

**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MANUTENÇÃO EM ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS:

Um estudo de caso para melhoria

HYDRAULIC EXCAVATORS MAINTENANCE

Case study improvements

¹Júnio Martins Almeida

Luciano José Vieira Franco

Rodovia MG 482 - Gigante, Conselheiro Lafaiete - MG, 36400-000– Brasil
181-000877@aluno.unipac.br

Resumo: Em uma área mineradora onde os resultados se encontram na extração e beneficiamento do minério de ferro, existem inúmeras interrupções devido às quebras inesperadas dos equipamentos. As interrupções eram constantes devido a quebra de comando final de uma frota de escavadeiras hidráulicas. Inicialmente foram coletados os dados de análises de óleo, avaliação termográfica e de deslocamento. Logo após o detalhamento de todo o histórico foram verificados ocorrências compatíveis entre os equipamentos de contaminação e sobreaquecimento. Após estes registros foram tomadas as ações que levaram a alteração do projeto e acompanhamento do equipamento em operação minimizando as quebras do comando final. Este estudo mostrou a grande importância de um acompanhamento minucioso da manutenção, com uma análise técnica, e um bom armazenamento de dados sobre o histórico geral de todos os equipamentos, podendo servir como um grande apoio ajudando solucionar os problemas que estavam acontecendo nesta frota de equipamentos.

Palavras-chave: Contaminação. Sobreaquecimento. Manutenção. Comando Final.

1 INTRODUÇÃO

A mineração possui um dos maiores pesos na economia básica do Brasil, chega a ser crucial para a melhoria de vida das gerações, trazendo assim um desenvolvimento equilibrado quando desenvolvido com responsabilidade.

Historicamente, depois da primeira constituição republicana de 1891, ocorreu uma mudança sobre o regime de propriedades vigentes sobre o subsolo, que dizia que o dono da mina seria o proprietário do solo. Na época o interesse não era apenas em ouro e pedras preciosas, pois havia alguns sinais de essas pedras estavam ficando escassas. Com o fim da revolução industrial em 1940, o mundo presenciou novas tecnologias trazendo então um cenário de novas perspectivas. Ocorreu um grande avanço na siderurgia, e mais tarde na mineração.

No século XX, entre 1930 e 1980 ocorreram muitas mudanças no cenário da mineração, principalmente nos subsídios, o governo começou a alterar leis e decretos, trazendo diversas mudanças no país, um polo econômico novo e farto, uma região em crescimento e consequentemente o desenvolvimento populacional. Com esse setor industrializando-se, extingue-se o extrativismo predatório e dá início a atividade empresarial, que busca movimentar a economia e a tentativa em minimizar grandes impactos ambientais.

Com o avanço da mineração, surgiu a preocupação em aumentar a vida útil dos equipamentos usados nas minas, e redução nos custos. É fundamental que sejam evitadas pausas inesperadas que abalam o fluxo da produção, que ocorra menos prejuízos às máquinas como quebras, garantido também a segurança de quem opera a máquina. Para que tudo isso ocorresse, foi necessário o desenvolvimento de equipamentos como de lavra, mecanismos para a preparação e o recapeamento, ou seja o preparo do terreno, equipamentos de perfuração, equipamentos para o desmonte de rochas, carregamento, transporte e a britagem.

As empresas mineradoras apresentam grandes desafios na manutenção de equipamentos que atuam diretamente com lavra ou movimentação. Em maioria de grande e médio porte, são conhecidos como equipamentos de mina, que lidam diretamente com diversos fatores que existem neste tipo de ambiente, que podem levar à falha desses equipamentos. Assim a manutenção tem uma grande importância no processo, garantindo que se possa ter o máximo de disponibilidade possível dos equipamentos.

Aludindo sobre equipamentos de mineração, as escavadeiras hidráulicas são uma das maiores responsáveis em questão de carregamento. Tal máquina requer uma ótima performance durante longas horas de operação. A manutenção de equipamentos intenciona o máximo aproveitamento dos maquinários em operação. Dentro do contexto apresentado a pesquisa tem

como objetivo analisar e avaliar uma frota de escavadeira hidráulica com falha no comando final de locomoção em áreas de mineração apresentando medidas mitigadoras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este estudo é baseado em livros e documentos relacionados à extração de mina a céu aberto, escavadeira utilizada para o carregamento de minério de ferro, e abordagem sobre sistema hidráulico e comando final, assim como manutenções.

2.1 Mineração

A mineração refere-se a uma operação de natureza fundamentalmente econômica nas indústrias extrativas ou indústrias de produtos minerais. A mineração tem a definição de extrair minerais existentes em rochas ou solos.

O homem vem minerando desde as antiguidades, extraíndo argila, para os artefatos de cerâmica, as rochas duras para armas e objetos de corte, e ocre minerais para a confecção de pigmentos utilizada para pinturas e inscrições rupestres.

A partir da Idade do Bronze (4000 a.C – 1500 a.C) evoluíram lentamente pesquisas sobre a mineração e o beneficiamento dos minerais para a metalurgia. E assim a exploração e o tratamento dos minerais passaram a servir de base ao progresso industrial e ao comércio, em atribuição das tecnologias, base de poder econômico, militar e político.

Sendo assim a mineração é um item fundamental para sociedade que vivemos, trazendo diversos recursos como computadores, cosméticos, estradas, estruturas metálicas, entre outros.

De modo geral nas últimas décadas a mineração tem evoluído constantemente trazendo grandes níveis, aumentando cada vez mais seu porte de produção e avanços tecnológicos, assim exigindo equipamentos mais eficientes e mais robustos na extração dos minerais e beneficiamento para suprirem a grande produção em massa.

Figura 1 – Ilustração de uma mineração de céu aberto



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

2.2 Escavadeira Hidráulica.

Em meio ao século XIX nos Estados Unidos iniciou o surgimento das primeiras escavadeiras, que eram utilizadas nas construções ferroviárias, e subsequentemente passou a ser aplicada em diversas outras atividades.

As primeiras gerações de escavadeiras eram equipamentos movidos à vapor, e que no passar dos anos surgiram os modelos com motores elétricos, e em seguida motores a diesel após a Primeira Guerra Mundial.

Essas máquinas utilizavam conjuntos de roldanas e cabos de aço para efetuar movimentos nos elementos de trabalho. Mas com o avanço da tecnologia hidráulica que havia um grande potencial em meio aos maquinários, a escavadeira hidráulica foi uma das maiores evoluções que permanece até nos dias de hoje.

Figura 2 - Ilustração de uma escavadeira a vapor



Fonte: Dados de pesquisa (2022)

Devido à necessidade de movimentação de grandes quantidades de materiais na mineração, nos últimos anos as escavadeiras de acionamento hidráulico trouxeram diversos benefícios com sua precisão em seus movimentos e habilidades, resultando em um equipamento de alto desempenho e proporcionando uma grande movimentação de minerais, havendo uma boa produção.

2.2.1 Escavadeira John Deere 350G.

Dentre os diversos modelos e fabricantes atualmente disponíveis no mercado global de mineração, a John Deere é uma das que podemos citar como uma das principais que atualmente está evoluindo a cada dia no mercado de mineração. Dentre os diversos equipamentos que esta empresa fabrica, abordaremos neste tópico a escavadeira John Deere 350G, no qual é utilizada nos carregamentos de caminhões para o transporte de minerais em diversas minas espalhadas pelo mundo.

