vez que a estimativa do custo com a manutenção corretiva planejada foi 44,1% menor em relação a corretiva não planejada. Embora, analisou-se apenas um caso, para uma empresa com grande quantidade de ativos, o impacto no custo será bem maior, devido a economia com manutenção em todos os maquinários aplicando a análise de óleo como manutenção preditiva. As análises, associadas a inspeção dos compartimentos, proporcionaram a aplicabilidade da análise de fluido em maquinários agrícolas, se mostrando econômica para o produtor rural e usinas sucroalcooleiras.

Palavras-chave: *Manutenção, Manutenção Preditiva, Análise de Óleo, Máquinas Agrícolas, Custos.*

Abstract

In the agricultural sector, the use of machinery and equipment becomes increasingly indispensable for increased productivity, which combined with proper maintenance practices, returns a reduced cost compared to the gains obtained by replacing manual operations with mechanized operations. Within the maintenance, one of the tests of greater recurrence and effectiveness is the oil analysis, which provides a control of contamination and wear of the components, making it possible to estimate the appropriate point of exchange of a given component without compromising other systems and impacting asset availability. Lubricating oil analysis identifies and accounts for the amount of contamination particles present in the oil, thus allowing not only to quantify wear, but also to indicate the likely worn part by accounting for the particles of alloy elements. This work aims to analyze the data obtained from oil analysis on agricultural machinery used in production, evaluating the main affected subsystems. After inspection of the compartments and maintenance, a comparison of the maintenance cost was made when this technique is applied and when unplanned corrective maintenance occurs. There is a gain in equipment productivity due to shorter downtime and lower maintenance costs. In the cost analysis, the actual situation evaluated validated the theory applied, since the estimated cost of planned corrective maintenance was 44.1% lower compared to unplanned corrective maintenance. Although, only one case was analyzed, for a company with a large amount of assets, the impact on the cost will be much greater, due to maintenance savings on all machinery by applying oil analysis as predictive maintenance. The analyses, associated with the inspection of the compartments, provided the applicability of the fluid analysis in agricultural machinery, proving to be economical for the rural producer and sugar and alcohol plants.

Keywords: *Maintenance, Predictive Maintenance, Oil Analysis, Agricultural Machinery, Costs.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da Manutenção.	15
Figura 2 - Tipos de Manutenção.	16
Figura 3 - Análise de tendência de falha pela manutenção preditiva.	19
Figura 4 - Espectro de vibração de um trem motor elétrico, multiplicador, compressor centrífugo.	20
Figura 5 - Aquecimento excessivo no mancal de um motor elétrico.	21
Figura 6 - Organograma e demonstrativo dos tipos de manutenção.	26
Figura 7 - Resultados X Tipos de Manutenção X Custos.	27
Figura 8 - Comparação entre dois tipos de manutenção de uma prensa.	28
Figura 9 – Kit para coleta da amostra.	35
Figura 10 - Bomba para coleta da amostra.	37
Figura 11 - Frascos para coleta lacrados.	37
Figura 12 - Frascos com amostra coletada e identificada.	38
Figura 13 - Painel de monitoramentos das análises de óleos.	40
Figura 14 - Quantidades de amostra críticas por setor da usina sucroalcooleira.	41
Figura 15 - Compartimentos com maior quantidade de amostras críticas.	41
Figura 16 - Colheitadeira John Deere CH570.	42
Figura 17 – Histórico dos laudos das análises de óleo do motor da colhedora.	43
Figura 18 - Tucho hidráulicos do motor da colhedora.	45
Figura 19 - Comando de válvulas danificado.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Entidades normalizadoras das análises de óleos lubrificantes.	23
Tabela 2 - Prováveis causas de alteração em óleo de motores.	23
Tabela 3 - Elementos detectados na espectrografia por absorção atômica, juntamente com suas origens.	24
Tabela 4 - Comparação de Custos de Manutenção.	27
Tabela 5 – Tempo entre cada coleta.	36
Tabela 6 - Resultados das análises físico-químicos dos óleos lubrificantes para a colhedora.	43
Tabela 7 - Resultados das análises de espectrometria dos óleos lubrificantes para a colhedora.	44
Tabela 8 - Comparativo de custo da manutenção do motor da colhedora.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
IEA	Instituto de Economia Agrícola
ISO	International Organization for Standardization
IV	Índice de Viscosidade
NBR	Norma Brasileira
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
TAN	<i>Total Acid Number</i> (Numero de Acidez Total)
TBN	<i>Total Base Number</i> (Numero de Basicidade Total)
TMEF (MTBF)	Tempo Médio Entre Falhas (<i>Mean Time Between Failures</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivos gerais	13
2.2	Objetivo específico.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Manutenção de equipamentos mecânicos.....	15
3.1.1	Tipos de manutenção.....	17
3.1.1.1	Manutenção Corretiva.....	17
3.1.1.2	Manutenção Preventiva.....	18
3.1.1.3	Manutenção Preditiva	18
3.1.1.3.1	Ensaio por Ultrassom.....	19
3.1.1.3.2	Ensaio de Vibrações Mecânicas	20
3.1.1.3.3	Termografia.....	21
3.1.1.3.4	Análise de Óleo	21
3.1.1.4	Manutenção Detectiva.....	25
3.1.1.5	Engenharia de Manutenção	25
3.1.2	Comparação de custos	26
3.2	Lubrificantes	29
3.2.1	Principais características de óleos lubrificantes.....	30
3.2.1.1	Cor	30
3.2.1.2	Viscosidade	30
3.2.1.3	Índice de Viscosidade	31
3.2.1.4	Ponto de fulgor	31
3.2.1.5	Ponto de fluidez	31
3.2.1.6	Índice de Acidez Total (TAN).....	32

3.2.1.7	Índice de Basicidade Total (TBN).....	32
3.2.1.8	Cinzas.....	32
3.2.1.9	Resíduos de Carbono	32
3.2.2	Funções dos óleos lubrificantes	33
4	METODOLOGIA	35
4.1	Coleta das amostras de óleo	35
4.1.1	Periodicidade da Coleta	35
4.1.2	Escolha do ponto de coleta	36
4.1.3	Método de Coleta	36
4.1.4	Volume da amostra.....	38
4.1.5	Rotulação das amostras.....	38
4.1.6	Laudos das análises	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1	Tratamento dos dados.....	40
5.2	Análises.....	42
6	CONCLUSÃO	48
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	49
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente exigência de atingir grandes produções com índices de produtividade cada vez maiores, torna-se a cada dia mais necessário a utilização de maquinários agrícolas para atender a demanda do plantio e da colheita e otimizar a produtividade no campo. Esses equipamentos, tais como tratores, colhedoras, caminhões, pulverizadores, plantadeiras e implementos agrícolas são imprescindíveis durante todo o processo, desde o preparo do solo até a colheita e transporte. Para suprir esta demanda, “os níveis de disponibilidade de seus equipamentos devem ser o mais próximo possível da utilização plena durante todas as horas do ano” (Júnior, 2004). Junto com esses níveis de disponibilidade, deve-se ter em vista o custo com manutenção o menor possível.

Uma das grandes causas por parar a produção é o desgaste de componentes, reduzindo a produtividade e elevando os custos com manutenção. Na manutenção, a análise do desgaste é essencial para evitar paradas não programadas, evitando quedas na produtividade e prejuízos. A manutenção varia de acordo com a estratégia adotada pela empresa e seus resultados dependem das práticas adotadas.

Dentro dos tipos de manutenção existentes, a manutenção preditiva se destaca para os ativos de criticidade alta no processo, uma estratégia que acompanha o equipamento através um monitoramento da condição, aplicando uma manutenção corretiva planejada quando necessária (KARDEC & NASCIEF, 2009).

Dentro da manutenção preditiva, um dos métodos é a análise de óleo lubrificantes, cujo é possível identificar possíveis falhas do equipamento e a condição do lubrificante, através das concentrações de contaminantes. Sendo assim, com o laudo da análise, torna-se possível identificar a origem do desgaste e tomar as ações de correção adequadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem por objetivo analisar a aplicabilidade da análise de óleo como técnica de manutenção preditiva em maquinários agrícolas em uma empresa sucroalcooleira.

2.2 Objetivo específico

Realizar uma análise de custo comparando a aplicação de dois tipos de manutenção: corretiva não planejada e a preditiva por análise de óleo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, responsável pela produção de 654,5 milhões de toneladas na safra de 2020/21, segundo o IEA (Instituto de Economia Agrícola), sendo o estado de São Paulo responsável por, aproximadamente, 54% deste total. Todo esse volume de produção é decorrente da mecanização da cana-de-açúcar. Atualmente, 97% da colheita de cana-de-açúcar na região Centro-Sul é mecanizada (AUGUSTO,2021).

Todo este sistema mecanizado está sujeito ao processo de desgaste. Conforme LAGO (2007), “uma quebra não prevista se traduz por uma parada brusca, geralmente levando a grandes prejuízos e a perda de tempo de produção”. Para a obtenção de resultados positivos, todos os ativos necessitam estar em suas melhores condições. Sendo assim, ao longo de suas vidas úteis, esses equipamentos passam por manutenções, inspeções, rotinas preventivas programadas, substituição de peças, trocas de lubrificantes, limpezas, serviços de funilarias, entre outros.

Segundo KARDEC & NASCIF (2009), a manutenção pode ser dividida em 4 gerações, como mostrado na Figura 1. A Primeira Geração antecede a Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada e o objetivo não era a produtividade, aplicando uma manutenção corretiva não planejada. A Segunda Geração se situa entre os anos 50 e 70 do século passado, quando a demanda de produtos aumentou e a mão de obra industrial diminuiu, gerando um forte aumento da mecanização e complexidades nas instalações, resultando na criação de manutenção preventiva. A Terceira Geração se desenvolveu a partir da década de 70, havendo um aumento nos estudos de falhas e buscando maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos com a utilização de métodos de monitoramento preditivos, impulsionados pelas grandes mudanças na indústria, como o sistema *Just in Time*, e o avanço da informática, além de grandes exigências com a segurança e meio ambiente. A Quarta Geração ocorre nos tempos atuais, com o foco em reduzir drasticamente as probabilidades de falhas e aumento da confiabilidade com a aplicação da Engenharia de Manutenção, garantindo o desempenho eficiente e baixo custo, além de preservar a segurança e o meio ambiente. A Figura 1 mostra a evolução da manutenção.

