

# ANÁLISE DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO DE CAMINHÕES FORA-DE-ESTRADA MODELO 930E

## ANALYSIS OF MAINTENANCE INDICATORS FOR OFF-HIGHWAY TRUCKS MODEL 930E

## ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO PARA CAMIONES FUERA DE CARRETERA MODELO 930E

Romário de Brito Aragão<sup>1</sup>  
Fernando Nunes da Silva<sup>2</sup>

**Resumo:** A manutenção preventiva é essencial pois melhora a disponibilidade física dos caminhões, reduz o tempo de inatividade e prolonga sua vida útil. O artigo tem como objetivo analisar os indicadores de manutenção dos equipamentos em uma mineradora no sudeste paraense. Para isso, utilizou-se uma análise qualitativa dos resultados dos indicadores de MTBF, Disponibilidade e MTTR e do perfil de perdas. Observa-se que eles entregaram uma Disponibilidade de 73%, acima do orçado para a frota; o MTBF de 29 horas, abaixo das 39 horas orçadas e o MTTR de 4h, dentro da meta de até 5h. Conclui-se que apesar de oscilações frequentes nos indicadores, verifica-se que é uma frota que entrega resultados satisfatórios em seus objetivos.

**Palavras-chave:** Indicadores de desempenho. Disponibilidade. MTBF.

**Abstract:** Preventive maintenance is essential as it improves the physical availability of trucks, reduces downtime, and prolongs their lifespan. This article aims to analyze the maintenance indicators of equipment in a mining company in southeastern Pará. For this purpose, a qualitative analysis of the results of the MTBF, Availability, and MTTR indicators and the loss profile was conducted. It was observed that they delivered an Availability of 73%, above the budgeted figure for the fleet; an MTBF of 29 hours, below the budgeted 39 hours; and an MTTR of 4 hours, within the target of up to 5 hours. It is concluded that despite frequent fluctuations in the indicators, the fleet delivers satisfactory results in its objectives.

**Keywords:** Performance Indicators. Availability. MBTF.

**Resumen:** El mantenimiento preventivo es esencial ya que mejora la disponibilidad física de los camiones, reduce el tiempo de inactividad y prolonga su vida útil. Este artículo analiza los indicadores de mantenimiento de equipos en una minera en el sureste de Pará. Se realizó un análisis cualitativo de los resultados de los indicadores MTBF, Disponibilidad y MTTR, y del perfil de pérdidas. Se observó una Disponibilidad del 73%, por encima de lo presupuestado para la flota; un MTBF de 29 horas, por debajo de las 39 horas presupuestadas; y un MTTR de 4 horas, dentro del objetivo de hasta 5 horas. A pesar de las frecuentes fluctuaciones en los indicadores, se concluye que la flota entrega resultados satisfactorios.

**Palabras-clave:** Indicadores de desempeño. Disponibilidad. MBTF

Submetido XX/XX/2024

Aceito XX/XX/202X

Publicado XX/XX/202X

### Considerações Iniciais

A mineração é uma atividade essencial que sustenta a base da civilização moderna, ela é responsável pela extração de minerais que são fundamentais para a produção de uma ampla

---

<sup>1</sup> Graduando em engenharia mecânica. Universidade Federal do Pará. <https://orcid.org/0009-0003-8617-0667>. E-mail: rbaragao@outlook.com

<sup>2</sup> Doutor em engenharia mecânica. Universidade Federal do Pará. <https://orcid.org/0000-0003-1378-8864>. E-mail: nunesdasilvaf@ufpa.br

gama de produtos, desde joias até componentes eletrônicos (Hilson; Mcquilken, 2014). Contudo, sua importância estende-se além da extração de minerais; ela é um pilar econômico que contribui significativamente para o PIB de muitos países, gera empregos, promove o desenvolvimento regional e a transição energética, fornecendo os materiais necessários para tecnologias renováveis e de baixo carbono (Cabral Junior *et al.*, 2008; Gonçalves, 2021).

A mineração de cobre, em particular, desempenha um papel crucial na indústria moderna. O cobre é um metal versátil com excelentes propriedades condutoras, tornando-o indispensável para a fabricação de fios elétricos e componentes eletrônicos (Northey *et al.*, 2014). Além disso, o cobre tem um papel fundamental na transição energética global, sendo um elemento chave para a eficiência energética e para o uso de fontes de energias renováveis e limpas, como a solar e a eólica (Ministério de Minas e Energia, 2023).

Os principais países produtores de cobre são o Chile, Peru, China, Estados Unidos e Austrália (Silva, 2011). As minas de produção de minério de cobre no Brasil ocorrem apenas nos Estados do Pará, Goiás, Bahia e Alagoas, segundo a edição mais recente do Anuário Mineral Brasileiro (edição de 2022, referentes aos dados consolidados do ano de 2021) publicado pela Agência Nacional de Mineração.

O cobre é predominantemente extraído de minérios como a calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), que é o minério mais comum e economicamente viável para a produção de cobre. Outros minérios incluem a calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) e malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ), que são explorados dependendo da localização e do tipo de depósito mineral (Silva; Victor, 2019).

A mineração de cobre pode ser realizada tanto em minas a céu aberto quanto em minas subterrâneas. A escolha do método de mineração é influenciada pela profundidade do depósito, as características geológicas e os aspectos econômicos. As minas a céu aberto são preferidas para depósitos superficiais, enquanto as minas subterrâneas são empregadas para depósitos mais profundos (Nunes, 2022).

De acordo com Samanta e Sarkar (2018), após a extração, os minerais são transportados para instalações de beneficiamento, onde são transformados em produtos utilizáveis. É nesse transporte que os caminhões fora-de-estrada desempenham um papel crucial, pois são projetados para movimentar grandes quantidades de material bruto mesmo em terrenos difíceis de operar. Como são caminhões complexos, para manter a continuidade das operações de mineração com eficiência e segurança é essencial ter um planejamento de manutenção.

A eficiência e a eficácia desses caminhões têm um impacto direto na produtividade da mina. Quando estão em bom funcionamento, permitem que a mina opere de maneira eficiente,

com o minério sendo transportado de maneira rápida e segura. No entanto, problemas com os caminhões, como avarias ou questões de manutenção, podem levar a atrasos na produção e aumentar os custos operacionais. Além disso, a manutenção inadequada desses veículos pode resultar em riscos de segurança (Samanta; Sarkar, 2018).

Nesse contexto, a manutenção preventiva surge como uma estratégia essencial. Ela visa melhorar a disponibilidade física dos caminhões, reduzir o tempo de inatividade e prolongar a vida útil dos equipamentos (Silva *et al.*, 2023). Estudos indicam que a manutenção preventiva pode reduzir o tempo de inatividade em 30-50%, diminuir os custos de manutenção em 5-10% e diminuir as falhas de equipamentos em 70-75% (Ali, 2024). Essas mudanças podem levar a ganhos significativos de produtividade e lucro.