Este equipamento é acionado por um motor diesel responsável por ativar as caixas de engrenagens, gerando assim através do seu sistema um fluxo de óleo responsável por realizar movimentos necessários para suas necessidades de carregamento. Essas operações variam em combinações de movimentos proporcionando uma condução suave, segura e eficiente.

Figura 3 – Escavadeira Hidráulica John Deere 350G



Fonte: John Deere (2022)

De acordo com a John Deere (2022), a máquina foi construída com o que há de mais avançado na indústria de motores, oferecendo potência sem restrições em todas as condições, enquanto o sistema hidráulico garante ampla força que chega acima de 222 KN de escavação, alto torque e velocidade de giro, assim entregando a maior produtividade.

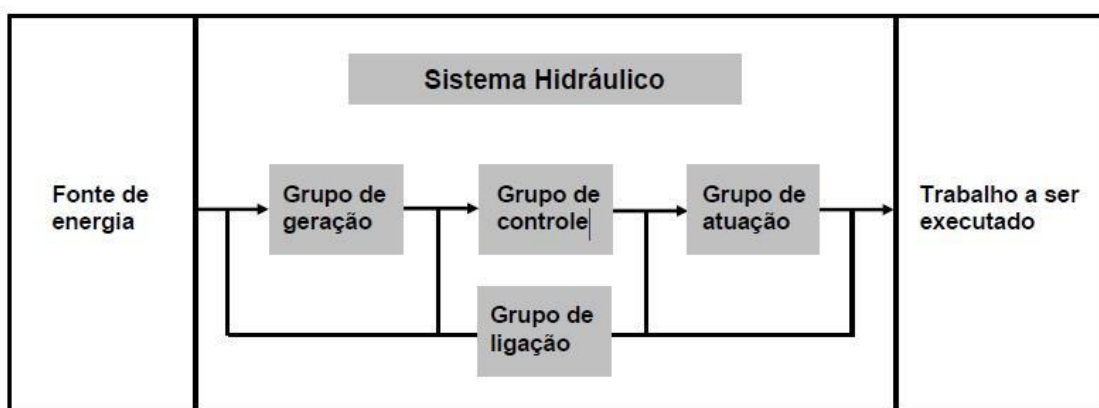
A introdução expõe o tema do artigo, relaciona-o com a literatura consultada, apresenta os objetivos e a finalidade do trabalho, definições, conceituações, hipóteses, pontos de vista e abordagens, e a justificativa da escolha do tema. “Não se aconselha a inclusão de ilustrações, tabelas e gráficos na introdução” (FRANÇA, 2008, p. 65).

2.2.2 Sistema Hidráulico

De acordo com Baptista e Lara (2014, p.25), “o termo “Hidráulico”, é derivado das palavras gregas “hydros” e “aulos”, respectivamente “água” e “condução”, e atualmente é utilizado para designar um conjunto de tecnologia relacionado ao transporte de líquidos, em geral, água, e em partículas”.

A hidráulica consiste no estudo das características e comportamento dos fluidos hidráulicos confinados (hidrostática) ou em escoamento (hidrodinâmica) como meio de transmitir energia.

Quadro 1 - Esquema básico de um sistema hidráulico



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

Fonte de energia: motor elétrico ou a combustão.

Sistema hidráulico: gera, controla e aplica potência hidráulica.

Grupo de geração: transforma potência mecânica em hidráulica (Bombas Hidráulicas).

Grupo de controle: controla a potência hidráulica (Comandos e Válvulas).

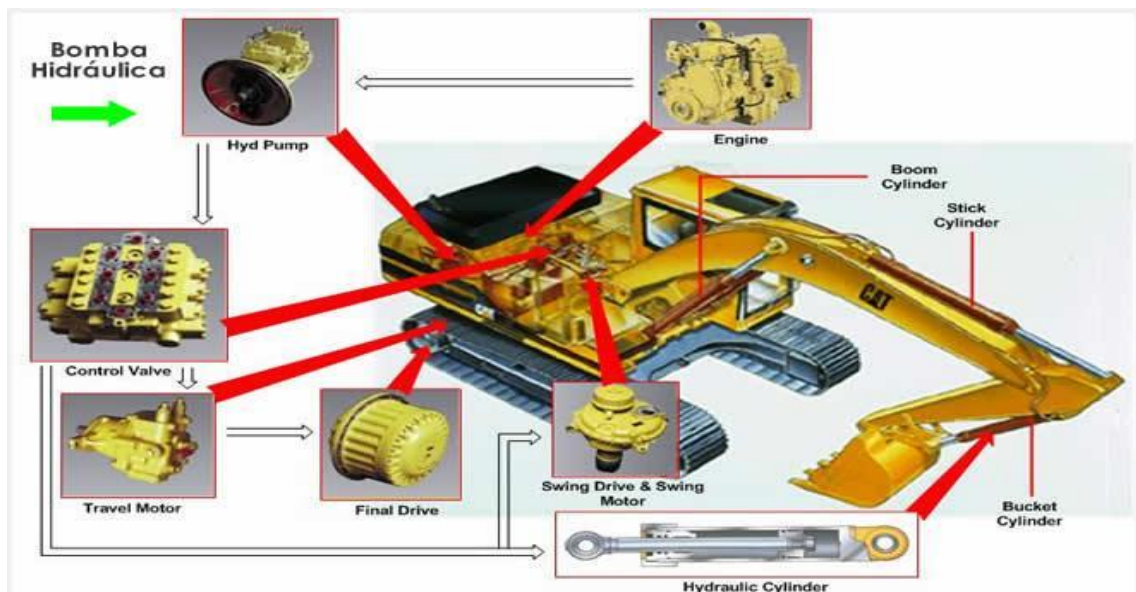
Grupo de atuação: transforma potência hidráulica em mecânica (Cilindros e Motores).

Grupo de ligação: conexões, tubos e mangueiras.

No sistema da escavadeira é composto de bombas hidráulicas responsáveis por enviar o fluxo de óleo até as linhas de pressão, como grupos hidráulicos motores e cilindros. As bombas são acionadas simultaneamente através de um PTO (Power Take-off) que é responsável de receber diretamente a rotação do motor diesel, e distribuir essa energia de acordo com as necessidades de cada bomba, funcionando como um distribuidor de torque e rotação para os componentes.

Na figura abaixo demonstra os principais componentes de uma escavadeira hidráulica.

Figura 4 – Sistema Hidráulico de uma Escavadeira



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Lista de componentes relacionada à escavadeira 350G John Deere.

- 01 Motor diesel de acionamento.
- 01 PTO para os acionamentos das bombas hidráulicas.
- 03 Bombas hidráulicas para o sistema de trabalho.
- 01 Bomba hidráulica auxiliar.
- 02 Motores hidráulicos para deslocamento.
- 01 Motor hidráulico para o sistema de giro.
- 04 Cilindros hidráulicos de acionamento dos implementos.

2.3 Comando Final

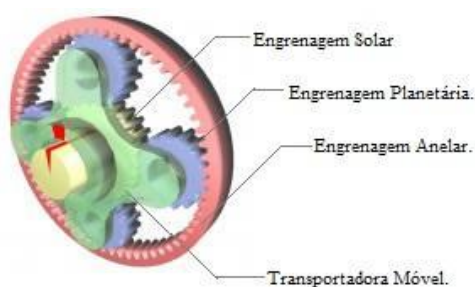
O comando final é o componente de aplicação sequencial dentro de um sistema de propagação de força. O comando final atua nas extremidades do eixo transferindo a força para a esteira enquanto proporciona redução de velocidade de rotação e aumento de torque. Os

componentes do comando final devem suportar incríveis cargas de altos impactos frequentes e mudanças de direção e movimentos.

