



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LUCAS ALVES GOMES

**ESTUDOS DOS IMPACTOS DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA NA
DISPONIBILIDADE FÍSICA: O CASO DE UMA FROTA DE
CARREGADEIRAS DE UMA MINERADORA**

OURO PRETO - MG
2026

LUCAS ALVES GOMES

**ESTUDOS DOS IMPACTOS DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA NA
DISPONIBILIDADE FÍSICA: O CASO DE UMA FROTA DE
CARREGADEIRAS DE UMA MINERADORA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: DSC. Washington Luís Vieira Da Silva

**OURO PRETO – MG
2026**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G633e Gomes, Lucas Alves.

Estudos dos impactos da manutenção preventiva na disponibilidade física [manuscrito]: o caso de uma frota de carregadeiras de uma mineradora. / Lucas Alves Gomes. - 2026.
56 f.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira Da Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Minas e recursos minerais. 2. Máquinas - Manutenção e reparos - Manutenção Preventiva. 3. Fábricas - Manutenção - Manutenção - Disponibilidade Física (DF). 4. Eficiência industrial - Desempenho - Avaliação. I. Silva, Washington Luís Vieira Da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB -1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Alves Gomes

Estudos dos impactos da manutenção preventiva na disponibilidade física: o caso de uma frota de carregadeiras de uma mineradora

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 05 de Fevereiro de 2026

Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Siva - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Diogo Antônio de Sousa (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)

Washington Luís Vieira da Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/02/2026



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/02/2026, às 19:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1062562** e o código CRC **E88D906F**.

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão por sempre estarem comigo quando precisei e a todos os colegas que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste ciclo.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Luciene e Eder, pelo apoio incondicional e incentivo em todas as etapas da minha vida acadêmica.

Ao meu irmão Marcus, pela motivação e companheirismo.

Ao meu orientador Washington Luís Viera da Silva, pela orientação, paciência e dedicação na condução deste trabalho.

Aos meus colegas que fiz ao longo dessa caminhada, pelo aprendizado compartilhado e pelas experiências que tornaram essa jornada mais leve e enriquecedora.

“O sucesso não é um ponto final, assim como o fracasso não é um obstáculo intransponível. O que realmente importa é a coragem de seguir em frente, mesmo quando tudo parece difícil. Cada passo dado, mesmo pequeno, é uma prova de que a determinação é mais forte que qualquer desafio”.

Winston Churchill

RESUMO

Este trabalho analisa os impactos da manutenção preventiva na disponibilidade física de uma frota de carregadeiras em uma mineradora. A pesquisa foi motivada pela relevância da manutenção preventiva para reduzir falhas não planejadas e garantir a continuidade operacional em ambientes severos, como o de setor de mineração. O objetivo geral foi avaliar como a execução das rotinas preventivas influencia indicadores de desempenho, especialmente a disponibilidade física. Para isso, realizou-se um estudo de caso com abordagem qualitativa e natureza exploratória, utilizando dados reais extraídos dos sistemas SAP e *Power BI*, referentes ao período de janeiro a outubro de 2025. Foram analisados indicadores como MTBF (tempo médio entre falhas), MTTR (tempo médio para reparo), NIC (número de intervenções corretivas) e APR (aderência a programação). Os resultados mostraram que, nos meses em que o MTBF apresentou valores mais elevados como janeiro (28,56h) e junho (29,47h), o número de intervenções corretivas foi menor, com 54 e 53 ocorrências, respectivamente, refletindo melhor confiabilidade operacional e maiores valores de disponibilidade física, que atingiram 80,90% em janeiro e 77,71% em junho. Em contrapartida, meses com MTBF reduzido, como março (16,40h) e setembro (15,96h), apresentaram elevados valores de NIC, chegando a 80 e 65 intervenções, acompanhadas de baixa disponibilidade física, próxima de 51%. Observou-se ainda que, nos meses em que o MTTR permaneceu dentro da meta mensal de 6,40h, como janeiro (4,37h) e junho (3,28h), a disponibilidade física foi superior, enquanto valores elevados de MTTR, como em março (8,52h) e julho (10,53h), contribuíram para a redução da disponibilidade. O indicador Aderência a programação superou a meta de 80% apenas em agosto (85,54%) e outubro (83,52%), não apresentando relação direta com a disponibilidade física, evidenciando que o cumprimento da programação não garante, isoladamente, maior desempenho operacional. Conclui-se que a manutenção preventiva influencia diretamente a disponibilidade física da frota, principalmente por meio do aumento do MTBF, a redução do número de corretivas e da agilidade nos reparos, desde que associada a uma execução técnica eficaz e não apenas ao cumprimento formal da programação.