Além disso, uma boa manutenção de caminhões de mineração não só aumenta a vida útil do caminhão, como também pode tornar o caminhão mais eficiente, economizando dinheiro em combustível, reduzindo o risco de uma manutenção não programada e aumentando a produtividade da mineração, segundo a IMI (2024).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar os indicadores de manutenção de caminhões fora-de-estrada, modelo 930E, em uso numa mina de cobre no sudeste paraense. Sendo este, desenvolvido através de uma pesquisa qualitativa, que abordará os indicadores de manutenção: MTBF (*Mean Time between Failures* – Tempo Médio entre Falhas) dos equipamentos móveis (Arruda *et al.*, 2017), DF (disponibilidade física) e MTTR (*Mean time to repair* – Tempo médio de reparo), além de observar o perfil de perdas da frota (Ramos, 2020).

## **Metodologia**

Indicadores MTBF, MTTR e DF:

Este estudo seguiu uma abordagem descritiva, conforme sugerido por Gil (2002), para avaliar a eficácia do plano de manutenção preventiva em caminhões fora-de-estrada, modelo 930E, identificados como CA501, CA502, CA503 e CA504. A análise se concentrou no indicador MTBF, com uma meta estabelecida de 39 horas, correlacionando as estratégias de manutenção com a produtividade do equipamento juntamente dos outros dois indicadores.

O MTBF é uma métrica crucial na engenharia de confiabilidade e manutenção de sistemas. Ele representa a média do tempo entre falhas de um sistema ou componente, sendo uma medida da confiabilidade e previsibilidade de operação contínua de equipamentos e sistemas (Silva *et al.*, 2015).

Para calcular o MTBF, é necessário somar o tempo total de operação de um sistema ou componente e dividir pelo número de falhas ocorridas durante esse período. Um aumento no MTBF após uma ação preventiva sugere uma melhoria na qualidade do processo, resultando em um produto mais confiável. Sendo este obtido pela Equação 1.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total operacional}}{\text{N}^\circ \text{ de Falhas}} \quad (1)$$

Ele é um indicador da confiabilidade de um sistema, enquanto o MTTR indica a eficiência das ações corretivas. O MTTR é obtido através da Equação 2.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de manutenção}}{\text{Número de reparos}} \quad (2)$$

No MTTR, um resultado menor indica maior produtividade e disponibilidade dos sistemas e equipamentos. Um baixo MTTR significa que a equipe tem um tempo de resposta rápido para resolver os problemas, o que reflete um alto nível de eficiência (Silva, 2018; Ramos, 2020).

A disponibilidade física de um recurso é a proporção entre o tempo em que ele está efetivamente disponível e o tempo total previsto para sua operação (Silva, 2019). Para calcular esse índice, relacionamos as horas calendário (HC) a qual se referem ao total de horas disponíveis no período analisado e as Horas em Manutenção (HM) a qual englobam todas as razões nas quais o caminhão esteve parado como por exemplo: manutenções preventivas sistemáticas, não sistemáticas e corretivas, conforme a Equação 3.

$$\text{Disponibilidade física} = \frac{HC-HM}{HC} * 100 \quad (3)$$

Perfil de Perdas:

Segundo Ramos (2020), o Perfil de Perdas é elaborado para priorizar os recursos de manutenção, estratificando as perdas do processo produtivo por meio do Gráfico de Pareto. Além de priorizar recursos de manutenção, o perfil de perdas também ajuda a identificar oportunidades de melhoria. Para elaborá-lo, é crucial definir a natureza das perdas a serem tratadas, como a quantidade de falhas e a indisponibilidade física dos ativos. No caso dessas duas naturezas, é possível identificar o perfil das paradas ocorridas, os tipos de paradas mais frequentes e aqueles responsáveis pelo maior tempo de parada (Ferreira, 2021).

Fontes e Coleta de Dados (Análise Qualitativa dos Dados Obtidos):

As informações foram coletadas de duas formas: dados secundários, obtidos através dos planos de manutenção dos equipamentos e registros históricos da empresa, e dados primários, coletados do banco de dados da responsável pelos equipamentos, e da *dashboard* disponibilizada para seu time de engenharia e manutenção (Ferreira, 2021). Esta combinação de fontes é recomendada por Marconi e Lakatos (2003), pois enriquece a análise e contribui para a robustez dos resultados.

O intervalo temporal selecionado para a coleta de dados estende-se de 1 de janeiro de 2024 a 30 de junho de 2024, ou seja, um intervalo de seis meses. Este período foi escolhido por representar um ciclo completo de operações e manutenção, permitindo uma avaliação abrangente do desempenho dos caminhões, conforme apontado por Richardson (1999).

A pesquisa adotou uma metodologia qualitativa, que, segundo Bogdan e Biklen (1994) *apud* Cerveiro e Sellitto (2015), é adequada para estudos que buscam compreender aspectos não quantificáveis de fenômenos complexos, como a eficácia de planos de manutenção. Esta abordagem permitiu uma análise geral das paradas para manutenção dos equipamentos e do perfil de perdas associado.

Foram usadas todas as paradas para manutenção dos equipamentos: as manutenções preventivas sistemáticas, as quais são planejadas pelo setor de Planejamento e Controle de Manutenção e executadas conforme o planejamento adequado e são feitas a cada 500h, 1000h, 2500h e 5000h conforme horímetro dos equipamentos; manutenções preventivas não sistemáticas, onde se inclui inspeções trocas de componentes, rota de lubrificação; e manutenções corretivas que são efetuadas pela equipe de execução.

Além disso, classificou-se as falhas, assim traçando um perfil de perdas para maior detalhamento das falhas e, após isso, foi verificado se os equipamentos atingiram a meta de MTBF e Disponibilidade Física e, conseqüentemente, comprovando a confiabilidade dos equipamentos e a correta execução dos planos e estratégias de manutenção definidos, seguindo as orientações de Yin (2001); Cerveiro e Sellitto (2015).

## Resultados e Discussões

### Equipamento CA501:

A fim de verificar a eficácia das estratégias de manutenção dos equipamentos, a análise dos indicadores mostrará como foi o desempenho dos caminhões nos períodos citados, que compreende um intervalo de seis meses. No período de análise dos dados o CA501 teve o total de seis manutenções preventivas com um total de 257 horas parado devido a este tipo de manutenção (Tabela 1).

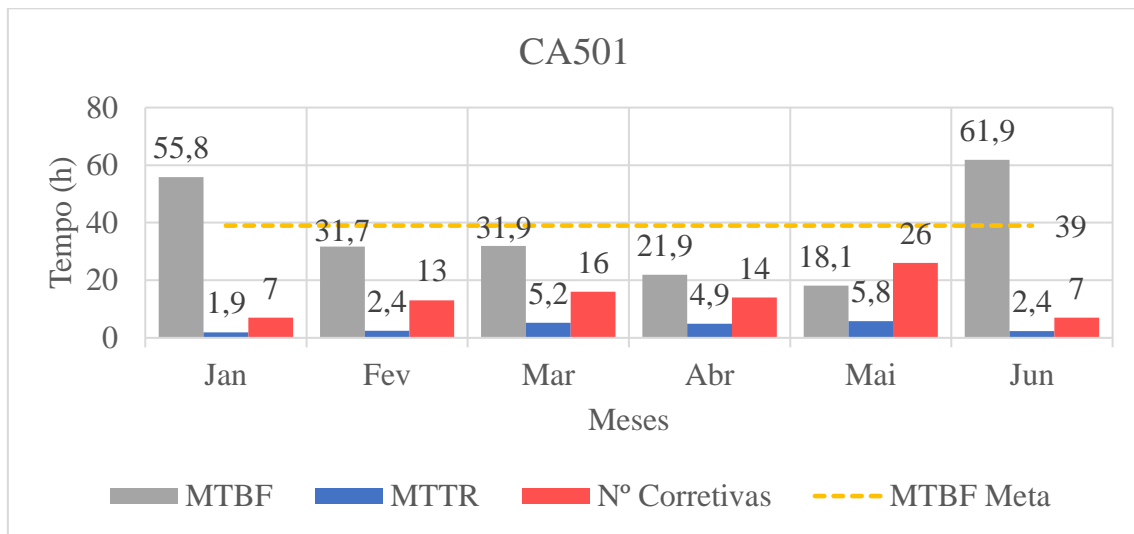
Tabela 1. Relação de paradas para manutenção preventiva do CA501