O comando final que também é conhecido como caixa de engrenagem de locomoção por ser constituído por uma série de sistemas planetários que são compostos por três tipos de engrenagens, engrenagem solar, engrenagens planetárias e engrenagem anelar.

A Solar é a engrenagem responsável por transmitir torque para as engrenagens planetárias que são fixadas em uma transportadora móvel, e as planetárias se engrenam em uma engrenagem anelar, conforme a ilustração a seguir.

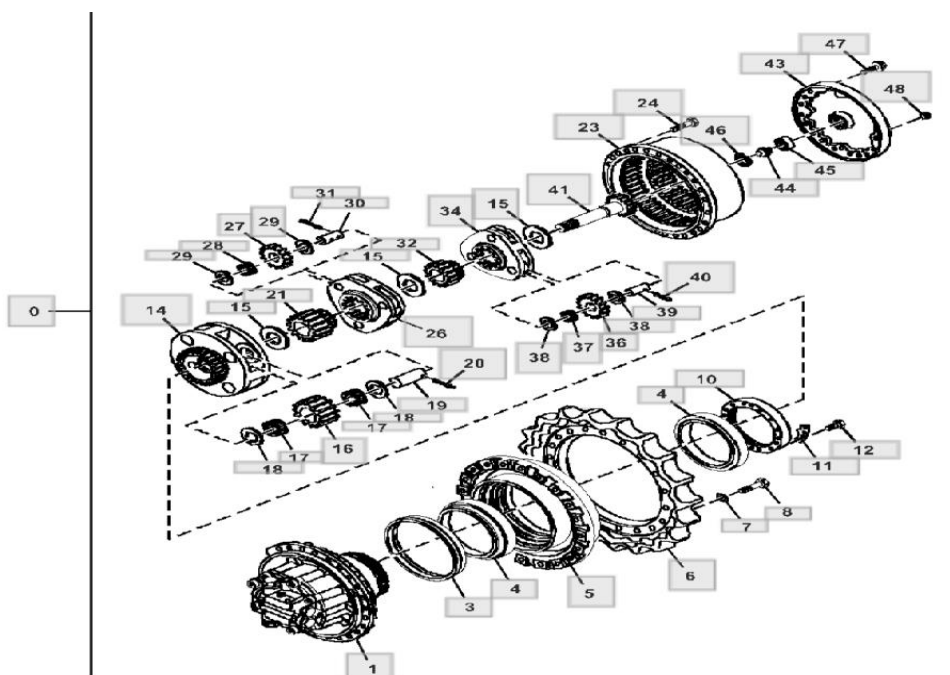
Figura 5 – Planetária de Redutor



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

De acordo com a figura 6 abaixo de uma imagem explodida de um comando final de uma escavadeira 350G John Deere, podemos concluir a existência de três planetárias que trabalham em conjunto, acopladas umas nas outras realizando uma conversão mais criteriosa para resultar em um torque muito mais alto.

Figura 6 – Comando Final



Fonte: John Deere (2022)

O comando final é formado pelos componentes:

- Carcaça (1).
- Vedação (3).
- Rolamento de rolos cônicos (4).
- Tambor (5).
- Engrenagem de corrente (6).
- Arruela (7, 18, 38).
- Parafuso sextavado (8, 12, 24, 47).
- Porca (10).
- Placa de segurança (11).
- Porta-Planetários (14, 26, 34).
- Espaçador (15).
- Engrenagem (16, 23, 27, 36).
- Rolamento de agulha (17, 28, 37).
- Pino (19, 39).
- Pino elástico (20, 31, 40).
- Engrenagem Sol (21, 32).
- Calço (29).
- Bucha (30).
- Eixo (41).
- Capa (43).
- Pino fixador (44).
- Rolamento (45).
- Anel de pressão (46).
- Tampão (48).

2.4 MANUTENÇÃO

Em meio a indústria, a manutenção é um item extremamente importante em relação a máquinas, buscando a conservação, e mantendo a vida útil dos equipamentos em bom estado.

Desde as primeiras máquinas a vapor até os dias atuais, a manutenção vem evoluindo cada dia mais, juntos a modernidade que veio desenvolvendo ao passar dos anos com os avanços das tecnologias aplicadas nos equipamentos.

Quadro 2-Gerações da manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO											
Geração	Primeira Geração		Segunda Geração		Terceira Geração		Quarta Geração		Quinta Geração		
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	
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 * Gerenciar ativos * Influir nos resultados do negócio		* Gerenciar os ativos * Otimizar os ciclos de vida dos ativos * Influir nos resultados do negócio		
Visão quanto à falha do ativo	* Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham		* Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva de banheira		* Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray)		* Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap Moubray)		* Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas.		
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 disciplinares		* Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição. * Redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada. * Análise de falhas * Técnicas de confiabilidade * Manutenibilidade * Projetos voltados para confiabilidade, manutenção. * Contratação por resultados		* Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição <i>on e off-line</i> . * Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção dos ativos * Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência. * Implementar melhorias objetivando redução de falhas * Excelência em engenharia de manutenção * Consolidação da contratação por resultados		

Fonte: Kardec; Nascif (2013, p.32)

Com o desenvolvimento da manutenção, surgiram tipos de manutenção mais eficientes a serem trabalhados de acordo com o contexto da atividade. Na primeira geração foi onde surgiu o conceito de manutenção corretiva, sendo uma atividade não programada, após a quebra. A segunda geração foi onde se iniciou a manutenção preventiva, aplicando um controle de atividades planejadas utilizando o avanço da informática, como meio de organização. A partir da terceira geração desenvolveu-se a análise de falhas e técnicas de monitoramento das condições dos componentes.

Na quarta geração a manutenção corretiva passa a ser vista como um indicador de ineficiência da manutenção, por tanto trazendo confiabilidade e disponibilidade. Geração que também ganha um destaque voltado a segurança das pessoas e meio ambiente.

Entre o quarto e quinta geração, foi onde ocorreu a interação da engenharia de manutenção proporcionando Disponibilidades, Manutenibilidade e Confiabilidade dentre várias outras atribuições que foram oferecidas com esse beneficiamento. A manutenção passou a trabalhar de uma forma mais estratégica, procurando reduzir as falhas, intensificando a manutenção preditiva, buscando ter mais controle entre as paradas, minimizando paradas de manutenção preventiva, e a corretiva que por sua vez se torna um indicador de falta de eficiência na manutenção.

Devido a evolução da tecnologia a manutenção vem desenvolvendo dias após dias trazendo disponibilidade, confiabilidade, segurança e qualidade, em meio processo produtivo. A combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Manutenção pode incluir como atividade a modificação de um item ou de um processo (ABNT 5462, 1994)

3 MÉTODOS

A abordagem da pesquisa em questão, quanto aos meios, refere-se a um estudo de caso objetivado na obtenção de uma forma de buscar, encontrar a causa raiz das falhas em comandos finais de locomoção de escavadeiras hidráulicas, a fim de solucionar o problema.