Palavras-chave: Mineração, Manutenção Preventiva, Indicadores de desempenho, Disponibilidade Física.

ABSTRACT

This study analyzes the impacts of preventive maintenance on the physical availability of a fleet of loaders in a mining company. The research was motivated by the relevance of preventive maintenance in reducing unplanned failures and ensuring operational continuity in harsh environments, such as the mining sector. The main objective was to evaluate how the execution of preventive routines influences performance indicators, especially physical availability. To achieve this, a case study was conducted with a qualitative and exploratory approach, using real data extracted from SAP and Power BI systems for the period from January to October 2025. Indicators such as MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair), NIC (Number of Corrective Interventions), and APR (Schedule Adherence) were analyzed. The results showed that in months where MTBF presented higher values, such as January (28.56h) and June (29.47h), the number of corrective interventions was lower, with 54 and 53 occurrences respectively, reflecting better operational reliability and higher physical availability values, which reached 80.90% in January and 77.71% in June. Conversely, months with reduced MTBF, such as March (16.40h) and September (15.96h), showed high NIC values, reaching 80 and 65 interventions, accompanied by low physical availability, around 51%. It was also observed that in the months when the MTTR remained within the monthly target of 6,40h, such as January (4.37h) and June (3.28h), physical availability was higher, while elevated MTTR values, such as in March (8.52h) and July (10.53h), contributed to reduced availability. The Schedule Adherence indicator exceeded the 80% target only in August (85.54%) and October (83.52%), showing no direct relationship with physical availability, indicating that meeting the schedule alone does not guarantee higher operational performance. It is concluded that preventive maintenance directly influences the physical availability of the fleet, mainly through increasing MTBF, reducing the number of corrective actions, and ensuring agility in repairs, provided it is associated with effective technical execution and not merely formal compliance with scheduling.

Key-words: mining, preventive maintenance, performance indicators, physical availability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de manutenção	7
Figura 2 - Classificação básica das ações preventivas	12
Figura 3 - Exemplo de Plano de Manutenção com resultados Reais (I).....	13
Figura 4 - Representação da distribuição das horas totais no período.....	21
Figura 5 - Fluxograma das etapas da pesquisa	24
Figura 6 - Estrutura organizacional da empresa	29
Figura 7 – Vista técnica da carregadeira de grande porte com identificação dos principais componentes	30
Figura 8 - Estrutura do plano de manutenção preventiva.....	31
Figura 9 - Ordens de manutenção planejadas e realizadas	33
Figura 10 - Lista de tarefas do plano de lubrificação	34
Figura 11- Painel de indicadores utilizado como fonte de extração de dados do Power BI	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os papéis e responsabilidades do pessoal de operação e de manutenção na manutenção produtiva total (MPT).....	10
Tabela 2 - Variáveis e Indicadores	26
Tabela 3 - Indicadores de desempenho da frota	36