| <b>Data Hora Início</b> | <b>Data Hora Final</b> | <b>Tempo (h)</b> |
|-------------------------|------------------------|------------------|
| 08/01/2024 22:39:30     | 10/01/2024 03:05:42    | 28               |
| 22/01/2024 17:04:00     | 23/01/2024 23:53:35    | 31               |
| 23/02/2024 13:23:48     | 29/02/2024 4:35:30     | 135              |
| 31/03/2024 11:43:04     | 01/04/2024 6:19:10     | 19               |
| 29/04/2024 04:40:20     | 01/05/2024 00:51:10    | 44               |
| <b>Total</b>            |                        | <b>257</b>       |

Fonte: Próprio autor (2024)

Nota-se que nos meses de janeiro e junho (Gráfico 1), houve um resultado acima da meta (39 h) no MTBF, os números que seguem a coluna em vermelho, relaciona o número de paradas para manutenção corretiva do equipamento aos seus resultados de performance, como é visto no mês de maio, onde houve o maior número de paradas (26) e onde tivemos o pior resultado de MTBF (18,1 h) e MTTR (5,8 h), além de mostrar uma relação de diretamente proporcional entre o número de paradas e o MTTR. Gomes (2022) relata que um bom número de MTBF mostra um possível avanço na Disponibilidade. Nos demais meses, os resultados ficaram abaixo da meta para MTBF (fevereiro e março ficaram próximos da meta).

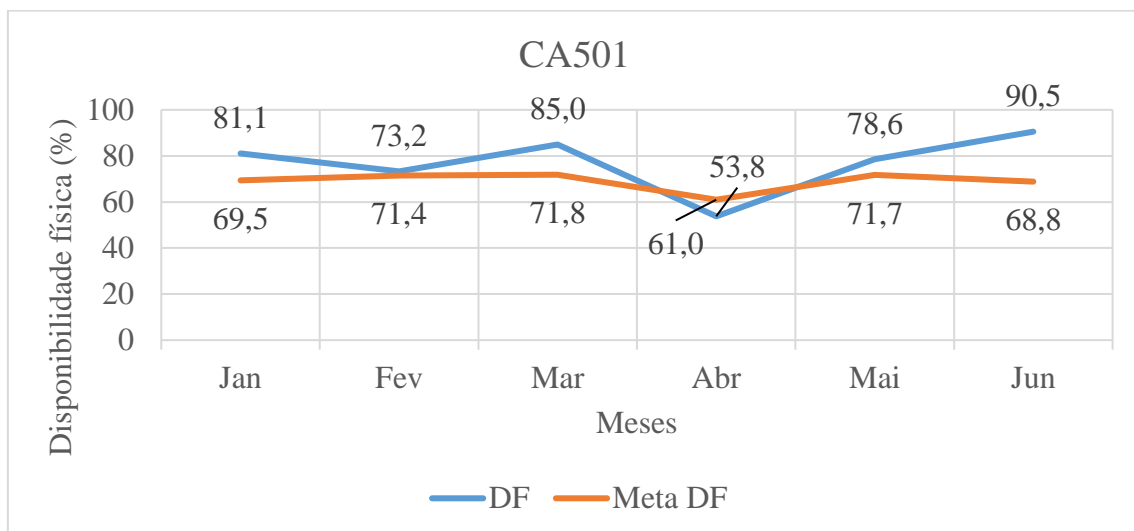
Gráfico 1. MTBF x MTTR



Fonte: Próprio autor (2024)

Analisando a disponibilidade do CA501, é possível observar que apenas o mês de abril não foi entregue um resultado acima da meta (Gráfico 2) e isso se deu devido a necessidade de troca da suspensão do equipamento. Vale destacar o mês de junho, onde se houve uma entrega de disponibilidade bem próxima do máximo de horas calendário (HC) conforme o Gráfico 3. Nos meses que o resultado foi acima de 80%, apenas o mês de março não entregou um resultado acima da meta de MTBF conforme o Gráfico 1.

Gráfico 2. Disponibilidade entregue x orçada.

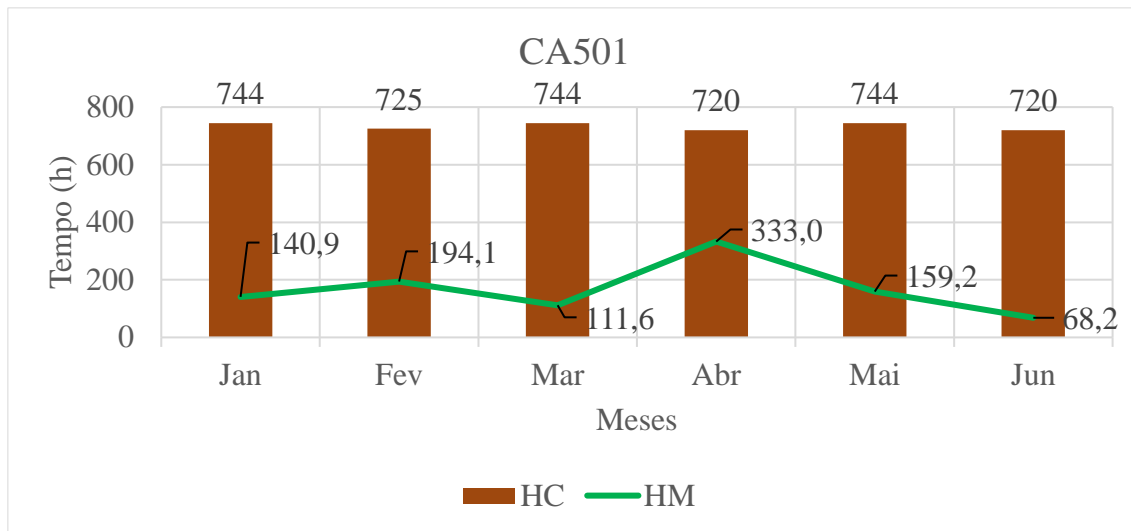


Fonte: Próprio autor (2024)

O Gráfico 3 confirma a relação direta com o Gráfico 2, onde nota-se que o menor fator entre HC e HM, foi onde a disponibilidade não foi entregue conforme orçado, e reafirma o

melhor resultado de disponibilidade entregue (junho) foi onde houve a maior discrepância entre as HC e as HM.

Gráfico 3. HC x HM



Fonte: Próprio autor (2024)

Equipamento CA502:

O equipamento CA502, no período de janeiro a julho de 2024, teve quatro manutenções preventivas, levando a um tempo total de parada de 324 horas (Tabela 2).