A pesquisa foi avaliar falhas em uma frota de 23 escavadeiras John Deere 350G, que atuavam em carregamentos em uma mina de lavra à céu aberto. Permitindo a obtenção de informações e dados para análise e criação de resultados.

A amostra desta pesquisa será probabilística e estratificada, baseando-se nas ocorrências e possíveis motivos das falhas dos comandos finais de locomoção da John Deere 350G. Nesta

pesquisa foram coletados dados de toda a frota no período das primeiras 10000 horas de operação do equipamento.

A análise dos dados dessa pesquisa descritiva que apresenta um caráter qualitativo, onde segundo Fonseca (2002, p.20), “diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados”. Foram coletados dados em inspeções, coletas em campo e documentações de registros, que serão avaliados a fim de identificar o causador das falhas, e procurar desenvolver melhorias no processo de manutenção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no material apresentado anteriormente, neste capítulo serão apresentadas e analisadas as informações pertinentes ao problema a fim de desenvolver uma solução para sanar a falha existente, com a finalidade de encontrar o motivo causador da falha nos comandos final de locomoção da escavadeira, e também aumentar o rendimento operacional da máquina.

4.1 Descrição do Processo

Em uma companhia de mineração existe uma frota de equipamentos de carregamento composto por escavadeiras hidráulicas e carregadeiras que são fundamentais para a produção no processo de movimentação de materiais em minas a céu aberto. Entre esses equipamentos existem vinte e três escavadeiras John Deere 350G que contribui principalmente com o processo de carregamento de minério de ferro da empresa e também apoios com taludes de mina. Esses equipamentos lidam com materiais muito abrasivos constantemente, em uma faixa média de operação de 20 horas diário em regime de turno de revezamento de operação.

Figura 7– Processo de carregamento de caminhão



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Devido ao ambiente e material abrasivo de trabalho, exigindo uma operação severa do equipamento, e trazendo um desgaste avançado dos componentes tanto hidráulico como estrutural, ocorrendo falhas ou quebras dos componentes. Para manter a confiabilidade do equipamento em um ambiente tão hostil, é necessário estratégias de manutenções visando sempre um equipamento com uma boa integridade para operação.

Entretanto a operação da escavadeira John Deere dentro da mineração houve determinadas falhas prematuras em relação a um dos componentes principais de locomoção dos equipamentos, o comando final. Este componente é responsável por receber fluxo de óleo das bombas hidráulicas e transforma essa energia hidráulica em energia mecânica, transmitindo tração para as esteiras de deslocamento do equipamento. Esse componente em questão fica localizado na parte externa do equipamento, em contato constante com o material do solo.

Figura 8 – Comando final da John Deere 350G



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

4.2 Características do Problema

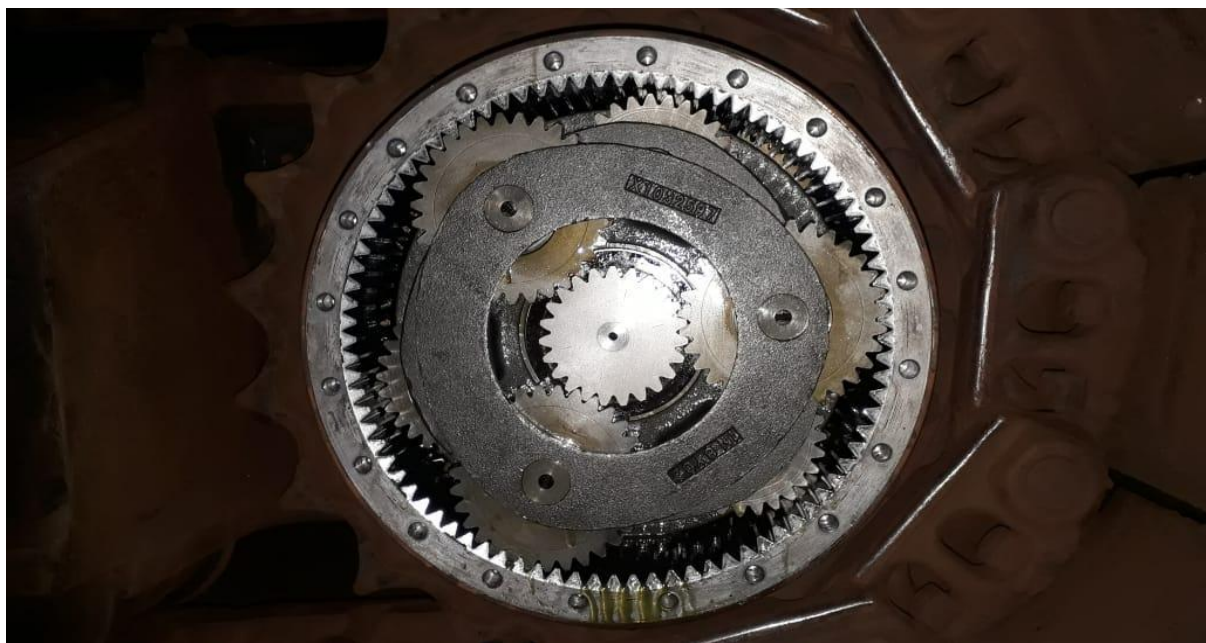
Por meio de coletas de dados realizadas em preventivas ou até mesmo em campo, a fim de levantar e acompanhar dados suficientes para melhor análise do problema, para buscar causas da anormalidade, foram coletados dados de toda frota para uma melhor análise.

Os comandos com avarias apresentam alguns sintomas e os mesmos podem ser verificados com algumas análises e informações coletadas na inspeção.

- Os comandos possuem vedação internas que têm a responsabilidade de manter a lubrificação interna mantendo isolamento da câmara. Havendo falha nas vedações, possibilita fuga de óleo e contaminação.
- Os comandos trabalham dentro de uma faixa de temperatura, em caso de temperatura elevada, tem a possibilidade de estar ocorrendo uma anormalidade no funcionamento ou operação.
- Num mau funcionamento dos comandos, pode ocorrer desgastes dos componentes, gerando limalhas e contaminantes.
- Dependendo do nível da ocorrência de falhas ou desgaste dos componentes internos havendo uma avaria estrutural, ocasionando ruídos anormais.

Segue na figura abaixo um exemplo de um comando aberto, na qual iremos analisar neste trabalho.

Figura 9 - Interior do comando final



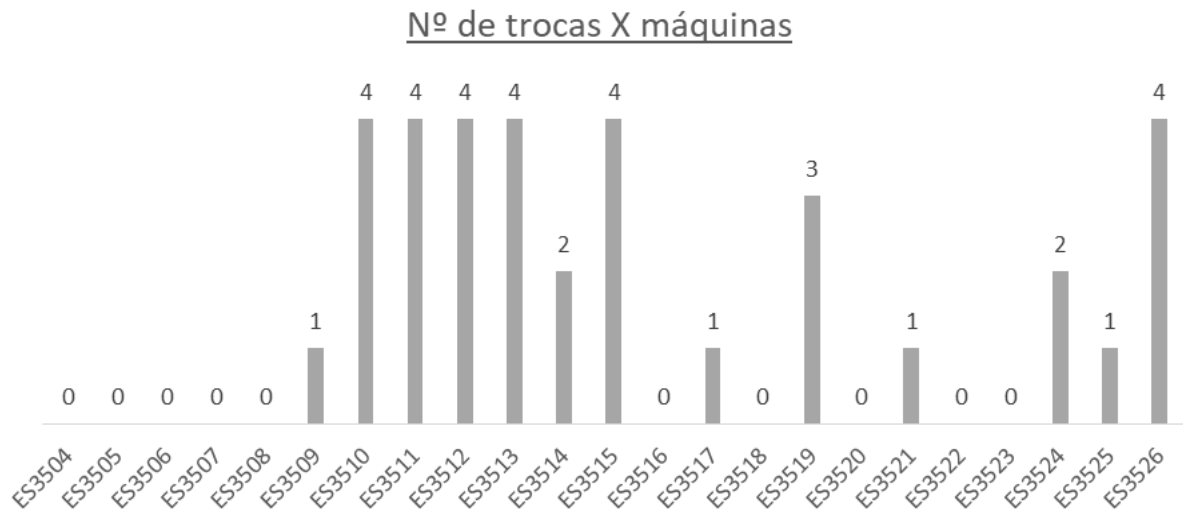
Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