LAGO (2007) avaliou a integração da análise de lubrificantes e análise de vibração, como manutenção preditiva em um redutor de velocidade do tipo coroa sem-fim. O autor concluiu que essas técnicas são as melhores alternativas para redução de gastos com manutenção e identificação

de contaminação e deterioração no sistema, mostrando a importância da manutenção correta quando detectado algum defeito.

Figura 1 - Evolução da Manutenção.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO									
	Primeira Geração		Segunda Geração		Terceira Geração		Quarta Geração		
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	• Conserto após a falha		• Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento		• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente		• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos		
Visão quanto à falha do equipamento	• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham		• Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira		• Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5		• Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e E (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5		
Mudança nas técnicas de Manutenção	• Habilidades voltadas para o reparo		• Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo)		• Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviços		• Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada • Análise de Falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida. • Contratação por resultados		

Fonte: (KARDEC & NASCIF, 2009).

3.1 Manutenção de equipamentos mecânicos

Segundo NASCIF e DORIGO (2013), a missão da manutenção é “garantir a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos de modo a atender a um programa de produção ou prestação de serviços com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”.

Diversas ferramentas adotadas atualmente têm no nome a palavra Manutenção, sendo essas sendo ferramentas que possibilitam a aplicação dos principais tipos de manutenção. As técnicas de manutenção fazem parte do processo de Gestão da Manutenção, por isso é preciso conhecer os métodos e aplica-las de forma eficaz. A manutenção tem sido classificada em duas formas: Planejada e Não-Planejada, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Tipos de Manutenção.



Fonte: Elaborado pelo autor

Uma parada de um equipamento não planejado (sem uma decisão gerencial), se dá após a falha já ocorrida, tendo um serviço mais caro, demorado e inseguro. Ao contrário de uma manutenção planejada, pelo qual a parada do equipamento é planejada, não impactando no processo, sendo sempre um serviço mais barato, rápido, seguro e de melhor qualidade em relação ao trabalho não planejado (NASCIF & DORIGO, 2013; VIANA, 2002).

3.1.1 Tipos de manutenção

Segundo KARDEC e NASCIF (2009), atualmente a manutenção é definida por seis tipos:

- Manutenção Corretiva Não Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção.

3.1.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva, pela definição da ABNT, é a “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”.

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes (KARDEC & NASCIF, 2009):

- Planejada;
- Não planejada.

Na manutenção corretiva não planejada não há planejamento prévio, o que implica em custos elevados de manutenção e indisponibilidade no processo. Este tipo de manutenção é realizado após falhas, panes ou quebras imprevisíveis do equipamento, evitando consequências na produção, na segurança do operador ou no meio ambiente (BRANCO FILHO, 2008; VIANA, 2002).

Por não ser planejada, a manutenção depende da disponibilidade de mão de obra e material para o conserto. Por estes motivos a manutenção corretiva não planejada é recomendada para uma empresa com grandes recursos, pois o tempo indisponível acarreta perdas produtivas, perdas da qualidade e custos elevados para a empresa (PEREIRA, 2009; KARDEC & NASCIF, 2009).

KARDEC e NASCIF (2009) define a manutenção corretiva planejada como uma manutenção por decisão gerencial. Esta decisão se baseia na alteração dos parâmetros observados pela manutenção preditiva. Devido ao acompanhamento destes parâmetros, os equipamentos continuam em operação pelo maior tempo possível, aumentando a disponibilidade e a

produtividade e reduzindo custos com manutenção. Como citado anteriormente, uma manutenção planejada sempre será mais barata e de melhor qualidade. Mesmo que a decisão seja operar até a falha do ativo, é uma corretiva planejada, pois é uma decisão conhecida obedecendo a um plano previamente elaborado com base nos parâmetros (NASCIF & DORIGO, 2013).

3.1.1.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é realizada em máquinas que não estão em falhas, estando em condições operacionais ou em estado de zero defeito, com o objetivo de reduzir ou evitar falhas e prolongar a vida do equipamento (VIANA, 2002; KARDEC & NASCIF, 2013).

O período para a atuação desta manutenção se baseia em intervalos de tempo, quilometragem, ciclos de produção, entre outros. Sendo assim, são serviços com intervalos predeterminados a fim de evitar impacto a disponibilidade do sistema.

A troca de componentes antes do final de sua vida útil é comum. Como consequência, o equipamento possui número de falhas reduzidas, gerando maior produtividade, o que representa um custo menor em relação a corretiva. VIANA (2002) cita a necessidade de retroalimentar esses processos e planos de manutenção preventiva, para o planejamento do ponto perfeito de troca do componente sem impactar os indicadores de disponibilidade e confiabilidade, com o menor custo possível.

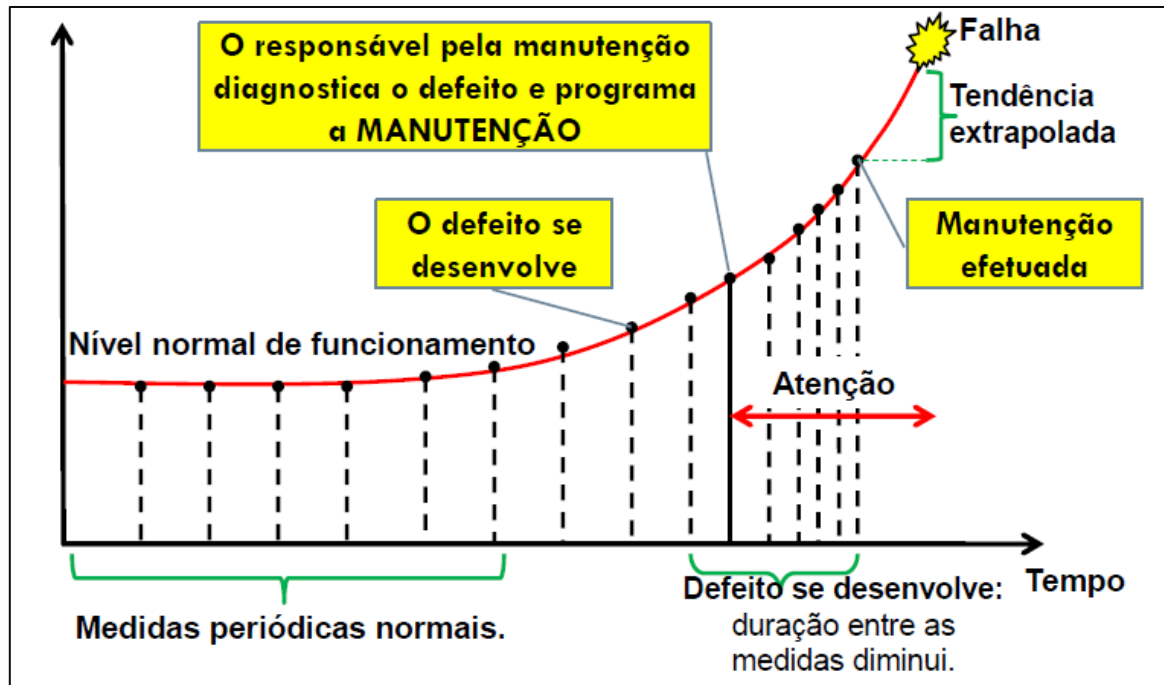
3.1.1.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é definida por VIANA (2002) como tarefas que “visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramentos, por medições ou por controles estatísticos e tentam prever a proximidade da próxima ocorrência da falha”, como ilustrado na Figura 3.

Com a coleta e armazenamento destes dados, ocorre a criação de parâmetros adotados pela engenharia para monitoramento do equipamento. Ao obter uma medição fora deste parâmetro, planeja-se o tempo correto para realizar a manutenção mantenedora, evitando desmontagens para inspeção e utilização do componente até o máximo de sua vida.

As principais técnicas aplicadas deste tipo de manutenção seria o ensaio por ultrassom, análise de vibrações mecânicas, termografia e análise de óleos lubrificantes.

Figura 3 - Análise de tendência de falha pela manutenção preditiva.



Fonte: BRÁS, s.d..

3.1.1.3.1 Ensaio por Ultrassom

O ensaio por ultrassom é um ensaio não destrutivo que detecta trincas, defeitos ou discontinuidades internas presentes em materiais ferrosos e não-ferrosos, nas mais variadas formas. Esses defeitos detectados através do ensaio podem ser de origem do próprio processo de fabricação, como bolsões de ar em materiais fundidos, dupla laminação em componentes laminados, micro trincas em forjados e muitos outros (VIANA, 2002).

É uma ferramenta bastante utilizada para garantia de qualidade devido a alta sensibilidade na detecção de pequenas discontinuidades internas de peças com grandes espessuras e de geometrias complexas.

VIANA (2002) cita como desvantagem dessa técnica a necessidade de uma grande capacitação técnica e experiência do inspetor, dificuldade na medição em pequenas espessuras e requer um preparo na superfície para a aplicação.