LISTA DE SIMBOLOS

DF – Disponibilidade Física

TPM - Manutenção Produtiva Total

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

OM – Ordem de Manutenção

HH – Homem Hora

MTBF – Tempo Médio entre Falhas

MTBR – Tempo Médio de Reparo

TMPF – Tempo Médio para Falha

IC - Índice de Corretiva

IP - Índice de Preventiva

HMP – Horas de Manutenção Preventiva

HMC – Horas de Manutenção Corretiva

CPMV – Custo de Manutenção por Valor de Reposição

NIC – Número de Intervenções Corretivas

APR – Aderência a Programação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Manutenção	5
2.2	Métodos de manutenção	6
2.2.1	Manutenção corretiva	7
2.2.2	Manutenção preditiva	8
2.2.3	Manutenção produtiva total (TPM)	9
2.3	Manutenção preventiva.....	10
2.4	Plano de manutenção	12
2.5	Indicadores de manutenção	15
2.5.1	Tempo Médio entre Falhas (MTBF)	16
2.5.2	Tempo Médio para Reparo (MTTR)	16
2.5.3	Tempo Médio para Falha (TMPF)	17
2.5.4	<i>Backlog</i>	17
2.5.5	Índice de Corretiva (IC).....	17
2.5.6	Índice de Preventiva (IP)	18
2.5.7	Custo de Manutenção por Valor de Reposição	18
2.5.8	Índice de Retrabalho	18
2.5.9	Alocação de HH em OM	19
2.5.10	Cumprimento da Programação	19
2.6	Disponibilidade Física (DF)	20
3	METODOLOGIA.....	22
3.1	Tipo de pesquisa	22
3.2	Materiais e Métodos	24
3.3	Variáveis e Indicadores	25
3.4	Instrumento de coleta de dados	27

3.5	Tabulação dos dados.....	27
3.6	Considerações Finais	27
4	RESULTADOS	28
4.1	Características do setor	28
4.2	Caracterização frota de carregadeiras de grande porte	29
4.3	Análise do plano de manutenção preventiva da frota.....	31
4.3.1	Estrutura do plano de manutenção.....	31
4.3.2	Periodicidade e programação das atividades	33
4.3.3	Detalhamento das tarefas no plano de manutenção	34
4.4	Análise dos indicadores de desempenho da frota	35
4.5	Análise dos impactos da manutenção preventiva na Disponibilidade Física	38
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	39
5.1	Conclusão	39
5.2	Recomendações	40
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Uma empresa é composta por diversos setores que atuam em conjunto para garantir o funcionamento e alcançar os resultados desejados. Alguns desses setores são: produção, recursos humanos, logística, custos, engenharia e manutenção. É na área de manutenção que estão focadas as atividades destinadas a manter a continuidade dos processos produtivos, evitando, assim, paradas inesperadas.

A NBR 5462 (1994, p.6) define manutenção como “a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Portanto, a manutenção é entendida como um conjunto de atividades e processos que visam garantir a confiabilidade, aumentar a produtividade e prolongar a vida útil de equipamentos e máquinas industriais. Essas atividades têm como objetivo corrigir falhas por meio de reparos ou substituições de peças danificadas, bem como prevenir desgastes e evitar possíveis falhas antes que ocorram.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção pode ser classificada em seis tipos, que são elas: manutenção corretiva não planejada, manutenção corretiva planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção. Dentre elas, destaca-se a manutenção preventiva devido ao seu papel fundamental na redução de falhas.

Conforme a definição de Kardec e Nascif (2009, p.43), “manutenção preventiva é atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”.

Dessa forma, a manutenção preventiva influencia diretamente diversos indicadores de desempenho da manutenção, sendo a Disponibilidade Física - DF, um dos mais relevantes.

Segundo a NBR 5462 *apud* Viana (2002, p.143), a Disponibilidade Física é definida como “a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado”. Esse indicador representa o tempo que o equipamento esteve disponível para operação em relação às horas totais do período, e

está diretamente relacionado à qualidade da manutenção no que se refere à prevenção de falhas não planejadas.

No setor de mineração, a Disponibilidade Física (DF) é um dos indicadores mais relevantes para a equipe de manutenção, pois está diretamente ligada à capacidade de manter os equipamentos operacionais e, conseqüentemente, garantir o cumprimento das metas de produção. Neste contexto, destaca-se a importância da carregadeira, um equipamento que atua no carregamento de caminhões para transporte de minério, na alimentação da planta de beneficiamento e no carregamento de vagões.