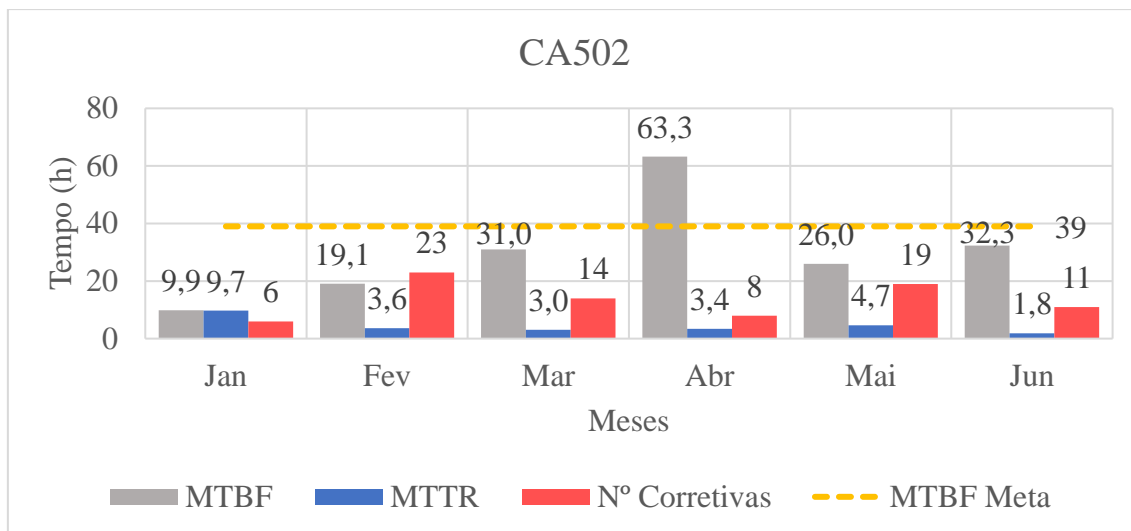
Tabela 2. Relação de paradas para manutenção preventiva do CA502

| Data Hora Início    | Data Hora Final     | Tempo (h)  |
|---------------------|---------------------|------------|
| 02/01/2024 18:21:42 | 04/01/2024 04:09:16 | 34         |
| 17/03/2024 17:29:00 | 19/03/2024 17:48:23 | 48         |
| 26/04/2024 04:04:13 | 27/04/2024 18:06:20 | 38         |
| 08/06/2024 03:38:53 | 16/06/2024 15:33:43 | 204        |
| <b>Total</b>        |                     | <b>324</b> |

Fonte: Próprio autor (2024)

Comparando o MTBF e MTTR dos meses de operação do CA502, o mês de janeiro teve um resultado bem abaixo do esperado (Gráfico 4), isso se justifica devido o equipamento ter precisado entrar em manutenção preventiva não sistemática para a troca do motor diesel, configuração das rodas motorizadas L/D e L/E, substituição do alternador principal e radiador, atividades que acabaram postergando para março a segunda parada para a manutenção preventiva do equipamento e diminuindo o número delas no período.

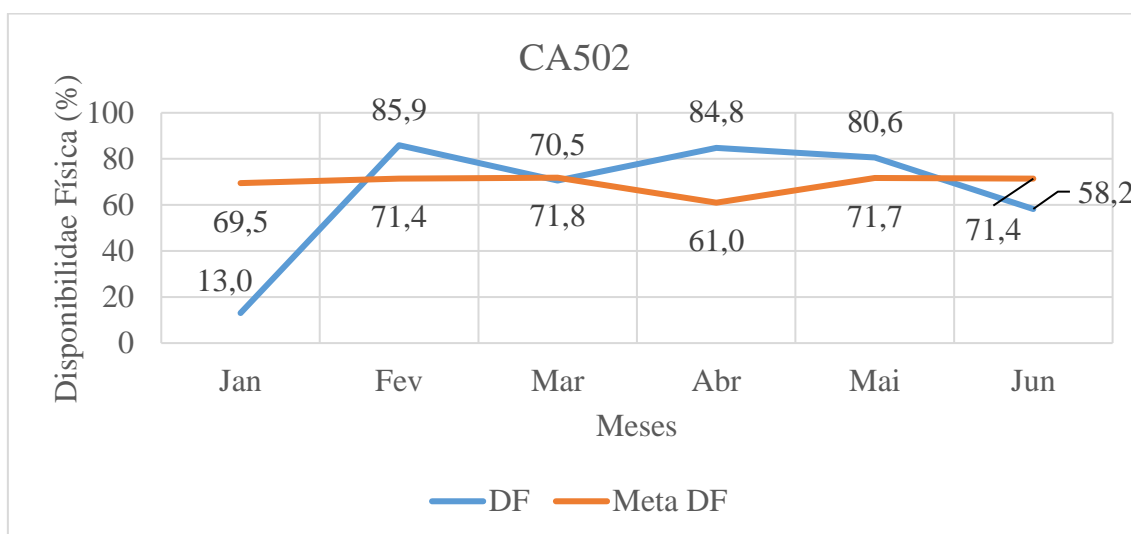
Gráfico 4. MTBF x MTTR



Fonte: Próprio autor (2024)

Essa manutenção preventiva não sistemática fez com que, além dos indicadores MTBF fossem muito aquém do esperado, a Disponibilidade também fosse severamente afetada, conforme o Gráfico 5, entregando apenas 13% do orçado para o mês de janeiro (de uma meta de 69,5%). Nos demais meses, os resultados foram próximos do esperado, ou até melhores como no mês de fevereiro, abril e maio, já em março e junho, não foi entregue uma boa performance. Os resultados de junho se justificam pela necessidade da troca da suspensão traseira L/E e cilindro de elevação L/E e devido o equipamento ter passado 204 h em manutenção preventiva como ilustrado na Tabela 2.

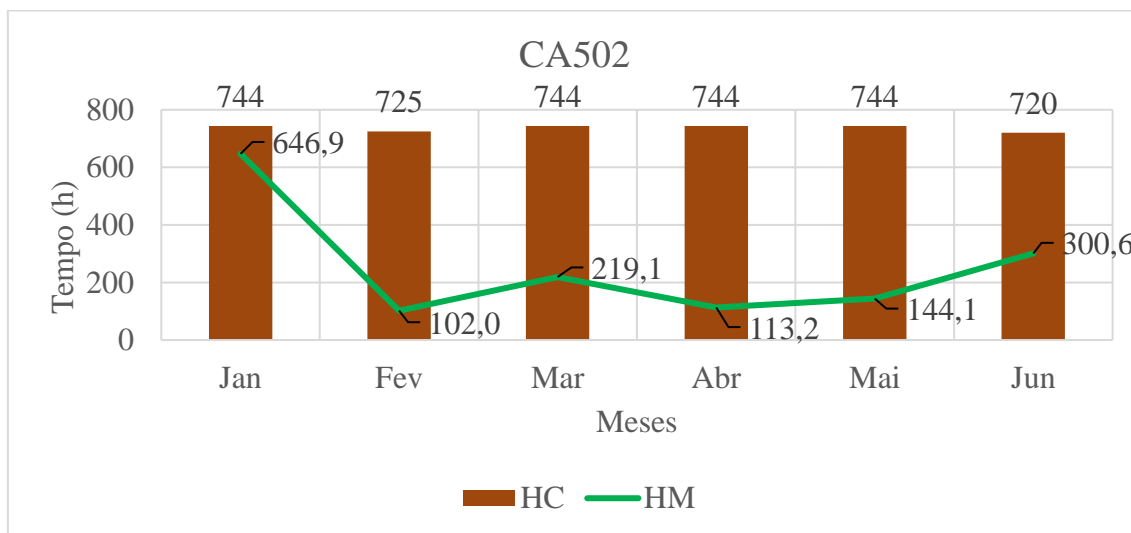
Gráfico 5. Disponibilidade entregue x orçada