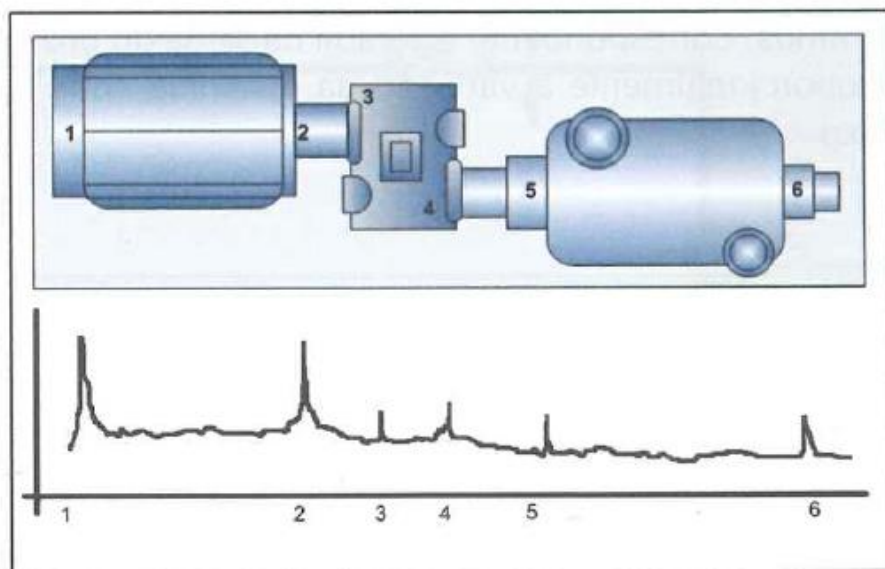
3.1.1.3.2 Ensaio de Vibrações Mecânicas

Esta técnica é uma das mais antigas e de maior utilização, principalmente no monitoramento da vibração de máquinas rotativas, tais como motores elétricos, bombas centrífugas, compressores, redutores e outros.

Segundo KARDEC e NASCIF (2013), a vibração é “qualquer movimento que se repete depois de certo intervalo de tempo”, ou seja, uma oscilação de um corpo em torno de uma posição de referência. Quando não controlado, torna-se um processo destrutivo, ocasionando falhas nos componentes por fadigas.

Cada equipamento possui suas particularidades a ser consideradas de modo a obter medições confiáveis. Com isso, acelerômetros são instalados em pontos predeterminados para medir a vibração da região e observar a evolução do seu nível em um período de tempo, permitindo o monitoramento dessas excitações e o momento para a intervenção da manutenção. Esta análise contém valores de deslocamento em relação a diversas frequências. Ao identificar os padrões de vibração do ativo (Figura 4), é possível identificar se a vibração do ativo está irregular, indicando o tipo de fenômeno presente, tais como desalinhamento, desbalanceamento, defeitos em rolamentos e mancais, entre outros.

Figura 4 - Espectro de vibração de um trem motor elétrico, multiplicador, compressor centrífugo.



Fonte: KARDEC & NASCIF (2013, p. 63).

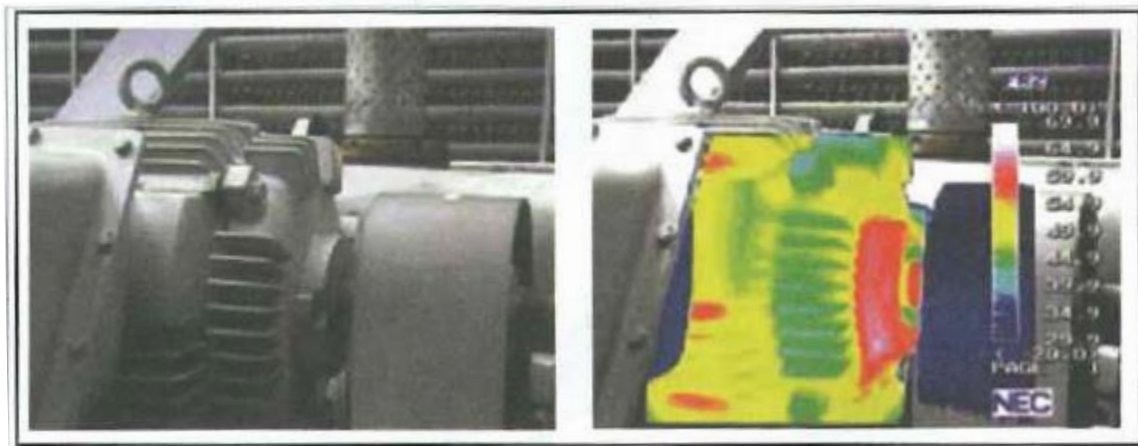
Nota: A imagem apresenta a amplitude de cada mancal das máquinas.

3.1.1.3.3 Termografia

A termografia é uma técnica de ensaio não destrutivo que permite o acompanhamento de temperaturas e a formação de imagens térmicas através do sensoriamento remoto por meio da radiação infravermelha. São compostos por uma câmera e uma unidade de vídeo (VIANA, 2002; KARDEC & NASCIF, 2013).

Na manutenção preditiva é uma técnica de grande utilidade, uma vez que a medição é possível de ser realizada sem o contato físico, tornando um método com maior segurança ao inspetor, e realiza inspeções de grandes superfícies em pouco tempo sem a necessidade de parar o equipamento, ou seja, sem interferir na produtividade. Na indústria é usualmente utilizada para inspeção de quadros elétricos, na visualização de componentes com defeitos ou mau contato; na área mecânica, inspeção de mancais de rolamentos, devido à falta de lubrificação e desgastes naturais, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Aquecimento excessivo no mancal de um motor elétrico.



Fonte: KARDEC & NASCIF (2013, p. 86).

3.1.1.3.4 Análise de Óleo

A análise de óleo é uma técnica bastante utilizada que tem por objetivo determinar o ponto exato para a troca do lubrificante e identificar sintomas de desgaste de um componente. Isto é

possível devido a análise do óleo em laboratório para o monitoramento de partículas solidas contidas no óleo, proveniente de desgaste, e o monitoramento de suas características físico-químicas. Os dois métodos de monitoramentos são aplicados ao monitoramento de uma amostra, e dependendo do laudo desta amostra, determina a condenação da amostra (VIANA, 2002).

Os principais tipos de análise de óleo são (COUTINHO et al, 2021):

- **Ferrografia:** analisa as partículas solidas presentes nos lubrificantes para identificar desgastes dos componentes;
- **Espectrometria:** identifica substancias químicas, contaminações, desgastes e aditivos no lubrificante;
- **Análise de contaminações:** identifica contaminações nos lubrificantes, seja por desgaste ou reações químicas;
- **Análise físico-química:** analisa as condições do óleo em intervalos regulares, de modo que o acompanhamento das características do óleo possa ser feito ao longo do tempo.

As características físico-químicas que podem ser monitoradas através da análise são:

- Viscosidade;
- Teor de água;
- Número de acidez total (TAN);
- Número de basicidade total/ índice de neutralização (TBN);
- Contagem de partículas;
- Fuligem;
- Densidade.

Os ensaios são padronizados pelas entidades de normalização, tais como ABNT e ASTM. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 1.

Através dos laudos obtidos pelos ensaios no óleo lubrificante, em caso de contaminação em nível crítico, definido seja pelo fabricante, tanto por normas ou pelos parâmetros de monitoração adotados pela empresa, é possível avaliar as causas para cada característica analisada e tomar a decisão correta para a manutenção. SNOOK (1998), citado por CAMACHO (2020), cita algumas prováveis causas que ocasionam alterações nas características físico-químicas do óleo de um motor, como observado na Tabela 2.

Tabela 1 – Entidades normalizadoras das análises de óleos lubrificantes.

Ensaio	Finalidade	Características
ASTM D 445	Viscosidade	Resistencia ao escoamento do fluido
ASTM D 644	TAN	Grau de acidez do óleo
ABNT NBR 14448/09	TBN	Determinação da reserva alcalina do óleo
ABNT NBR 00441/07	Fuligem	Materiais não combustíveis presentes no óleo
ASTM D 6304 ASTM D 1744 ASTM D 95	Teor de Água	Quantidade de água no óleo. Determinada por destilação ou pelo método de Karl Fischer (ASTM D 95)
ABNT NBR 16480/14066	Aditivos, ferrografia e contaminação	Determinação por espectrometria de contaminantes presentes
ISO 4406	Contagem de partículas	Nível de contaminantes no óleo

Fonte: Adaptado de KARDEC e NASCIF (2013) e TechOleo.

Tabela 2 - Prováveis causas de alteração em óleo de motores.

Contaminação por água	Condensação: operações a baixa temperatura, ventilação inadequada cárter, uso excessivo em marcha lenta, períodos curtos em serviços intermitentes;
	Elevado vazamento de gases: anéis ou camisas gastas, restrições no sistema de escape;
	Vazamento de líquido de refrigeração, juntas do cabeçote vazando, cabeçote apertado com torque indevido, bloco ou cabeçote rachados.
Redução de viscosidade	Uso de óleo lubrificante com viscosidade abaixo da indicada;
	Diluição do óleo pelo combustível, bicos injetores gotejando, alimentação de ar ou sistema de escape obstruído.
Aumento da viscosidade	Uso de produto mais viscoso;
	Contaminação por água e por fuligem do combustível;
	Degradação: refrigeração inadequada, operação com mistura pobre, períodos de drenagem excessivamente prolongados.
Contaminação por insolúveis	Fuligem no combustível: operação com mistura rica, bicos injetores defeituosos, entrada de ar de admissão obstruída;
	Entrada de poeira: manutenção inadequada do filtro de ar, vazamento de ar no sistema de admissão;
	Desgaste metálico: geralmente relacionado com a quantidade de impurezas aspiradas, manutenção inadequada do filtro de ar.

Fonte: CAMACHO (2020)

Em relação aos resultados obtidos na espectrografia da análise do óleo, KIMURA (2010) apresenta os elementos químicos presentes no óleo, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Elementos detectados na espectrografia por absorção atômica, juntamente com suas origens.