4.3 Históricos do Problema

No período de junho de 2020 a julho de 2022 ocorreram diversas substituições desses componentes, ocasionada por quebras prematuras. Trocas de forma programadas e não

programadas, impactando diretamente na manutenção desse equipamento. No gráfico abaixo ilustra o número de troca destes componentes em cada equipamento da frota.

Gráfico 1-Substituição de comandos por equipamento

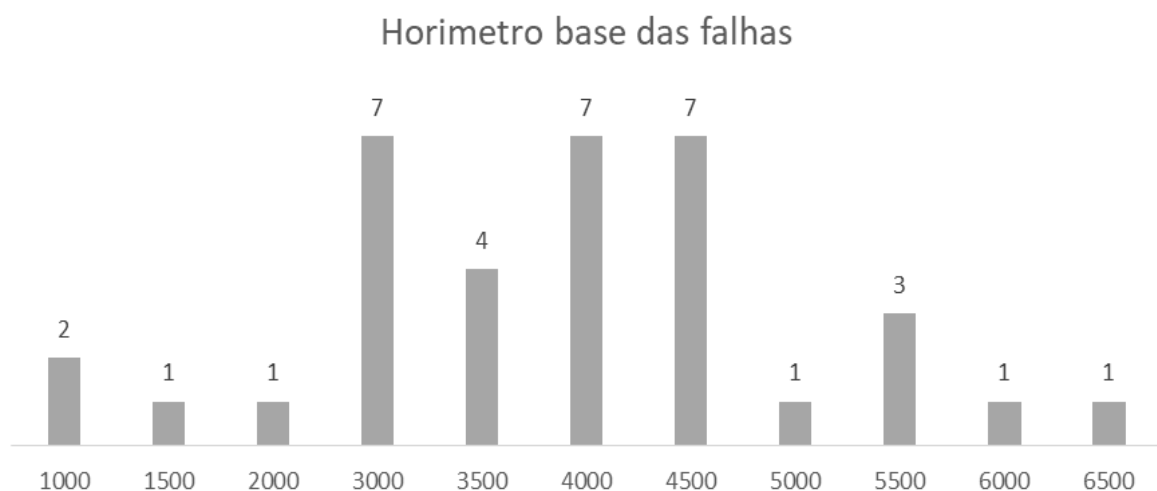


Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Conforme as informações do gráfico acima mostra um número elevado de comandos substituído, ocasionando impacto na produção devido paradas de maior prazo, principalmente nas manutenções não programadas, que não há um planejamento, que fica dependendo da mão de obra disponível, recursos e até mesmo materiais para a substituição.

Relacionado ao horímetro das falhas com o número de substituição em forma geral é possível identificar que não há relação das quebras conforme as horas trabalhadas do equipamento. Ocorreu quebras com 1.000 horas e equipamentos operando com comandos originais (acima de 10.000 horas)

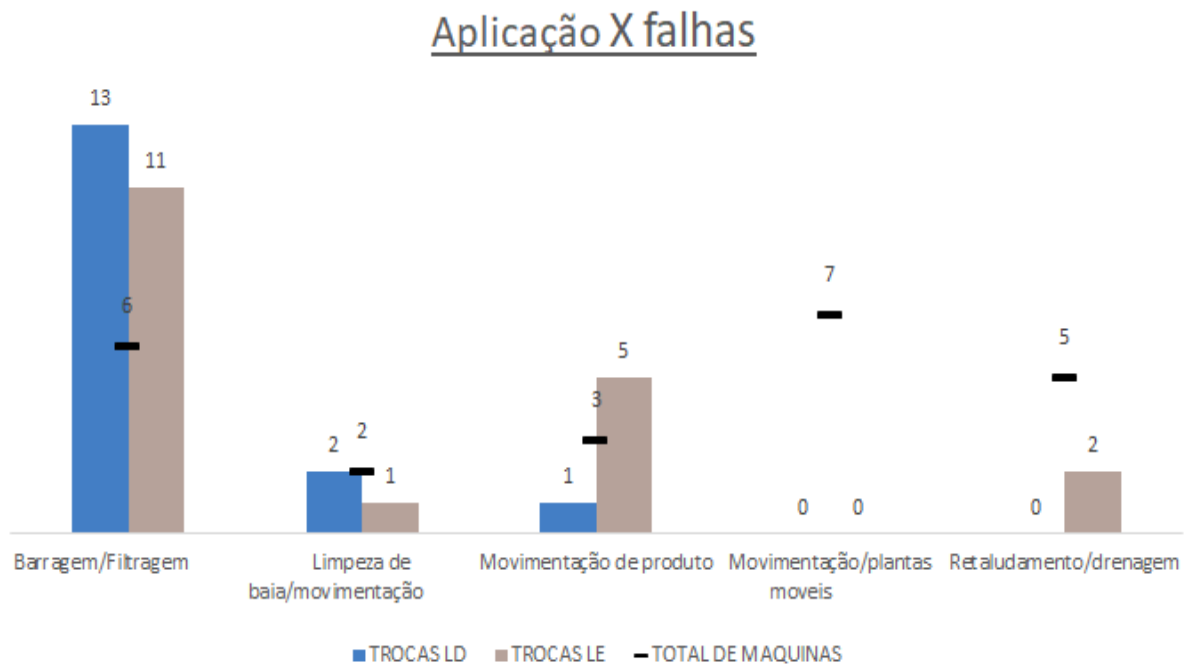
Gráfico 2-Horímetro base de falha



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Relacionado às quebras com o local de aplicação dos equipamentos vemos que a frente de operação das máquinas, é um item que é considerável para as quebras dos componentes de acordo com o gráfico abaixo.

Gráfico 3-Local de aplicação dos equipamentos



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

4.4 Métodos para o supervisionamento

Com a extensa diversidade de possíveis motivos das falhas dos comandos, foram elaboradas algumas tratativas para analisar e acompanhar o funcionamento dos comandos dos equipamentos com intuito de buscar as causas das falhas e eliminar quebras, evitando danos maiores.

É possível coletar informações dos componentes para o acompanhamento através de:

- Coleta e análise de óleo;
- Análise termográfica;
- Inspeção sensitiva;
- Avaliação do comando final.