Fonte: Próprio autor (2024)

A parada não sistemática em janeiro durou 544 h (HM) de 646,9 h (HM), como mostra o Gráfico 6, o que correspondeu a 84% do tempo total no qual o equipamento passou sem poder transportar minério de cobre, o que equivale a mais de 22 dias de equipamento parado. Oliveira (2023) mostra a importância de se ter componentes disponíveis para uma rápida troca e rápida devolução dos equipamentos para funcionamento.

Gráfico 6. HM x HC



Fonte: Próprio autor (2024)

Equipamento CA503:

O caminhão CA503, para o período de estudo, teve cinco paradas para manutenções preventivas, o que levou a um total de 265 horas de equipamento parado (Tabela 3).

Tabela 3. Relação de paradas para manutenção preventiva do CA503

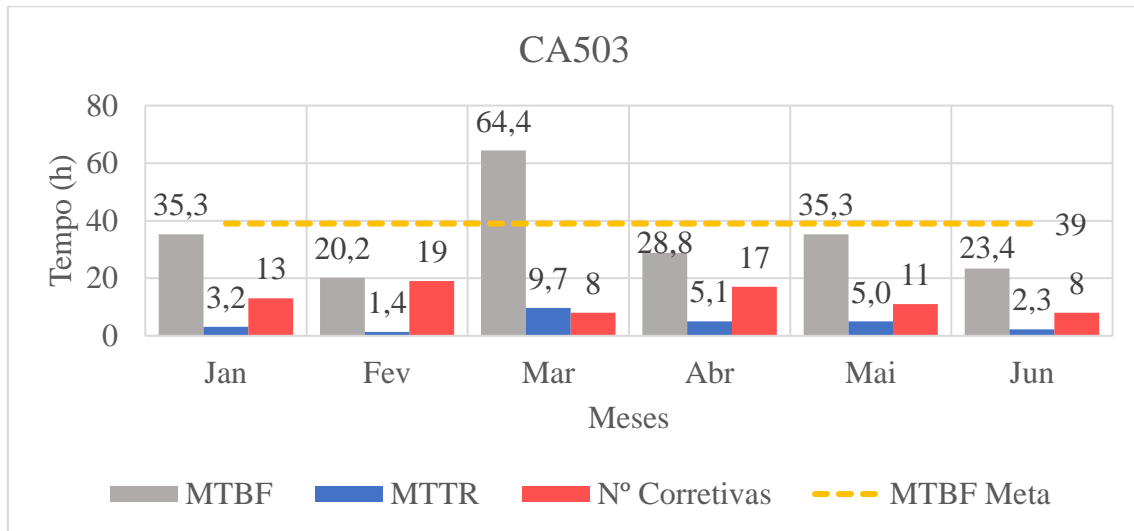
| Data Hora Início    | Data Hora Final     | Tempo (h)  |
|---------------------|---------------------|------------|
| 07/01/2024 11:35:22 | 09/01/2024 00:49:38 | 37         |
| 02/02/2024 22:24:00 | 06/02/2024 18:15:05 | 92         |
| 10/03/2024 17:55:10 | 12/03/2024 05:29:00 | 36         |
| 04/04/2024 20:35:21 | 06/04/2024 05:15:30 | 33         |
| 08/05/2024 08:04:33 | 11/05/2024 04:19:52 | 68         |
| <b>Total</b>        |                     | <b>265</b> |

Fonte: Próprio autor (2024)

O equipamento entregou resultados esperados de MTBF apenas no mês de março, onde teve um desempenho bem acima da meta, e nos meses de janeiro e maio o resultado, apesar de abaixo da meta, foi próximo do que se orçou para este caminhão (Gráfico 7). Nota-se também

que no mês de março, por mais que foram poucas paradas para manutenção corretiva, o MTTR não teve um bom resultado, o que mostra que a equipe levou mais tempo para retornar o equipamento à operação, mesmo que tenham sido poucas paradas, comparando com o mês de junho com a mesma quantidade, o tempo médio de reparo foi consideravelmente menor.

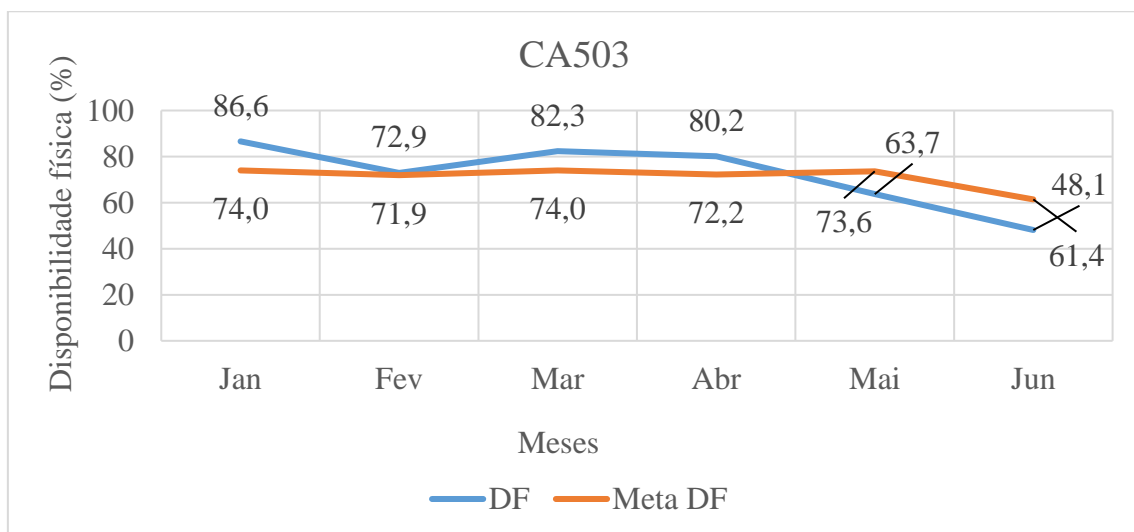
Gráfico 7. MTBF x MTTR



Fonte: Próprio autor (2024)

Apesar de não ter entregado um MTBF satisfatório, o caminhão CA503 entregou uma boa disponibilidade no semestre (Gráfico 8). Gomes (2018) também sugeriu que o MTBF não tem impacto direto na Disponibilidade, se mantendo acima da meta nos 4 primeiros meses.