Elemento	Origem
Alumínio	Espaçadores, calços, arruelas, mancais, pistões de motores alternativos e poeira.
Antimônio	Ligas próprias e graxas para mancais.
Bário, Magnésio	Aditivos para lubrificantes, graxas.
Boro	Vedação hidráulica, refrigerantes.
Cálcio	Aditivos para lubrificante, graxas e alguns mancais
Chumbo	Mancais, gasolina, graxas e tintas
Cromo	Anel e camisa do pistão, engrenagens, refrigerante e virabrequim
Cobre	Metal dos rolamentos antifricção, buchas, mancais.
Ferro	Cilindros, camisas, ferrugem, virabrequim, engrenagens, rolamentos, guias das válvulas, balancim, anéis dos pistões, mancais de esferas e rolos, pistas dos mancais, pinos e porcas de travamentos.
Estanho	Soldas e mancais.
Manganês	Válvulas, bombas e sistemas de exaustão.
Molibdênio	Anéis de pistão (somente motores Diesel), motores elétricos e aditivos para lubrificantes.
Níquel	Pás de turbinas, guias metálicas de válvulas, metais de rolamentos e eixos
Silício	Poeira e aditivos antiespumantes.
Titânio	Molas, válvulas e componentes de turbinas.
Zinco	Aditivo, mancais e chapas galvanizadas.

Fonte: Adaptado de KIMURA (2010) e CAMACHO (2020)

Portanto, através desses ensaios aplicados na estratégia de manutenção preditiva, é possível identificar anomalias quando ocorrer a alteração dos parâmetros monitorados e intervir

antes que ocorra a falha, permitindo maior precisão da origem da falha e quais componentes examinar, com o intuito de reduzir custos, seja na troca de peças antecipadas ou na falha do equipamento, prejudicando a disponibilidade e produção.

3.1.1.4 Manutenção Detectiva

Mencionada a partir da década de 90, a Manutenção Detectiva é definida por KARDEC e NASCIF (2009) como “a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando ou controle buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção”.

Sua principal vantagem consiste em melhorar a detecção de pequenas falhas, antes que cause grandes problemas, aumentando a confiabilidade. As ações para detecção devem ser executadas por pessoas capacitadas e habilitadas para executar a manutenção.

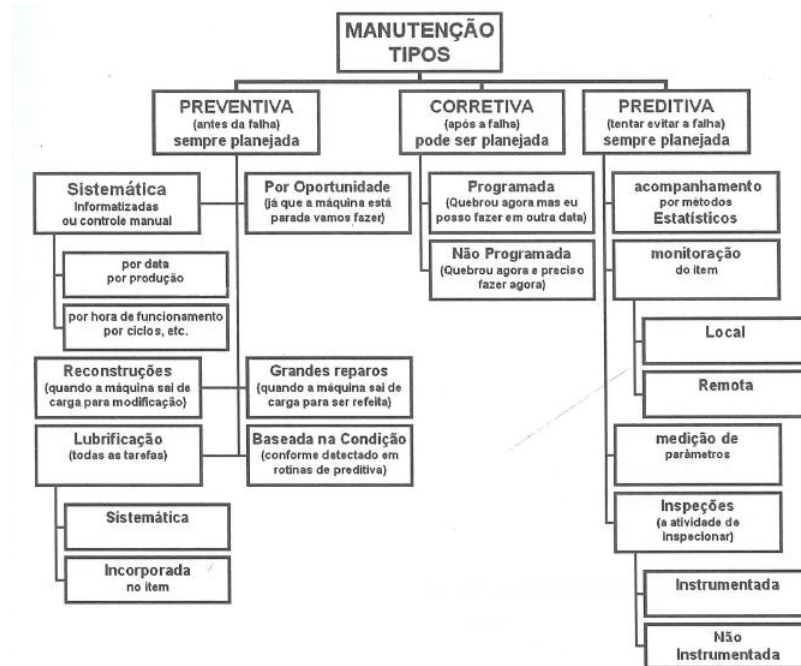
Comparando a Manutenção Detectiva e a Manutenção Preditiva, afirma-se que a manutenção preditiva toma decisões baseando em dados coletados e parâmetros adotados, e a manutenção detectiva garante que os sensores, sistemas ou dispositivos estejam funcionando corretamente para alta precisão dos dados.

3.1.1.5 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção é um suporte a todos os tipos de manutenção, como apresentado na Figura 2, que tem o objetivo de consolidar a rotina e implantar melhorias, otimizando a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (KARDEC & NASCIF, 2009). Esta prática aplica técnicas modernas, como *benchmarks*.

Resumindo os tipos de manutenção, a Figura 6 apresenta um organograma para melhor entendimento sobre o assunto.

Figura 6 - Organograma e demonstrativo dos tipos de manutenção.



Fonte: (BRANCO FILHO, 2008)

3.1.2 Comparação de custos

A Figura 7 compara os tipos de manutenção conforme a introdução das técnicas de manutenção relacionando aspectos como resultados qualitativos e custos. Na ordenada da esquerda estão representados os resultados, como disponibilidade, confiabilidade, preservação ambiental, entre outros. E na esquerda representa o custo.

Verifica-se que com a aplicação da engenharia de manutenção em melhorias e manutenções corretivas planejadas, que os resultados serão melhores e o custo minimizado.

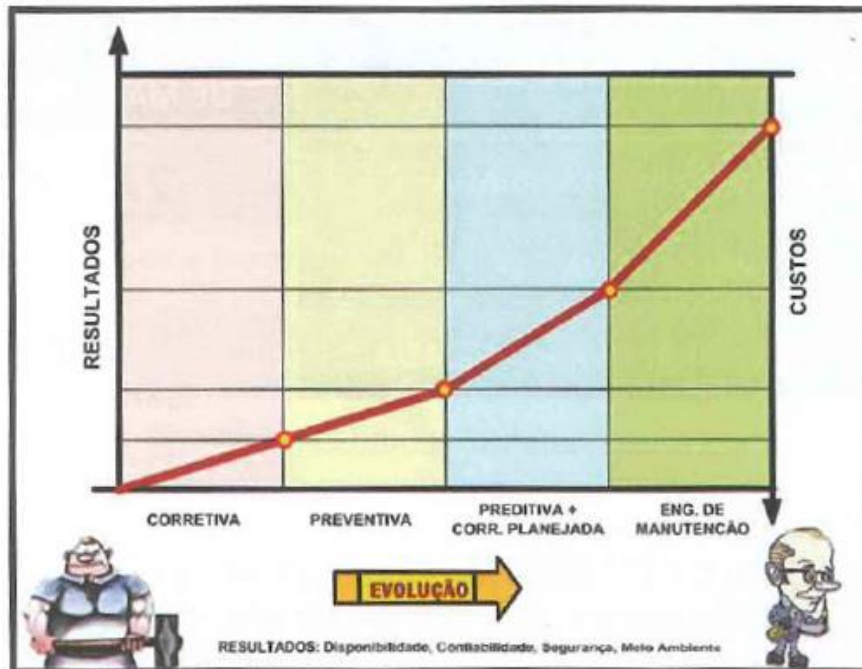
Entre a manutenção corretiva e preventiva ocorre uma melhoria contínua, com a inclinação da reta constante. Quando se aplica a preditiva, ocorre uma alteração na inclinação da reta, pois a preditiva acompanha o equipamento e permite operar até o seu limite, gerando disponibilidade. Quando se adota a Engenharia de Manutenção, ocorre uma segunda alteração da inclinação, devido ao aumento da disponibilidade devido ao TMEF (Tempo médio entre falhas), provocado pela engenharia (KARDEC & NASCIF, 2013).

A Tabela 4 apresenta de modo quantitativo o que a Figura 7 mostra de forma qualitativa. Comparando a manutenção preditiva e uma corretiva planejada, o custo da manutenção corretiva

não planejada é no mínimo duas vezes maior. Além do custo ser maior na corretiva não planejada, ela impacta na disponibilidade do ativo e, conseqüentemente, o faturamento da empresa.

Segundo KARDEC e NASCIF (2013), “a otimização de custos na manutenção é muitas vezes mais efetiva pela adoção de melhores práticas do que a aplicação de cortes indiscriminados”.

Figura 7 - Resultados X Tipos de Manutenção X Custos.



Fonte: KARDEC & NASCIF (2013, p. 27).

Tabela 4 - Comparação de Custos de Manutenção.

Tipo de Manutenção	Relação*
Corretiva Não Planejada	2,0 a 6,0
Preventiva	1,5
Preditiva + Corretiva Planejada	1,0

Fonte: (KARDEC & NASCIF, 2013)

Nota: (*) não inclui custos da indisponibilidade ou perdas de produção.

NASCIF e DORIGO (2013) argumentam que a Engenharia de Manutenção deve gerenciar a rotina de modo estável e previsível, permitindo que os ativos funcionem em sua plenitude, ocasionando melhores resultados para a empresa. Com uma rotina estabilizada é possível buscar por melhorias no processo. Quando não estabilizada, não sobra tempo para estas melhorias.

Com esta rotina estabilizada, é possível prever falhas e planejar o plano de ação para a manutenção com qualidade e custos estimados.

NASCIF e DORIGO (2013) citam um exemplo hipotético de uma comparação entre uma manutenção corretiva não planejada e uma manutenção corretiva planejada, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Comparação entre dois tipos de manutenção de uma prensa.

Itens de Resultado	Rotina Estabilizada	Rotina não Estabilizada
Tempo estimado para a realização do serviço	8 horas	
Tempo gasto na realização do serviço	8 horas	12 horas
Custo do serviço	Igual ao estimado	1,5 vez o estimado
Retorno do equipamento à operação	Sem problemas	• Vazamento de óleo em mangueiras • Reaperto do suporte de fôrmas
Tempo adicional gasto após a "entrega"	Zero	2 horas
Perda de materiais e/ou sobressalentes	Zero	• 1 rolamento 6005 • 2 retentores • 30 litros de óleo hidráulico H37
Equipe envolvida na execução	• 1 supervisor • 2 mecânicos • 1 eletricista • 1 instrumentista • 2 ajudantes	• A partir da 8ª hora houve substituição da equipe de execução.

Fonte: (KARDEC & NASCIF, 2013).