4.4.2 Análise de óleo

A análise de óleo é um dos itens principais para avaliar e acompanhar a situação dos componentes trazendo informações valiosas como contaminação e desgaste das peças internas do componente, identificando o início de uma falha ou até mesmo uma situação já mais grave, sinalizando a necessidade de reparos ou até mesmo a substituição. As coletas de amostra de óleo são feitas periodicamente pelos lubrificadores de cada componente, e o material é encaminhado para o laboratório, onde é feita as análises de diversas contaminações e partículas. Essa análise é realizada a cada 500 horas, mas caso seja necessário um acompanhamento mais detalhado, é realizado a cada 250hs.

Dividindo os equipamentos de acordo com sua área, devido aos diferentes números de ocorrência, como é mostrado no Gráfico 3. Foi levantado os dados de 4 laudos de análises de óleo de cada equipamento, de cada área específica com frentes de trabalhos diferentes.

Quadro 3-Análise de óleo dos equipamentos

TAG	APLICAÇÃO	HORIMETRO DA MAQUINA	DATA FALHA LD	HORIMETRO DA FALHA LD	1	2	3	4	DATA FALHA LE	HORIMETRO DA FALHA LE	1	2	3	4
ES3510	Barragem/Filtragem	9379	03/06/2020 04/06/2021	3650 7414	⊗	⊗	⊗	⊗	03/06/2020 04/06/2021	3650 7414	⊗	⊗	⊗	⊗
ES3511	Barragem/Filtragem	10015	03/06/2020 23/02/2021	4045 7160	⊗	⊗	⊗	⊗	08/05/2020 23/02/2021	3950 7160	⊗	⊗	⊗	⊗
ES3512	Barragem/Filtragem	8990	03/06/2020 19/05/2021	3049 7469	⊙	⊙	⊙	⊗	03/06/2020 19/05/2021	3049 7469	⊙	⊙	⊙	⊗
ES3513	Barragem/Filtragem	9664	12/06/2020 22/09/2021 28/12/2021	4336 8905 9664	⊗	⊙	⊗	⊗	12/06/2020	4336	⊗	⊙	⊙	⊙
ES3515	Barragem/Filtragem	9417	10/06/2020 17/09/2021	3870 8380	⊗	⊗	⊗	⊗	10/06/2020 03/12/2021	3870 9321	⊗	⊗	⊗	⊗
ES3526	Barragem/Filtragem	7842	28/08/2020 12/08/2021	3216 6623	⊙	⊙	⊗	⊗	28/08/2020 12/08/2021	3216 6623	⊗	⊙	⊙	⊙

⊗	CRITICO
⊙	MONITORAR
⊙	NORMAL
1	MENOS RECENTE
4	MAIS RECENTE

Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

A operação da barragem/filtragem tem o maior número de quebras, havendo 24 comandos substituídos entre 6 equipamentos. Podemos analisar no gráfico acima que a maior parte dos comandos está em estado crítico e todos que estão nesta condição apresentaram contaminação por ferro, sílica e água.

Quadro 4-Análises de óleo dos equipamentos

TAG	APLICAÇÃO	HORIMETRO DA MAQUINA	% DE DESLOCAMENTO	QNT TR LD	DATA FALHA LD	HORIMETRO DA FALHA LD	1	2	3	4	DATA FALHA LE	HORIMETRO DA FALHA LE	1	2	3	4
ES3504	Movimentação/plantas moveis	9681	6%	0	-	NA	1	2	3	4	-	NA	1	2	3	4
ES3505	Movimentação/plantas moveis	10592	5%	0	-	NA	1	2	3	4	-	NA	1	2	3	4
ES3506	Movimentação/plantas moveis	9218	7%	0	-	NA	1	2	3	4	-	NA	1	2	3	4
ES3518	Movimentação/plantas moveis	9736	6%	0	-	NA	1	2	3	4	-	NA	1	2	3	4
ES3520	Movimentação/plantas moveis	8777	6%	0	-	NA	1	2	3	4	-	NA	1	2	3	4
ES3522	Movimentação/plantas moveis	9432	7%	0	-	NA	1	2	3	4	-	NA	1	2	3	4
ES3523	Movimentação/plantas moveis	10154	7%	0	-	NA	1	2	3	4	-	NA	1	2	3	4

Aplicação	Média de horímetro
Movimentação/plantas moveis	9500

Aplicação	Média de deslocamento
Movimentação/plantas moveis	6%

CRITICO	
MONITORAR	
NORMAL	
1 MENOS RECENTE	
4 MAIS RECENTE	

Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Na unidade de movimentação/plantas móveis toda a frota com comandos originais, e sem apresentar contaminação nos laudos de análises de óleo, e também podendo observar que o deslocamento médio é consideravelmente baixo.

Quadro 5-Análises de óleo dos equipamentos

TAG	APLICAÇÃO	HORIMETRO DA MAQUINA	% DE DESLOCAMENTO	QNT TR LD	DATA FALHA LD	HORIMETRO DA FALHA LD	1	2	3	4	DATA FALHA LE	HORIMETRO DA FALHA LE	1	2	3	4
ES3507	Retaludamento/drenagem	6943	16%	0	NA	NA	1	2	3	4	NA	NA	1	2	3	4
ES3508	Retaludamento/drenagem	5832	16%	0	NA	NA	1	2	3	4	NA	NA	1	2	3	4
ES3509	Retaludamento/drenagem	6668	16%	0	NA	NA	1	2	3	4	04/02/2021	3918	1	2	3	4
ES3516	Retaludamento/drenagem	4689	17%	0	NA	NA	1	2	3	4	NA	NA	1	2	3	4
ES3521	Retaludamento/drenagem	6359	16%	0	NA	NA	1	2	3	4	19/03/2020	1026	1	2	3	4

CRITICO	
MONITORAR	
NORMAL	
1 MENOS RECENTE	
4 MAIS RECENTE	

Aplicação	Média de deslocamento
Retaludamento/drenagem	16%

Aplicação	Média de horímetro
Retaludamento/drenagem	6000

Aplicação	Média de horímetro das falhas
Retaludamento/drenagem	2500

Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Como podemos observar no gráfico, nesta operação encontramos um maior percentual de deslocamento de toda a frota, e com a análise de óleo apresentando contaminantes nas maiorias dos casos pontando contaminação por sílica e ferro, diferente da barragem que a maioria apresenta contaminação por água.

Quadro 6-Análises de óleo dos equipamentos

TAG	APLICAÇÃO	HORIMETRO DA MAQUINA	% DE DESLOCAMENTO	QNT TR LD	DATA FALHA LD	HORIMETRO DA FALHA LE	1	2	3	4	DATA FALHA LE	HORIMETRO DA FALHA IE	1	2	3	4
ES3524	Limpeza de baia/movimentação	6763	12%	1	29/06/2021	5360	🔴	🟡	🟡	🔴	29/06/2021	5360	🔴	🟡	🟡	🟢
ES3525	Limpeza de baia/movimentação	6522	10%	1	27/05/2021	5140	🟡	🟡	🟡	🟡	-	NA	🟡	🔴	🟢	🟢

🔴	CRITICO
🟡	MONITORAR
🟢	NORMAL
1	MENOS RECENTE
4	MAIS RECENTE

Aplicação	Média de deslocamento
Limpeza de baia/movimentação	11%

Aplicação	Média de horimetro
Limpeza de baia/movimentação	6500

Aplicação	Média de horimetro das falhas
Limpeza de baia/movimentação	5000

Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Os equipamentos de limpeza de baias e movimentação, que trabalham duas máquinas que tiveram duas quebras com uma média de 5.200 horas. Sendo necessária a substituição do terceiro comando devido ao histórico apresentado.