Gráfico 8. Disponibilidade entregue x orçada

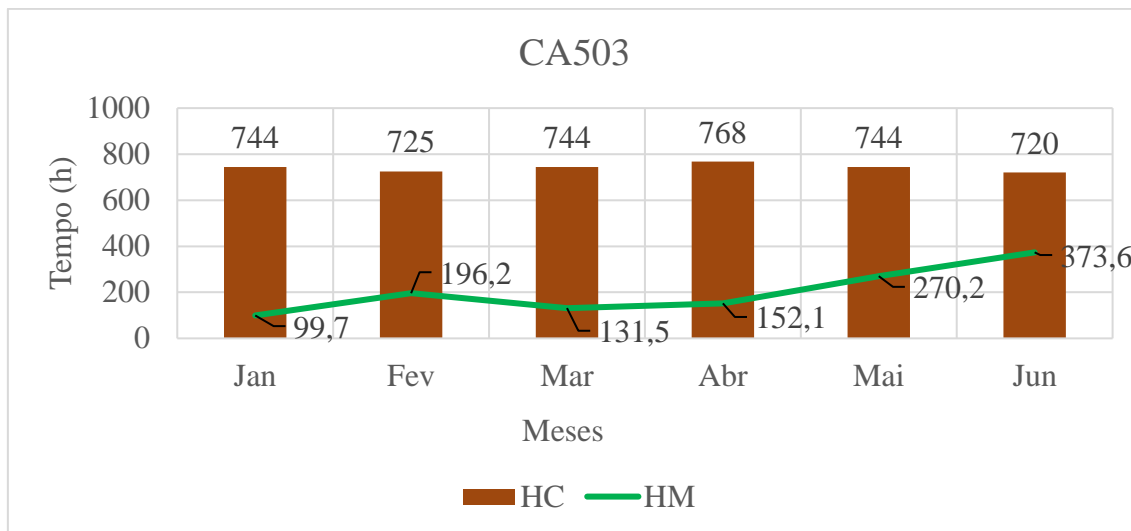


Fonte: Próprio autor (2024)

A disponibilidade, abaixo da meta, no mês de maio se justifica pela necessidade de troca do motor diesel do equipamento, que levou a um maior impacto no indicador. Em contrapartida, no mês de junho o impacto foi devido a troca dos resistores.

Tais fatos vão ser confirmados através do Gráfico 9 que evidência horas de manutenção bem mais elevadas para os dois últimos meses.

Gráfico 9. HM x HC



Fonte: Próprio autor (2024)

Equipamento CA504:

O equipamento teve as seguintes paradas para manutenção preventiva (Tabela 4).

Tabela 4. Relações de manutenções preventivas do CA504

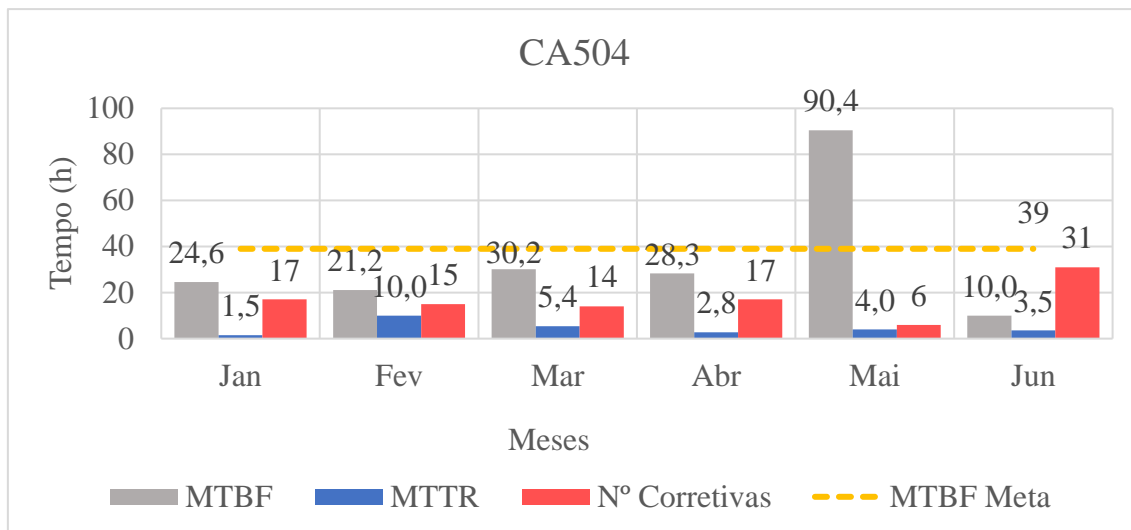
| Data Hora Início    | Data Hora Final     | Tempo (h)  |
|---------------------|---------------------|------------|
| 31/01/2024 15:35:33 | 02/02/2024 18:05:11 | 50         |
| 03/03/2024 17:29:00 | 04/03/2024 17:48:23 | 35         |
| 11/04/2024 04:04:13 | 13/04/2024 18:06:20 | 62         |
| 14/05/2024 01:35:09 | 15/05/2024 05:27:04 | 28         |
| 24/06/2024 16:18:09 | 26/06/2024 18:08:50 | 50         |
| <b>Total</b>        |                     | <b>225</b> |

Fonte: Próprio autor (2024)

No mês de fevereiro ele precisou parar para trocar a suspensão dianteira lateral esquerda, atividade que durou 122 horas, além da troca do pino âncora que consumiu mais 89 horas. Este equipamento não teve um resultado de MTBF acima do esperado em 83% do período escolhido,

com exceção do mês de maio, onde o resultado foi mais de duas vezes superior à meta estabelecida de 39 horas. Apesar disso, nota-se que o caminhão não entregou um bom resultado em MTBF (Gráfico 10).

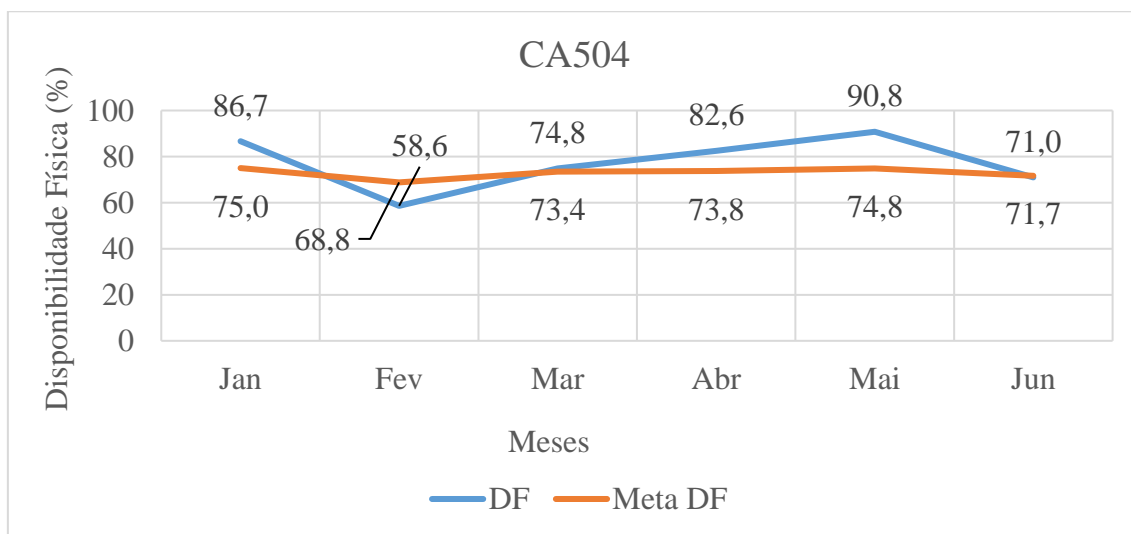
Gráfico 10. MTBF x MTTR



Fonte: Próprio autor (2024)

Apesar de não ter entregado bons números em MTBF, o caminhão performou bem quanto sua disponibilidade, o que mostra que não houve um impacto na DF causado pelos baixos números de MTBF e altos números de MTTR, com exceção do mês de fevereiro onde se vê uma disponibilidade entregue abaixo do esperado (Gráfico 11).