Com base neste exemplo, observa-se que o tempo para a manutenção não planejada acarreta em 1,5 vezes maior na indisponibilidade do ativo. Além deste tempo de manutenção, a correção de problemas após a manutenção acarreta em mais algumas horas de indisponibilidade para a correção. Em relação aos materiais e a mão de obra, verifica-se perdas de materiais e mão de obra adicional, o que implica no aumento do custo e riscos, devido a possível falha de comunicação.

Este exemplo hipotético concretizou o conteúdo apresentado na Tabela 4 e na Figura 7. Afirma-se que uma manutenção corretiva não planejada implica num custo bem mais elevado, como mostrado na Tabela 4. Com a aplicação da Engenharia da Manutenção e o aumento da

confiabilidade e no planejamento da rotina, é possível reduzir os custos com a manutenção e aumentar a disponibilidade do ativo, como apresentado na Figura 7.

3.2 Lubrificantes

Quando ocorre um movimento relativo entre superfícies se deseja reduzir o atrito e o desgaste no máximo possível. Qualquer substância aplicada entre as superfícies que reduz este atrito e desgaste é um lubrificante, podendo ser líquido, sólido, pastoso e gasoso (CUNHA, 2005). Além disso, o lubrificante possui duas funções importantes: proteção contra corrosão e auxílio de vedação (LAGO, 2007).

A lubrificação consiste em introduzir entre duas superfícies sólidas, que estão em contato e em movimento entre si, uma película de forma a reduzir o atrito e o desgaste, retirar calor, retirar produtos indesejáveis no sistema, entre outros (LAGO, 2007).

A lubrificação pode ser feita de diversas maneiras, dependendo da geometria dos corpos em contato, da aspereza e textura da superfície deslizante, da carga, da pressão e da temperatura, das velocidades de rolamento e escorregamento, das condições ambientais, das propriedades físicas e químicas do lubrificante, da composição do material, e das propriedades da camada superficial das peças (CUNHA, 2005).

Geralmente, os lubrificantes são líquidos, mas podem ter outros estados físicos, como citado anteriormente. PEREIRA (2009) divide os lubrificantes em quatro grupos: óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos e óleos sintéticos.

Os óleos minerais são extraídos do petróleo e suas propriedades dependem da natureza do óleo cru. Eles apresentam diversas variações em suas características, de acordo com o processo, como volatilidade, viscosidade, etc. São os mais utilizados e os mais importantes em lubrificação.

Os óleos graxos são de origem animal ou vegetal. Foram os primeiros a serem utilizados na época de tração animal, porém é pouco recomendado devido sua baixa resistência a altas temperaturas.

Os óleos compostos são misturas de óleos minerais e graxos. A vantagem é que se aproveita das boas características de ambos óleos, bastante aplicado em máquinas perfuratriz e cilindros a vapor, onde necessita de maior oleosidade e facilidade de emulsão na presença de vapor.

Os óleos sintéticos são lubrificantes criados em laboratórios, envolvendo formulações químicas de compostos orgânicos e inorgânicos de forma a atender a grande aplicação exigida nas indústrias. Esses óleos são aplicados somente quando os óleos convencionais não atendem as especificações atingidas, devido ao custo elevado deste lubrificante.

Os lubrificantes pastosos são as graxas, podendo ser mineral ou sintética. Os lubrificantes sólidos são poucos empregados na indústria, geralmente utilizado em condições extremas, como talco, grafite e mica. Os lubrificantes gasosos apresentam alto custo de manutenção, devido a isto, são raramente aplicados. Sua vantagem é a alta propagação, como o nitrogênio e o hélio.

3.2.1 Principais características de óleos lubrificantes

PEREIRA (2015) cita que as medições e análises devem ser realizadas sob condições que representam a forma realista a sua aplicação para resultados e informações relevantes. As principais características avaliadas nesses ensaios são:

3.2.1.1 Cor

Essa propriedade é a mais utilizada, visto que a alteração de cor dos lubrificantes indica uma contaminação ou indícios de oxidação através uma inspeção visual.

3.2.1.2 Viscosidade

A viscosidade é a propriedade mais importante dos óleos lubrificantes, sendo definida como a resistência ao escoamento de um fluido, ou seja, a resistência a deformação por cisalhamento (PEREIRA, 2015). Essa propriedade se altera com a temperatura, carga, taxa de cisalhamento e pressão submetida ao fluido. Sendo assim, a viscosidade está relacionada com a capacidade de manter superfícies em movimento relativo separadas, para evitar o atrito e desgaste. PEREIRA (2015) cita que ela pode ser dividida em dois tipos: viscosidade cinemática e viscosidade dinâmica.

A viscosidade dinâmica é uma relação entre a tensão de cisalhamento do fluido e a taxa de cisalhamento (velocidade de deformação ocorrida no fluido). Já a viscosidade cinemática, é definida como a razão entre a viscosidade dinâmica e a densidade do fluido.

3.2.1.3 Índice de Viscosidade

Essa propriedade indica a variação da viscosidade em função da temperatura. Quanto maior o índice de viscosidade (IV) de um óleo, menor será a tendência de que a viscosidade se altere com a alteração da temperatura. O IV é constante para cada lubrificante, porém difere entre os diferentes lubrificantes. Os óleos sintéticos tendem a ter um IV maior do que os óleos minerais (PEREIRA, 2015).

3.2.1.4 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor indica se o óleo lubrificante possui compostos voláteis e inflamáveis. É definido com a menor temperatura, sob determinadas condições de teste, na qual o produto se vaporiza em quantidade suficiente para formar com o ar uma mistura capaz de sofrer ignição instantânea ao se aplicar uma chama sobre a mesma. Essa medida é utilizada para assegurar boas condições para manuseio e para segurança, sendo essencial escolher um lubrificante com o ponto de fulgor bem acima da temperatura máxima de trabalho, para evitar uma combustão durante a aplicação.

3.2.1.5 Ponto de fluidez

O ponto de fluidez é a menor temperatura na qual o lubrificante é capaz de manter as características de fluidez, ou seja, a partir de temperaturas menores que o ponto de fluidez indicado, o líquido passa a ter o escoamento dificultado ou interrompido, o que interfere na circulação do fluido no sistema, ocasionando um maior risco de desgaste dos componentes.

3.2.1.6 Índice de Acidez Total (TAN)

O índice de acidez total indica a quantidade de compostos ácidos presentes nos óleos lubrificantes, normalmente oriundos da oxidação. Essa propriedade, além da quantidade de ácidos presentes, indica a eficiência do processo de neutralização dos resíduos ácidos resultantes do tratamento de óleo (PEREIRA, 2015).

3.2.1.7 Índice de Basicidade Total (TBN)

O índice de basicidade total é uma propriedade relacionada aos lubrificantes de motores de combustão interna, indicando a quantidade de substâncias básicas presentes no óleo lubrificante. Ela é importante para neutralizar os subprodutos ácidos gerados, durante a combustão do enxofre presente no Diesel no motor, que “vazam” pelos anéis do pistão para o cárter e degeneram o lubrificante. Quanto maior o TBN, maior será a neutralização destes subprodutos.

3.2.1.8 Cinzas

A quantidade de cinzas presentes nos lubrificantes pode ser o resultado da presença de compostos metálicos no óleo ou solúveis em água, além de outros materiais, como poeira e ferrugem. Sua unidade de medida é a porcentagem do peso das cinzas em relação ao da amostra queimada.

3.2.1.9 Resíduos de Carbono

Essa propriedade é vista em análise de óleos usados, onde indica a tendência do óleo a formação de depósitos de carbonos, quando aplicado a altas temperaturas, em relação com o óleo original, indicando sua possível contaminação com os resíduos originados da queima de combustível provenientes do processo de combustão.

3.2.2 Funções dos óleos lubrificantes

Os lubrificantes são aplicados com o objetivo de minimizar o atrito e desgaste dos componentes. Entretanto, os óleos lubrificantes possuem diversas outras funções com a sua aplicação. As principais funções dos óleos lubrificantes podem ser observadas a seguir (PEREIRA, 2015):

- **Separação de peças em movimentos:** a fim de minimizar o atrito e evitar desgaste, o lubrificante é essencial para separar peças moveis em contato. Essa separação só é possível, se a espessura de filme lubrificante, exceda o valor mínimo para que o regime na região seja hidrodinâmico.
- **Transferência de calor:** o óleo atua como condutor de calor ou refrigerante. É muito eficiente na transferência de calor por ter contato com todas as superfícies do componente e transferir o calor para o sistema de arrefecimento, evitando a fusão do material em contato.
- **Proteção contra desgastes:** os óleos lubrificantes também promovem a proteção contra desgastes, uma vez que reduzem o atrito e as temperaturas locais. Os lubrificantes podem conter na composição alguns aditivos antidesgaste e de pressão extrema, aumentando a eficiência dessa proteção.
- **Inibição da corrosão:** através da cobertura das superfícies do metal, os lubrificantes também promovem a proteção contra corrosão protegendo essas superfícies do contato com o oxigênio e a água. Em sua composição contêm aditivos anticorrosivos para potencializar sua proteção.
- **Transporte de contaminantes e fragmentos:** o lubrificante atua como um transporte de contaminantes e fragmentos de desgaste, proveniente do contato de superfícies, para o sistema de filtragem onde ocorre a coleta dessas partículas e evita um desgaste abrasivo no sistema. Além desse desgaste, a remoção desses contaminantes evita a catalisação da oxidação e, conseqüentemente, o envelhecimento do lubrificante.

- **Redução de ruídos e vibrações:** em diversas aplicações, o lubrificante reduz o nível de ruído e vibrações originadas a partir do contato em ter componentes mecânicos.
- **Auxílio na vedação:** além de lubrificar e refrigerar, o lubrificante auxilia na vedação interna, impedindo vazamentos do lubrificante em folgas diminutas e, que os contaminantes externos ingressem no sistema.