Quadro 7-Análises de óleo dos equipamentos

TAG	APLICAÇÃO	HORIMETRO DA MAQUINA	% DE DESLOCAMENTO	QNT TR LD	DATA FALHA LD	HORIMETRO DA FALHA LE	1	2	3	4	DATA FALHA LE	HORIMETRO DA FALHA IE	1	2	3	4
ES3514	Movimentação de produto	7721	12%	0	-	NA	🔴	🟡	🟢	🟢	13/04/2020 28/01/2021	2945 4531	🔴	🟢	🟡	🔴
ES3517	Movimentação de produto	8051	12%	0	-	NA	🟢	🟢	🟢	🟢	30/05/2021	5980	🟡	🟡	🟢	🔴
ES3519	Movimentação de produto	8307	12%	1	12/06/2021	6484	🟢	🟢	🟢	🟢	14/12/2020 12/06/2021	4640 6484	🟢	🟢	🟢	🟢

🔴	CRITICO
🟡	MONITORAR
🟢	NORMAL
1	MENOS RECENTE
4	MAIS RECENTE

Aplicação	Média de deslocamento
Movimentação de produto	12%

Aplicação	Média de horimetro
Movimentação de produto	8000

Aplicação	Média de horimetro das falhas
Movimentação de produto	5000

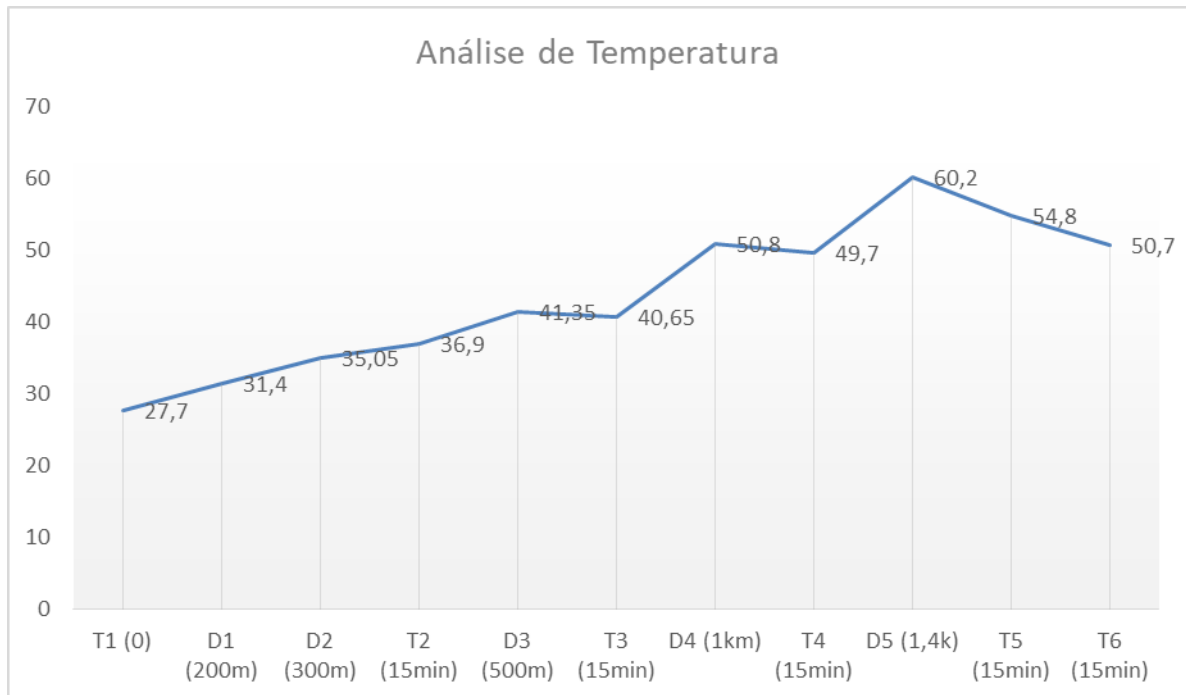
Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Os três equipamentos que atuam na movimentação de produto houve quebra com uma média de 5.000 horas e com uma média de deslocamento alta.

4.4.3 Análise Termográfica

O fator temperatura de trabalho do comando final é um item importante a ser acompanhado, pois é possível identificar algumas anormalidades devido à alta temperatura. Para isso, foi acompanhado o deslocamento de uma escavadeira, onde se locomóvel uma média de 3,4 km num tempo de 1 hora e 10 min, com uma temperatura ambiente de 22°C.

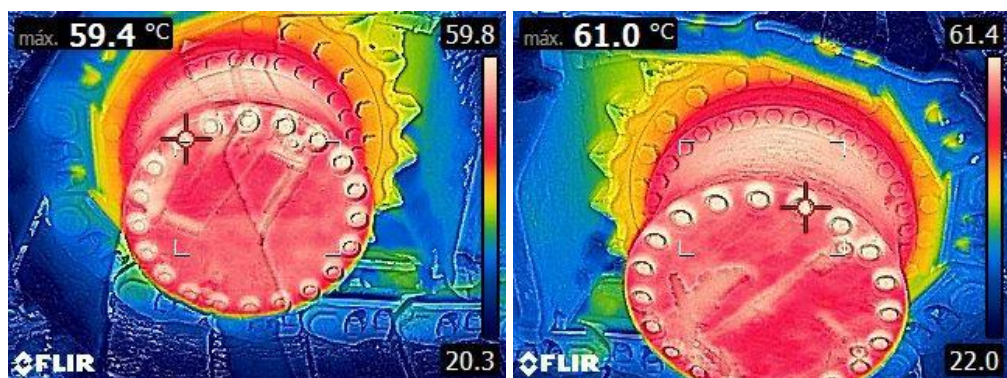
Gráfico 4-Análise de temperatura



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

A temperatura do comando final deve ser mantida abaixo de 50°C, que é a temperatura máxima que o óleo (SAE 85W140) mantém sua viscosidade dentro dos padrões recomendados pelo fabricante. Mas podemos ver claramente que é excedida a temperatura recomendada.

Figura 10– Análise termográfica do comando final



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

4.4.4 Avaliação do comando final

Após a detecção de contaminantes como ferro, alumínio, silício e água, em comandos das escavadeiras, foram realizadas avaliações a fim de encontrar informações importantes sobre as falhas, inspecionado todos os componentes internos, buscando melhores detalhes.

As avaliações foram feitas na oficina após a limpeza do equipamento, a desmontagem do componente foi realizada pela equipe especializada do fornecedor e mineradora com acompanhamento da engenharia. Toda atividade de desmontagem e montagem dos componentes foi executada conforme o procedimento descrito pelo fabricante, evitando danos ao componente.

Figura 11-Planetária comando final



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Conforme a desmontagem foi detectada algumas anormalidades, começando até mesmo pelo óleo com aspecto escuro e com odor forte (“óleo queimado”), encontrado desgastes nos semi-eixos e encontrado desgastes nos rolamentos dos primeiros conjuntos de planetárias.

Figura 12-Drenagem do óleo



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

De acordo com as figuras acima, ao realizar a drenagem do óleo foi detectado um óleo com cor escura e com odor forte de queimado, característico de ter sido submetido à alta temperatura durante o deslocamento.

Figura 13-Semi eixo



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Como podemos ver na Figura acima, o semi-eixo do comando final apresentando desgaste nas estrias.