Gráfico 11. Disponibilidade entregue x orçada

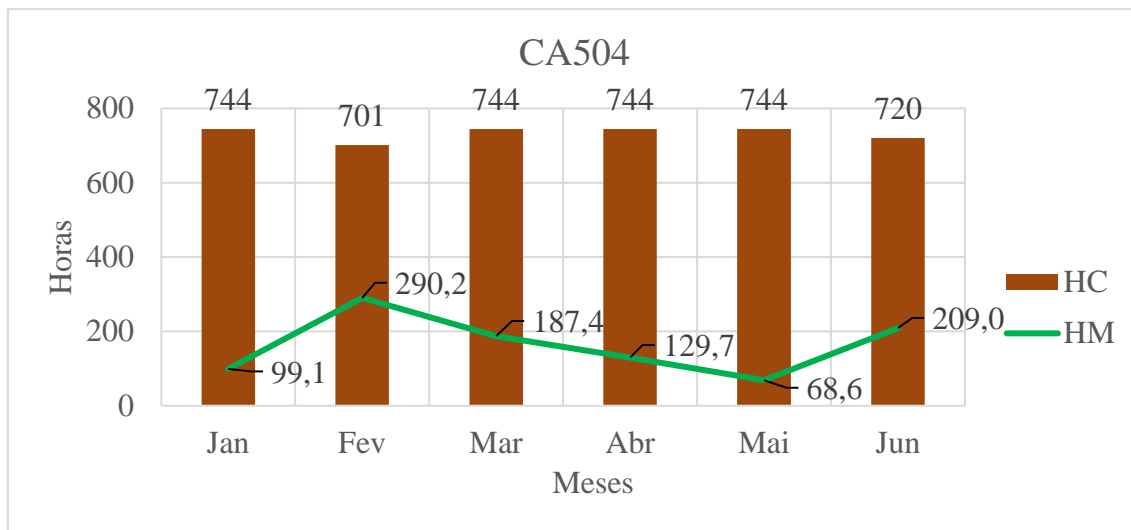


Fonte: Próprio autor (2024)

Através do Gráfico 12, que ilustra as horas em manutenção *versus* horas calendário, é possível observar 290,2 horas do equipamento em manutenção no mês de fevereiro, este valor

está diretamente associado as intervenções que ocorreram, que foram as trocas da suspensão e pino âncora, como mencionado anteriormente, ou seja, impactando diretamente na disponibilidade neste mesmo mês (Gráfico 11).

Gráfico 12. HC x HM



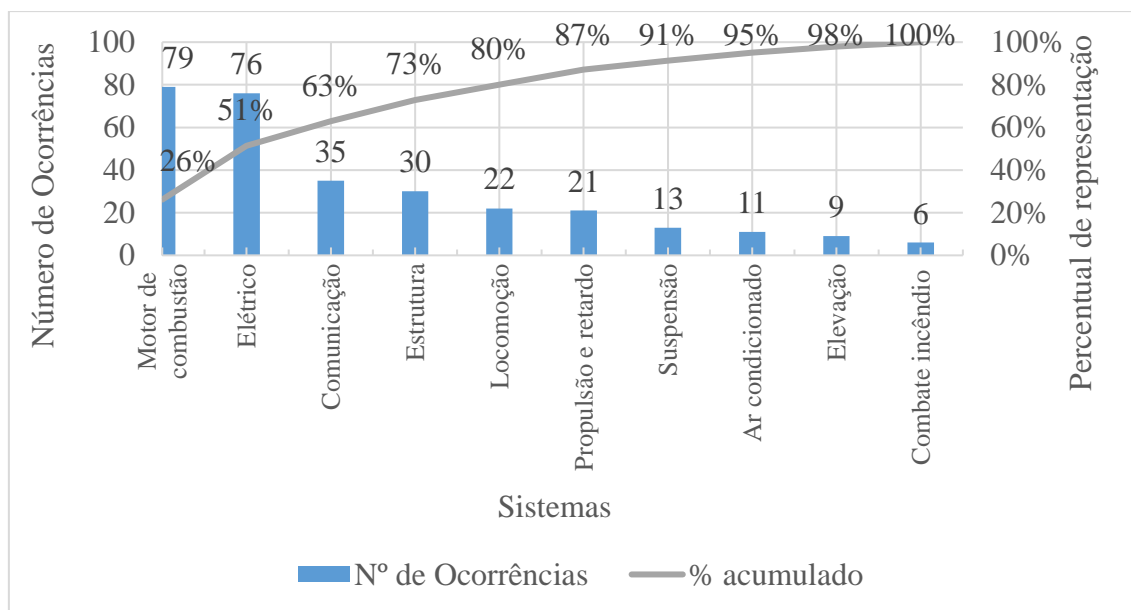
Fonte: Próprio Autor (2024)

Cerveira e Sellito (2015) citam que nem sempre a manutenção preventiva vai ser a melhor solução, pois durante sua execução, pode haver a troca prematura de componentes, aumentando o custo do equipamento. Gomes (2018) sugere que a manutenção preditiva aumenta os resultados de tempo médio entre falhas. Silva (2018) observa que é necessário monitorar as taxas de repetições das falhas e eliminá-las, onde é crucial haver uma manutenção centrada em confiabilidade (MCC).

Perfil de Perdas:

Após a classificação das falhas, como está ilustrado no gráfico 13, vemos que mais de 50% dos motivos que fazem o caminhão parar estão concentrados nos sistemas de motor a combustão e elétrico, o que evidencia um olhar mais atento a estes sistemas nas paradas para manutenção preventiva e nos acompanhamentos da manutenção preditiva dos equipamentos.

Gráfico 13. Perfil de perdas dos equipamentos analisados



Fonte: Próprio autor (2024)

## Conclusão

Neste estudo foi possível analisar os principais indicadores de performance da manutenção com foco na medição do impacto das horas de manutenção na Disponibilidade. Através da análise dos dados fornecidos da frota de 4 caminhões fora-de-estrada modelo 930E, foi possível identificar que não há necessariamente uma relação entre os indicadores MTBF e MTTR com a Disponibilidade dos equipamentos, e também pode-se ver como as paradas pra manutenção impactam diretamente nos seus resultados de Disponibilidade.

Além disso, a avaliação do impacto no indicador de disponibilidade física (DF) e a utilização do perfil de perdas (Gráfico 13) permitem uma análise crítica dos pontos de melhoria nas manutenções, com maior atenção aos sistemas que mais impactam esses indicadores. A partir dessa análise, foram definidos dois pontos principais de melhoria e atenção especial. O primeiro é o sistema de "motor de combustão", para o qual se recomenda fortalecer a atuação da equipe de inspeção sensível e preditiva, a fim de identificar e prevenir falhas, evitando a necessidade de manutenções corretivas. O segundo ponto é o sistema "elétrico", onde é essencial realizar uma avaliação detalhada das condições dos fios elétricos, sensores, chicotes, resistores etc. Sendo um equipamento eletrodiesel, requer um cuidado adicional.