4 METODOLOGIA

4.1 Coleta das amostras de óleo

Para a coleta das amostras, é utilizado uma bomba manual a vácuo com frascos e mangueiras exclusivas para cada amostra, a fim de evitar qualquer contaminação da amostra coletada, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Kit para coleta da amostra.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4.1.1 Periodicidade da Coleta

O período de coleta de cada amostra varia de acordo com o tipo de máquina agrícola. As amostras são coletadas durante as manutenções preventivas dos equipamentos, existindo dentro de cada plano um item para essa coleta.

As preventivas ocorrem de acordo com a quantidade que o ativo trabalhou, ou seja, não existe uma periodicidade regular para a coleta, dificultando para uma análise mais detalhada da variação ao longo do tempo. Sendo assim, as coletas ocorrem de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo entre cada coleta.

Equipamento	Tempo entre cada coleta
Caminhões Canavieiros	15.000 Km rodados
Caminhões Diversos	450 h rodadas
Pulverizadores/ Carregadeiras	300 h rodadas
Colhedoras de Cana	400 h rodadas
Tratores Agrícolas John Deere	500 h rodadas
Tratores Diversos	300 h rodadas
Motobombas	250 h rodadas

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4.1.2 Escolha do ponto de coleta

As partículas necessárias para uma análise efetiva são aquelas geradas recentemente no equipamento. Considerando este argumento, a amostra deve ser coletada em pontos estratégicos onde possui uma grande quantidade de partículas novas e o mesmo ponto ocorra grandes agitações. Pontos após filtros, chicanas de reservatórios hidráulicos devem ser evitados, pois devido a função deles de remover partículas indesejadas no sistema, o laudo da amostra não será de acordo com o real.

4.1.3 Método de Coleta

As coletas de amostras são feitas com o auxílio de uma bomba a vácuo para não haver contato do meio com o óleo coletado, evitando uma possível contaminação. Trata-se de uma bomba a vácuo manual, fabricada de alumínio. O kit para coleta (Figura 9) contém a bomba manual a vácuo, acompanhada de um frasco e um tubo translúcido. A Figura 10 mostra o esquema montado para a coleta da amostragem.

Figura 10 - Bomba para coleta da amostra.



Fonte: (KARDEC & NASCIF, 2013, p. 89)

Os materiais plásticos de coleta de óleo devem ser esterilizados, isento de poeiras e umidade, para garantir maior qualidade nos resultados. O frasco e a mangueira devem ser utilizados apenas uma vez, ou seja, somente em um equipamento, evitando a contaminação da amostra e o acúmulo de partículas entre equipamentos. O próprio laboratório fornece os frascos e mangueiras esterilizados e lacrados, conforme o frasco a direita da Figura 11.

Figura 11 - Frascos para coleta lacrados.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4.1.4 Volume da amostra

O volume da amostra coletada varia de acordo com a metodologia adotada pelo laboratório para a análise. O frasco de coleta é enviado pelo próprio laboratório, sendo previamente determinado por eles o volume necessário. O volume adotado pelo laboratório que presta serviços para a usina é em torno de 100 ml.

4.1.5 Rotulação das amostras

O frasco é acompanhado de uma ficha para preenchimento e identificação das amostras após coletadas. Esta ficha contém o compartimento do equipamento cujo a amostra foi coletada, a data de coleta, a identificação do equipamento, o tipo de lubrificante, o horímetro/hodômetro do equipamento, a identificação da amostra e o nome da empresa, conforme a amostra coletada na Figura 12.

Figura 12 - Frascos com amostra coletada e identificada.



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Nota: (a) A esquerda se apresenta o volume do frasco de amostra, no centro a amostra com a ficha de identificação preenchida e a direita a amostra coletada e lacrada. (b) Amostra coletada com a ficha preenchida completa.

4.1.6 Laudos das análises

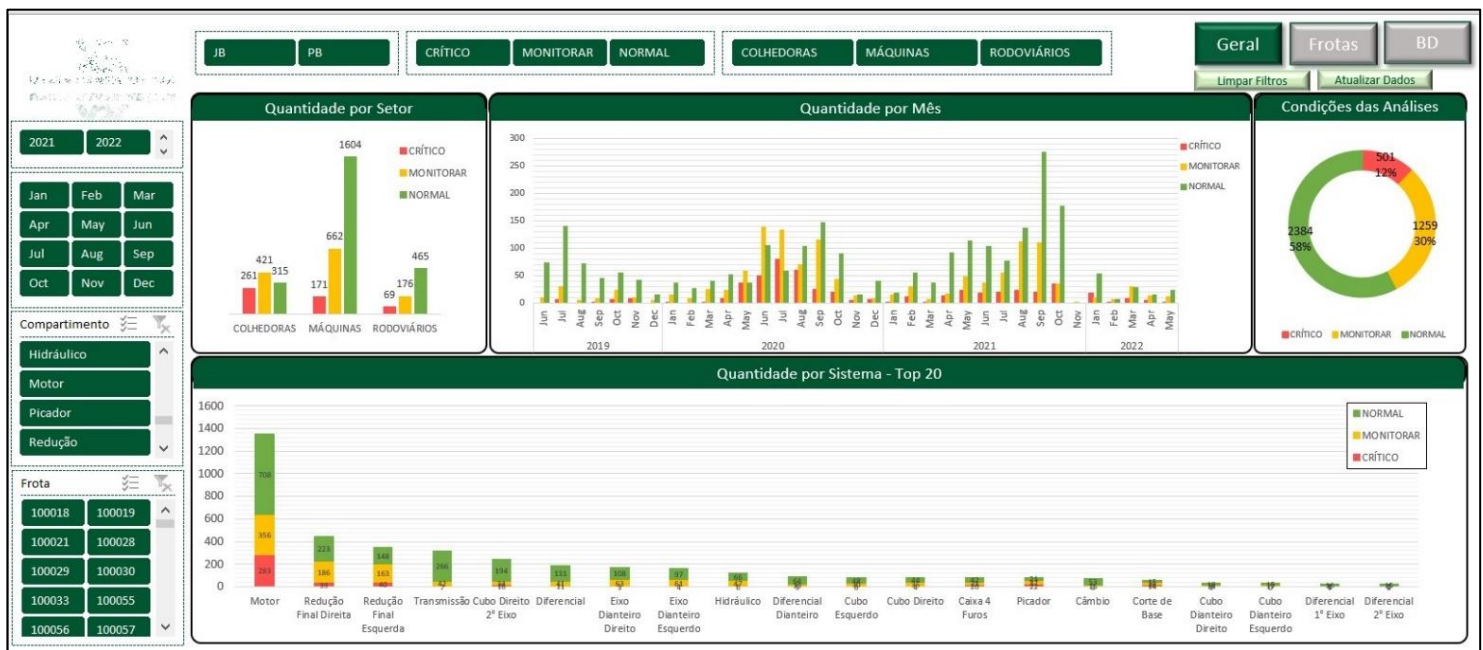
Após o envio das amostras para a empresa, os laudos das análises são gerados e disponibilizados online a partir de 24h. Em análises espectrométricas, onde se analisa as partículas sólidas existentes, não se tem um prazo especificado, ao contrário das análises físico-químicas, pela qual o tempo influencia no resultado devido às alterações que podem ocorrer em suas propriedades. Por motivos de sigilo de informações, dados mais detalhados e fotos dos laudos não são apresentados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Tratamento dos dados

A princípio foi criado um banco de dados contendo todos os laudos dos equipamentos agrícolas motorizados, onde contém a identificação da amostra, a identificação do equipamento, o compartimento de onde o óleo foi retirado, a data da coleta, o tipo e marca do óleo e os resultados espectrométricos e físico-químicos das análises. Com este banco de dados dos distintos grupos operativos da usina, gerou-se um painel de monitoramento contendo todas as informações sobre as situações dos laudos, conforme mostrado na Figura 13. O *software* utilizado para o processamento de dados e análises foram *MS Excel* e o *Visual Basic for Application (VBA)*.

Figura 13 - Painel de monitoramentos das análises de óleos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Pelo painel, é possível monitorar os ativos em situações críticas ou “a monitorar” ao selecionar essas opções na parte superior do painel. Ao mesmo tempo, é possível verificar os históricos dos equipamentos para analisar os períodos em que é necessária uma atenção extra. Verificando os equipamentos nestas situações, percebe-se uma grande quantidade de colhedoras

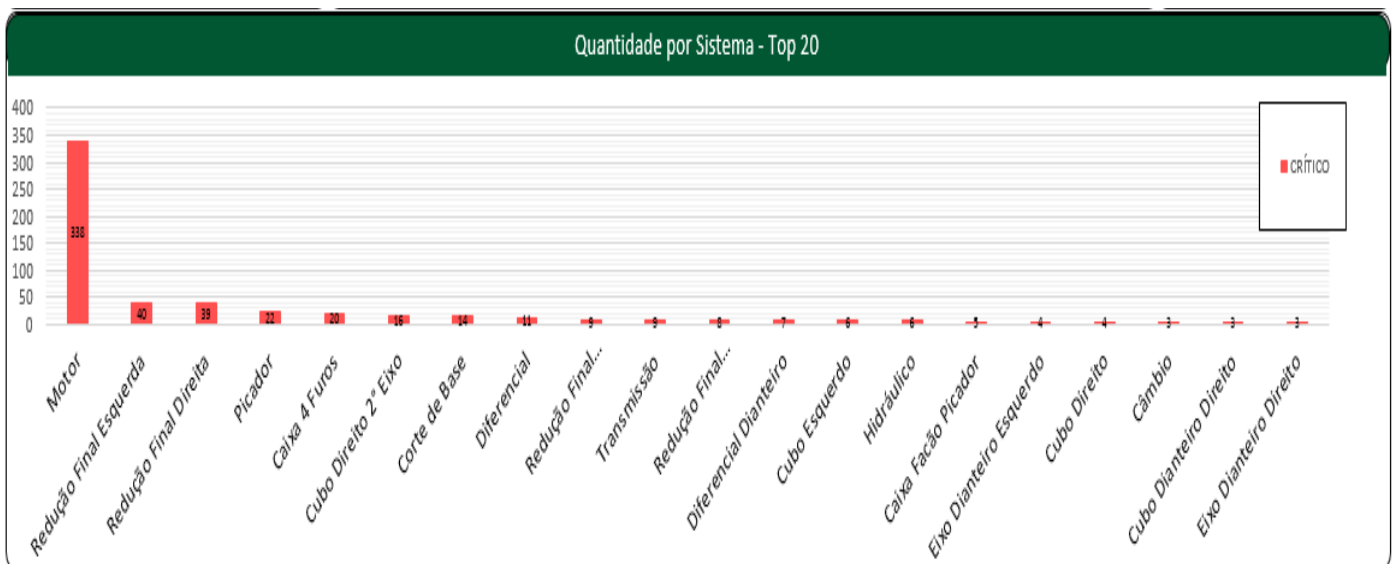
em situação crítica, o que é preocupante devido número inferior de equipamentos em relação aos outros grupos operativos (Figura 14). E dentro destas análises críticas, observa-se o compartimento com maior número de amostras críticas, sendo este o motor (Figura 15), o compartimento mais importante das máquinas agrícola, sendo ele responsável pela transformação da energia dos combustíveis em energia mecânica.