4.5 Análise

No processo de análise dos dados coletados foram investigados e dialogados juntamente com a equipe especializada e a engenharia com intuito de identificar as falhas causadoras das anormalidades encontradas durante o processo.

Com esse processo foi possível identificar dois fatores que há uma ligação nos sintomas apresentados na coleta de dados, e durante os estudos foi possível sinalizar as prováveis causas das falhas dos comandos finais.

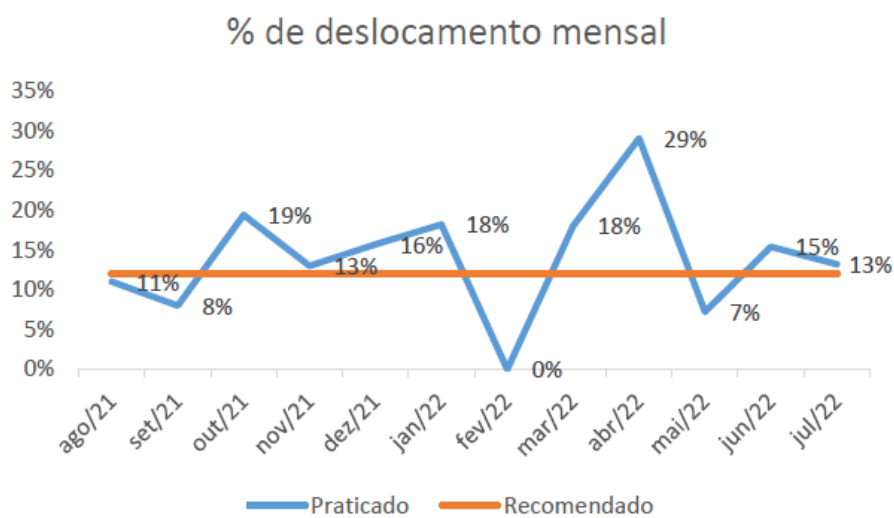
4.5.1 Vedação do comando final

Devido o maior número de falhas em equipamentos que trabalha com os comandos finais na maior parte do tempo submerso em um material com uma granulometria fina e umidade, que são na área da barragem e filtragem. Encontram-se laudos com contaminação principalmente por água, apontando a ineficiência da vedação dos comandos principalmente neste tipo de cenário.

4.5.2 Deslocamento do equipamento

Após a instalação dos comandos finais em uma das escavadeiras, houve um acompanhamento deste equipamento no período de agosto de 2021 a julho 2022, para analisar o modo de operação destes equipamentos, utilizando uma ferramenta conhecida como JDLink que monitora todos os equipamentos John Deere em tempo real.

Gráfico 5-Análise de deslocamento



Fonte: Dados de Pesquisa (2022)

Na análise foi possível notar que o perfil de deslocamento está superior ao recomendável, que é a máxima de 12% da operação. O principal ponto que contribui significativamente para a redução da vida útil e desgaste acentuado é do deslocamento agressivo (longo e contínuo), visto em vários deslocamentos neste período, como mostra o gráfico acima.

4.6 Planos de ação

Em meio processo de análise foi possível detectar os principais pontos de falhas, apontando os pontos a serem aplicadas melhorias.

Devido os componentes estarem em garantia, todo o processo foi realizado em conjunto com a prestadora de serviço da John Deere, sendo passados todos os dados para a fornecedora. O John Deere realizou a tentativa de alterar o projeto do comando para melhor atendimento nesse tipo de solo.

Na parte operacional, com a intenção de evitar danos ou quebra nos comandos finais, foi realizado orientações relacionadas ao modo correto de deslocamento, recomendado realizar algumas intervenções durante a movimentação do equipamento com estimulação de tempo para

deslocamento e pausa, evitando o modo de deslocamento agressivo da máquina. E evitar deslocamento de longas distância continua solicitando apoio de prancha para a movimentação dos equipamentos.

Caso ocorram intervenções de contaminação na análise de óleo, realizar flush, que é o processo de remover todo material contaminado do comando. Avaliar componentes interna avaliando existência de peças com desgaste, para realização da substituição, com a intenção prevenir o desgaste de outros componentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho em questão teve como principal objetivo de reduzir ou até mesmo eliminar quebras prematuras de comandos finais de escavadeiras John Deere 350G, com intuito de minimizar danos ao equipamento, automaticamente evitando gastos com materiais, e paradas dos equipamentos impactando na produção.

Baseado nas informações analisadas durante a pesquisa foi possível verificar sintomas das quebras dos comandos finais. E também mostra a importância do acompanhamento da manutenção de cada equipamento e principalmente o armazenamento histórico de todas as manutenções, havendo a possibilidade de analisar casos passados, com os atuais, trazendo um resultado mais eficaz.

Com o desenvolvimento desta análise, houve um resultado significativo na redução de falhas nos componentes, resultando em menos equipamentos parados não impactando na produção, menos gastos com material, menos exposição dos colaboradores aos riscos em atividade.

REFERÊNCIAS

ABNT (1994), Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade, Rio de Janeiro.

Componentes da Caixa de Engrenagens do Motor de Deslocamento. Disponível e: <<https://partscatalog.deere.com/jdrc/navigation/equipment/59746/srch/9281842/level/3/snp/Nzc1MTg6Q0hBUFRFUlsxMDIyOiNCVVNJTkVTU19SRUdJT04sNTQzOiNDQVRBTE9HLDU5NzQ2OkVRVUlQTUVOVc1MDA2OkNIQVBURVJd>> Acesso em 22/05/2022

JOHN DEERE. **250G LC Escavadeira Hidráulica** 2022. Disponível em: <<https://versatilrental.com.br/wp-content/uploads/2020/01/9-Escavadeira-john-deere-25-toneladas-250G-LC.pdf>> Acesso em 24/05/2022

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

JOHN DEERE. **350G LC: Escavadeira Hidráulica**. 2022. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/escavadeiras-hidr%C3%A1ulicas/350g-lc/>. Acessado em 12 de maio de 2022

HARDING, H. A. **Administração da produção**. São Paulo, Atlas, 1981.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro (2013).

MATHEUS, Lino. **Desenvolvimento de um software para análise e síntese de trens de engrenagens epicicloidais com aplicação em transmissões automáticas**. Disponível em: <https://docplayer.com.br/79930196-Universidade-de-sao-paulo-escola-de-engenharia-de-sao-carlos-matheus-vinicius-lino.html>. Acesso: 12 Maio de 2022.

Mineração. Disponível em: <<https://www.dnmp-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php#:~:text=De%20um%20modo%20gen%C3%A9rico%2C%20pode,ou%20ind%C3%BAstria%20de%20produtos%20minerais.>> Acesso em 24/05/2022

MOUBRAY, J. **RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE**. NEW YORK: INDUSTRIAL PRESS INC. 1992.

MOURA, E. S. **Técnicas e Sistemas de Gerenciamento da manutenção**, Belo Horizonte: Metaconsultoria Empresarial e Treinamento Ltda, 1990.

ROCHA, V. M. (2013). **Aplicação da Manutenção Preditiva para otimizar o uso dos Caminhões fora de estrada**. Conselheiro Lafaiete: Faculdade Presidente Antônio Carlos.

SARA, Correia. **As máquinas possibilitam a construção**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/59297558-As-maquinas-possibilitam-a-construcao.html>> Acesso: 26 de abril de 2022.