Apesar de oscilações frequentes nos indicadores dos equipamentos, no geral, verifica-se que é uma frota que entrega bons resultados para o que se busca. Os 4 equipamentos entregaram uma Disponibilidade de 73% (acima do orçado de 71% para a frota), o MTBF de

29 horas (abaixo do orçado de 39 horas) e o MTTR de 4 horas (onde a meta era que estivesse abaixo de 5h). Obteve-se também um total de 4742 horas de manutenção de um total de 17660 HC, o que representa apenas 27% do tempo.

## Referências

ALI, O. **Mining Equipment Maintenance: Strategies for Maximizing Productivity.**

Disponível em: <<https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1767>>. Acesso em: 4 maio 2024.

ALMEIDA, P. S. **Gestão da manutenção: aplicada às áreas industrial.** São Paulo: Editora Érica, 2017.

Anuário Mineral Brasileiro. **Principais Substâncias Metálicas - 2022, Ano Base 2021.**

Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/previaamb2022.pdf>. Acesso em: 08 de maio de 2024

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. (1994). **Investigação Qualitativa em Educação.** Porto: Porto Editora.

CABRAL JUNIOR, M.; SUSLICK, S. B.; OBATA, O. R.; SINTONI, A. **A mineração no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e desafios para o aproveitamento dos recursos minerais.** Geociências, v.27, n.2, pp. 171-192. 2008.

CERVEIRA, D. S., SELLITTO, M. A. (2015). **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução.** Revista Produção Online, 15(2), 405–432. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v15i2.1615>

FERREIRA, P. H. A. **Estudo das contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade na implementação do Perfil de Perdas com auxílio do Business Intelligence: o caso da manutenção de equipamentos móveis de uma empresa de mineração.** 110 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

GIL, A. C. (2002). **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas.

GOMES, B. T.; BARBOSA, L. C. M.; Pereira, N.; LEAL, L. B. **Reforma como estratégia de manutenção: um estudo de caso comparativo entre o desempenho de caminhões fora de estrada novos e reformados em uma empresa de mineração.** Research, Society and Development, v. 11, n. 8, e36011830854, 2022 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30854>

Gomes, C. M.; Andrade, P. C. R.; Costa, T. F. **Análise de indicadores de desempenho da manutenção de um moinho de bolas.** Revista Thema, 2018. Volume 15, Nº 3, Pág. 1089. DOI: <http://dx.doi.org/10.15536/thema.15.2018.1089-1103.910>

GONÇALVES, R. J. de A. F. **A Geografia e a pesquisa crítica do modelo de mineração no Brasil.** Revista Mutirão, v. 2, n. 2, p. 66–66, 30 dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.51359/2675-3472.2021.252021>

HILSON, G.; MCQUILKEN, J. **Four decades of support for artisanal and small-scale mining in sub-Saharan Africa: a critical review.** The Extractive Industries and Society, v. 1, n. 1, p. 104-118, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Aliado na transição energética, o cobre é responsável por garantir a eficiência energética mundial.** 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/aliado-na-transicao-energetica-o-cobre-e-responsavel-por-garantir-a-eficiencia-energetica-mundial>>. Acesso em: 4 maio 2024.

NORTHEY, S.; MOHR, S.; MUDD, G. M.; WENG, Z.; GIURCO, D. **Future scenarios for energy-intensive metals.** Journal of Cleaner Production, v. 84, p. 348-359, 2014.

NUNES, A. J. R. **O uso do geoprocessamento: sistema de informações geográficas na mineração.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 06, Vol. 03, pp. 165-178. Junho de 2022. ISSN: 2448 0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/geoprocessamento>. Acesso em: 13 de maio de 2024.

OLIVEIRA, A. D.; GAYER, J. A. C. A. **O uso de indicadores de manutenção na análise de viabilidade econômica para a instalação de uma fábrica de mangueiras.** Trabalho de conclusão de curso (monografia), Graduação em Engenharia de Produção. Centro Internacional Uninter - Escola Superior Politécnica. Curitiba, 2023

SAMANTA, B.; SARKAR, B. **Maintenance management of mining machineries for optimizing availability and utilization.** In: Decision Making Applications in Modern Power Systems. [S.l.]: Academic Press, 2018. p. 395-414.

SILVA, A. F. S. SANTOS, E. C. S. FERNANDES, R. S. LUZ, R. M. N. **Análise de indicadores chave de desempenho para gestão da operação e manutenção de caminhões fora de estrada: um estudo de caso em uma mineradora do sudeste do Pará.** XLIII Encontro nacional de Engenharia de produção. Fortaleza-CE, 2023.

SILVA, P. M. **Análise de confiabilidade da manutenção e dos principais modos de falhas em transportadores de correia: estudo de caso no Terminal Portuário Ponta da Madeira.** 58 pag. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2019.

SILVA, L. A., Victor, M. M. LOPES, W. A. CUNHA, S. (2019). **Cobre: Produção industrial e aplicações.** Química Nova, 42(10), 1154-1161. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170439>

SILVA, A. G. G. **A cadeia produtiva do cobre.** Monografia (Especialização em Engenharia de recursos minerais). Tecnologia mineral - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SILVA, G. E. S. **Estudo dos indicadores MTBF (tempo médio entre falhas) e MTTR (tempo médio para reparo) aplicado em processos produtivos.** 30f.: il; 30 cm. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

**Mining Truck Maintenance Tips and Benefits** | IMI. Disponível em: <<https://www.imiproducts.com/blog/important-maintenance-mining-trucks/>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas. 2003.

RAMOS, M. C. F. **A influência do perfil de perdas na melhoria da confiabilidade dos comboios misto e diesel no setor de equipamentos convencionais e empilhadeiras em uma empresa mineradora**. 52 f. Monografia (bacharelado em engenharia mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto - escola de minas, 2020.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas. 1999

SANTOS, J. R. S.; SOUZA, L. A. D.; CASTRO, L. Z.; FERREIRA, T. A.; CAMPOS, M. S. **Análise da confiabilidade: um estudo de caso**. XXXV Encontro nacional de engenharia de produção. Fortaleza- CE, 2015.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman. 2001.

### **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por ser meu guia e meu farol. À dona Cida e seu Odaí por serem meu porto seguro e os melhores pais do mundo. À minha Helena por ser meu motivo de persistência. Ao meu amigo, professor e orientador Dr. Fernando por encarar essa jornada comigo. Aos meus amigos da “Viação”, agradeço o companheirismo diário da graduação, aos dias de comemoração e derrotas, as muitas risadas e tristezas e aventuras nas idas e voltas do *campus*. Aos amigos e companheiros que Tucuruí me deu, levarei eternamente em meu peito. Aos meus chefes Tiago e Willian, agradeço a oportunidade e todo o ensinamento profissional. Obrigado Anne pelo apoio no início e no final dessa jornada, pelo incentivo e por toda a ajuda que me deu. Thamirys, Gustavo, Pollyelhe, Cleidiane, Wellington, Guilherme e Eduardo por me apoiarem e sempre acreditarem em mim.