Figura 14 - Quantidades de amostra críticas por setor da usina sucroalcooleira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - Compartimentos com maior quantidade de amostras críticas.



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 Análises

Decorrendo dos dados citados, foi escolhido uma colheitadeira modelo CH570 John Deere (Figura 16), cujo o motor fundiu, para análise da aplicação da análise de óleo como uma manutenção preditiva em relação a manutenção corretiva não planejada.

Figura 16 - Colheitadeira John Deere CH570.



Fonte: Elaborado pelo autor

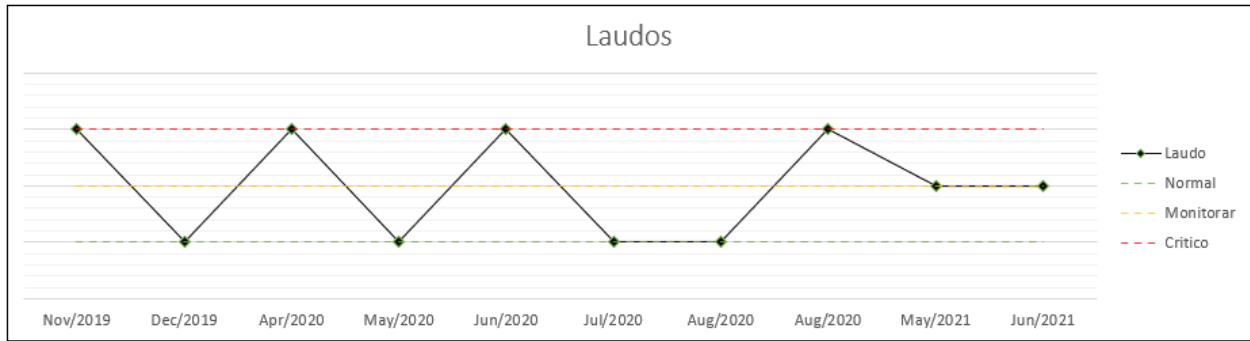
Através de um segundo painel de monitoramento, onde estão os parâmetros adotados pela usina e ocorre um monitoramento individual por equipamento, sendo possível verificar o histórico dos laudos do equipamento desejado. A Figura 17 apresenta o histórico dos status de um equipamento através do painel citado, nele é possível ver a data da coleta e a situação do equipamento naquela data. As linhas tracejadas representam os status do equipamento e os círculos pretos representam o resultado da análise do compartimento do equipamento.

Sabendo que a safra se iniciou em abril de 2021, ao verificar o histórico do equipamento, observa-se que nos dois primeiros meses de trabalho, o equipamento indicava um alerta para análise, o que não deveria acontecer após receber uma reforma completa na entressafra (Setembro/2020 – Março/2021).

Os resultados dos ensaios físico-químicos e dos ensaios de espectrometria do óleo do motor desta colhedora são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. Ao verificar os

resultados, observa-se os resultados das análises físico-químicos dentro dos parâmetros de monitoramento, não apresentando nenhuma divergência.

Figura 17 – Histórico dos laudos das análises de óleo do motor da colhedora.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Resultados das análises físico-químicos dos óleos lubrificantes para a colhedora.

Data	Nº da Amostra	Frota	Compartmento	Aparência	Água [%]	Viscosidade 40°C [cSt]	Viscosidade 100°C [cSt]	Densidade	Fuligem [%]	TAN	TBN [mh KOH]	Contagem de Partículas [ppm]	Óleo Descrito
18/11/2019	9265/2019	200086	Motor	Límpido	0.0		13.70		0.100		3.652		15W40
10/12/2019	9783/2019	200086	Motor	Límpido	0.0		14.14		0.100		9.974		15W40
23/04/2020	1710/2020	200086	Motor	Límpido	0.0	112.80	14.64		0.100		8.524	7	15W40
15/05/2020	2803/2020	200086	Motor	Límpido	0.0	100.57	15.40		0.300		7.331	7	15W40
12/06/2020	4780/2020	200086	Motor	Límpido	0.0		16.27		0.100		7.070	7	15W40
03/07/2020	6575/2020	200086	Motor	Límpido	0.0	101.03	14.60		0.220		6.300	7	15W40
19/08/2020	11284/2020	200086	Motor	Límpido	0.0	70.70	12.90	0.87	0.280		9.500	6	15W40
28/08/2020	12196/2020	200086	Motor	Límpido	0.0	95.60	13.20	0.87	0.390		7.500	5	15W40
22/05/2021	6870/2021	200086	Motor	Límpido	0.0	117.30	15.50	0.87	0.270		5.800	7	15W40
14/06/2021	9012/2021	200086	Motor	Límpido	0.0	92.70	13.80	0.87	0.200		7.300	6	15W40

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 7 - Resultados das análises de espectrometria dos óleos lubrificantes para a colhedora.

Data	Nº da Amostra	Ferro [ppm]	Cobre [ppm]	Cromo [ppm]	Chumbo [ppm]	Níquel [ppm]	Alumínio [ppm]	Estanho [ppm]	Silício [ppm]	Molibdênio [ppm]	Cálcio [ppm]	Magnésio [ppm]	Zinco [ppm]
18/11/2019	9265/2019	51.34	31.56	8.38	23.93	1.95	2.81	0.57	19.33	18.99			
10/12/2019	9783/2019	10.08	4.12	0.78	0.69	0.23	0.64	0.67	0.17	29.96			
23/04/2020	1710/2020	80.08	8.73	0.91	0.99	0.39	8.16	0.91	28.78	28.32	38.85	511.87	513.58
15/05/2020	2803/2020	35.30	3.10	0.22	5.85	2.71	3.02	0.05	6.86	0.69	298.45	523.36	494.47
12/06/2020	4780/2020	26.92	23.67	0.56	0.79	0.55	5.20	0.95	42.73	25.15	252.53	509.13	511.13
03/07/2020	6575/2020	39.58	5.74	0.39	0.31	0.38	4.54	0.95	0.92	0.62	82.38	79.90	112.03
19/08/2020	11284/2020	9.41	2.58	0.60	0.31	0.01	7.35	3.64	5.46	8.25	235.50	147.32	251.81
28/08/2020	12196/2020	10.09	1.48	0.31	0.05	0.67	0.91	14.34	45.80	57.58	546.23	210.96	334.20
22/05/2021	6870/2021	62.32	13.16	1.08	0.24	0.06	10.18	0.21	17.48	35.40	81.46	31.51	100.95
14/06/2021	9012/2021	7.22	0.50	0.76	2.15	1.27	0.81	4.36	10.70	39.10	535.15	214.18	137.48

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao contrário das análises físico-químicas, as análises espectrométricas das amostras apontam diversas ocorrências, como observado na Tabela 7. Na primeira coleta realizada na safra, observa-se diversas medidas fora dos parâmetros, indicando uma contaminação externa e desgaste acentuado do motor. Foram encontradas altas concentrações de: Ferro, Cobre, Silício, Alumínio e Molibdênio.

Nesta primeira amostra, devido ao número de elementos fora dos parâmetros, a intervenção da manutenção deveria ser imediata para inspeção do equipamento, antes que ocorresse uma falha maior, porém não ocorreu devido a não existência do banco de dados e do painel de monitoramento, e a falta de acompanhamento dos laudos da análise. De acordo com a Tabela 3, a parada tem como objetivo analisar o sistema de admissão de ar, assentamento da tampa, aperto de abraçadeiras, o nível de óleo no cárter e a presença de limalhas no filtro de óleo. Caso a parada fosse realizada, o mecânico responsável pela manutenção, durante a inspeção perceberia a falta de um parafuso da tampa de válvula do motor.

A falta deste parafuso implicou na contaminação externa (poeiras), explicando a alta concentração de silício, sendo que o equipamento trabalha 3 turnos diários e a exposição ao sol e poeira é intensa. Após descobrir a origem do problema, atenta-se aos elementos de desgastes para

verificar se algum componente foi comprometido. Essa segunda inspeção tem como objetivo inspecionar os pistões, eixo de comando de válvulas, anéis de segmento dos pistões, carcaça da bomba d'água, paredes dos cilindros, mancais, rolamentos, virabrequim e balancim, como apresentado na Tabela 3, para averiguar a integridade dos componentes.

Apesar de aplicar a coleta do óleo para análise, técnica da manutenção preditiva, o acompanhamento e a intervenção não eram realizados. Sendo assim, o equipamento continuou executando o processo, realizando diversas manutenções corretivas não planejadas por perda de potência e superaquecimento, trocas de filtros de ar e de combustível, gastando com trocas de componentes desnecessárias e não corrigindo a origem do problema.

Como consequência desta falta do parafuso na tampa de válvula, como citado anteriormente, ocorreu a contaminação externa e o motor expeliu o óleo lubrificante por este orifício, acarretando a diminuição do nível de óleo no cárter. Com o baixo nível de lubrificação e com o óleo restante contaminado por partículas externas, ocorreu a dilatação do ferro proveniente do superaquecimento dos componentes do sistema. Sendo assim, o tucho hidráulico do motor sofreu um desgaste e, conseqüentemente, pela dilatação do metal o atrito entre o tucho danificado e o came aumentou desgastando o came do comando de válvula, conforme destacado na Figura 19. Na Figura 18, observa-se o tucho hidráulico comprometido devido ao desgaste.

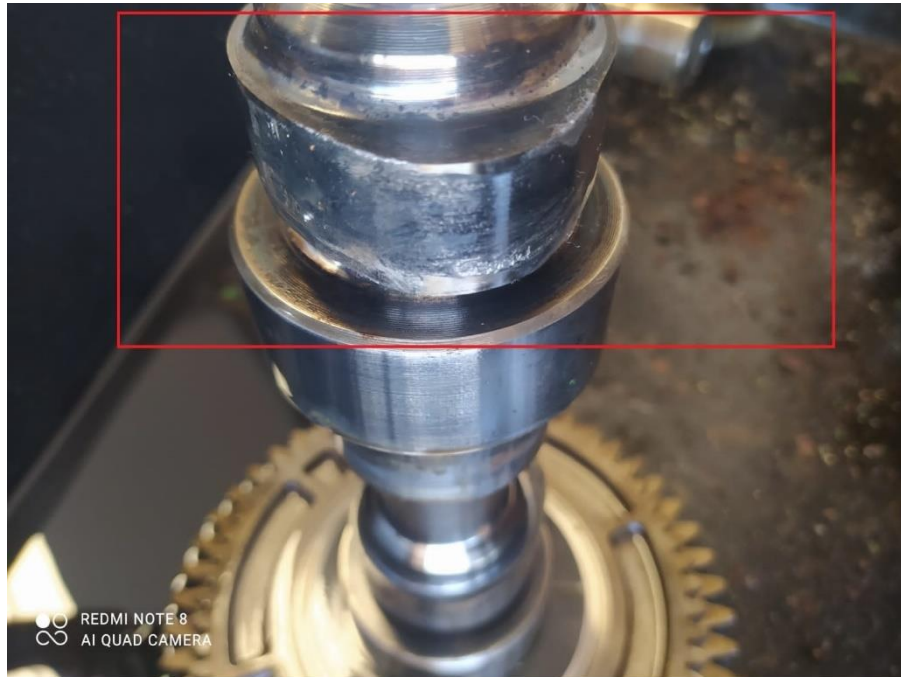
Figura 18 - Tucho hidráulicos do motor da colhedora.



Fonte: Próprio autor

Nota: A esquerda um tucho hidráulico novo e a direita o desgastado.

Figura 19 - Comando de válvulas danificado.



Fonte: Próprio autor.

Com a colhedora trabalhando normalmente e a não detecção do problema, o motor perdeu eficiência e veio a fundir, realizando uma manutenção corretiva não planejada em empresas terceiras. A Tabela 8, compara os custos do serviço de manutenção no motor realizado por terceiro e requisições para correções internas em relação aos custos estimados de uma manutenção planejada, caso a manutenção preditiva da análise de óleo fosse aplicada.

Tabela 8 - Comparativo de custo da manutenção do motor da colhedora.

	Custo estimado de manutenção preditiva	Custo de manutenção corretiva não planejada
Descrição do serviço	Troca dos reparos e juntas, comando de válvula, parafusos, tucho hidráulico, rolamentos, regulagem de válvulas, limpeza do sistema e verificação do sistema de arrefecimento	Troca de abraçadeiras, amortecedor de torção, todos os sistemas de vedação (anéis e juntas), comando de válvula, rolamentos, tucho hidráulico, regulagem de válvulas, parafusos, limpeza e manutenção no sistema de arrefecimento.
Tempo de Manutenção	5 a 8 dias	1 mês
Custos com peças	R\$ 16.751,34	Peças da empresa terceirizada: R\$ 24.024,61 Peças requisitadas internas: R\$ 5.729,46
Custos com mão de obra/serviços	Mão de obra interna: ~ R\$ 5.300,00	Serviços externos: R\$ 8.386,15 Mão de obra interna: ~ R\$ 1.300,00
Custo total	R\$ 22.051,34	R\$ 39.440,22

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se, portanto, uma economia estimada de R\$17.388,88 ou 44,1% com o uso da análise de óleo como manutenção preditiva. Um detalhe não contabilizado no custo é a disponibilidade do ativo, uma vez que o equipamento poderia estar trabalhando em apenas alguns dias, porém ficou em manutenção por no mínimo um mês. Para base de cálculo do custo de peças na manutenção corretiva planejada, considerou-se a troca dos mesmos componentes realizado pela empresa terceira, porém considerando o valor unitário caso a compra fosse planejada e realizada pela usina. Sendo assim, observou-se uma diferença de R\$13002,73 em economia em peças. Como a intervenção não foi realizada, não seria possível perceber o real dano no equipamento, por isso foi considerado as mesmas trocas de componentes obtidas no orçamento da empresa terceira para a base do cálculo.

6 CONCLUSÃO

No desenvolvimento do estudo, foi possível a compreensão do processo dos tipos de manutenção, principalmente a aplicação e importância da manutenção preditiva e da análise de óleo em máquinas agrícolas. Através das análises de contaminantes e desvios de propriedade dos lubrificantes, é possível a identificação dos sistemas e subsistemas afetados. Com essas informações, planeja-se uma manutenção no momento exato, e se realiza somente a troca de peças necessárias e, conseqüentemente, aumenta a disponibilidade do ativo e melhora os indicadores.

Para o monitoramento das análises foi necessário a criação de um painel de monitoramento, onde foi possível observar os sistemas, os equipamentos e os grupos operativos com mais situações críticas. Além dessa análise geral das máquinas agrícolas, é possível averiguar o histórico das análises por equipamento individual, auxiliando na identificação dos contaminantes.

Nota-se um ganho de produtividade do equipamento devido ao menor tempo de parada e menor custo de manutenção. Na análise de custo, a situação real avaliada validou a teoria aplicada, uma vez que a estimativa do custo com a manutenção corretiva planejada foi 44,1% menor em relação a corretiva não planejada. Foi analisado apenas um caso, mas para uma empresa com grande quantidade de ativos, o impacto no custo será bem maior, devido a economia com manutenção em todos os maquinários aplicando a análise de óleo como manutenção preditiva.

A vantagem dessa técnica é dar a gerência a oportunidade de planejar a manutenção e não impactar tanto a produção, facilitando a programação e evitando uma quebra indesejável como essa. Como visto nos resultados, com a manutenção programada o equipamento ficaria apenas alguns dias parados em manutenção, mas como ocorreu uma quebra não prevista, o equipamento ficou ao todo em torno de um mês parado corrigindo as falhas. O grande problema é a resistência dos gestores desses ativos em optar por esse tipo de manutenção, devido à falta de conhecimento, visão deste processo e a cultura do equipamento trabalhar o máximo possível para maior produtividade.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

São sugestões para trabalhos futuros:

1. Uma análise no impacto real de cada tipo de manutenção na disponibilidade dos ativos;
2. Aplicar de forma prática a manutenção preditiva, utilizando ferramentas de manutenção para análise das falhas;
3. Realizar uma análise de custos com outros compartimentos dos equipamentos agrícolas de alto impacto na produção.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO, Diego. Mecanização da cana: História e perspectivas para o futuro. 30 set. 2021. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/mecanizacao-da-cana-historia-e-perspectivas-para-o-futuro/>. Acesso em: 19 jun. 2022.

BRANCO FILHO, Gil. **A Organização , o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2008.

BRÁS, Vinicius Dinis. **Manutenção Preditiva**. s.d. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12957274-Manutencao-preditiva-13-12-11.html>. Acesso em 21 jul. 2022.

CAMACHO, Matheus de Oliveira. **ANÁLISE DE CONTAMINANTES EM ÓLEOS LUBRIFICANTES E HIDRÁULICOS**. 2020. 62f. TCC (Graduação) – Curso Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista UNESP, Ilha Solteira, 2020.

COUTINHO, Jorge Luiz *et al.* **Aplicação de Ferramentas da Manutenção Preditiva na Análise de Óleos Lubrificantes**. 2021. 29f. Artigo Científico - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade UNA, Pouso Alegre, 2021.

CUNHA, Rodrigo Carvalho. **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. 185f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista UNESP, Ilha Solteira, 2005.

JUNIOR, Adyles Arato. **Manutenção Preditiva: Usando Análise de Vibrações**. Barueri: Ed. Manole, 2004.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2009.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção Preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.

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. 129f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista UNESP, Ilha Solteira, 2010.

LAGO, Daniel Fabiano. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante**. 2007. 180f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista UNESP, Ilha Solteira, 2007.

LEVITT, J. (1952). **Complete guide to preventive and predictive maintenance**. New York: Industrial Press Inc, 1952.

NACHILUK, K. **Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana**. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 16, n. 6, 17 jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,de%20litros%20de%20etanol1>. Acesso em: 17 jun. 2022.

NASCIF, Júlio; DORIGO, Luiz Carlos. **Manutenção orientada para resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.

PEREIRA, Flávio Marcos de Melo. **Estudo da Degradação do Óleo Lubrificante em Motores Alimentados com Biodiesel B100**. Curitiba, 2015.

PEREIRA, Mário Jorge. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2009.

SILVA, Valdemar Guimarães da. **Você sabe quais são os tipos de Manutenção e para que servem, hoje em dia?**. 29 out. 2015. *Linkedin: Valdemar Guimaraes da Silva*. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/voc%C3%AA-sabe-quais-s%C3%A3o-os-tipos-de-manuten%C3%A7%C3%A3o-e-para-que-valdemar/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 16 jul. 2022.

SIQUEIRA, Iony Pereira. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2005.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **PCM**: planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2002.