Considerando que esses equipamentos operam por longas horas em condições severas, como terrenos irregulares e com excesso de poeira, a manutenção preventiva torna-se essencial para evitar falhas não planejadas e assegurar que a meta de DF seja cumprida, minimizando impactos na produção. Diante disso, tem a seguinte problemática:

Como a manutenção preventiva impacta na Disponibilidade Física de uma frota de carregadeiras em uma mineradora?

1.2 Justificativa

A manutenção é um processo essencial no meio industrial, pois garante o bom funcionamento dos equipamentos e a continuidade da produção. Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção é fundamental para garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos de modo a atender a um processo de produção ou de serviço.

Assim, dentre os tipos de manutenção, destaca-se a manutenção preventiva, que segundo Viana (2002), consiste na realização de serviços em equipamentos que não apresentaram falhas, proporcionando uma maior tranquilidade operacional e contribui para o bom andamento das atividades produtivas. Segundo Xenos (1998), embora esse tipo de manutenção envolva um alto custo com a substituição antecipada de componentes no contexto geral, torna-se economicamente viável por reduzir falhas, aumentar a disponibilidade e minimizar paradas inesperadas na produção.

Na mineração, a carregadeira desempenha um papel fundamental nas operações de carregamento de material, e sua indisponibilidade pode comprometer toda a operação de uma mina. Sendo assim, a Disponibilidade Física desse equipamento é essencial para manter a

produtividade da mina sem interrupções. Como destacado por Viana (2002), a disponibilidade é o principal produto da manutenção.

Dessa forma, um plano de manutenção preventiva para a carregadeira em estudo, bem estruturado, com periodicidade adequada, rotinas de inspeções e atividades claramente definidas, possibilitará obter ganhos como:

- Aumento da Disponibilidade Física;
- Redução de custos operacionais;
- Redução de paradas inesperadas;
- Aumento da vida útil dos equipamentos.

Esse estudo foi motivado a partir de um período de estágio em uma empresa de mineração, que foram observadas diversas falhas recorrentes em uma carregadeira. Dentre elas, destacam-se paradas não programadas causadas por filtros obstruídos e a necessidade de substituição de um eixo dianteiro com apenas duas semanas de uso devido à ausência da troca de óleo no período recomendado.

Diante do contexto, justifica-se esse estudo como uma possibilidade de verificar como a manutenção preventiva pode impactar na Disponibilidade Física de uma frota de carregadeiras de uma empresa de mineração.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar como a manutenção preventiva impacta na Disponibilidade Física de uma frota de carregadeiras de uma mineradora.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre: manutenção, métodos de manutenção, manutenção preventiva, plano de manutenção, indicadores de manutenção e Disponibilidade Física;
- Desenvolver um procedimento metodológico para realizar análise do impacto da manutenção preventiva na Disponibilidade Física do objeto em estudo;

- Descrever sobre o equipamento estudado, sua funcionalidade e a integração com o processo produtivo;
- Realizar análise do plano de manutenção preventiva;
- Coletar os dados de Disponibilidade Física do equipamento para realizar análise;
- Analisar os indicadores de desempenho da frota e os impactos da manutenção preventiva na Disponibilidade Física.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, onde no primeiro capítulo é apresentado a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos.

No segundo capítulo é apresentado a fundamentação teórica dos conceitos e teorias a respeito da manutenção, abordando os métodos de manutenção, plano de manutenção e os indicadores de manutenção com foco na disponibilidade física.

O terceiro capítulo trata da metodologia aplicada no estudo. Neste capítulo, são detalhados os tipos de pesquisa, os materiais e métodos utilizados, variáveis e indicadores, os instrumentos de coletas de dados e o processo de tabulação de dados.

Já o quarto capítulo apresenta os resultados do estudo a partir dos processos metodológicos. São caracterizados o setor e o equipamento, sendo descritos os resultados da análise do plano de manutenção, dos indicadores de desempenho e dos impactos da manutenção preventiva na disponibilidade física.

Por fim, o capítulo cinco mostra as conclusões e recomendações para futuras pesquisas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

Almeida (2015) define manutenção como um conjunto de cuidados e procedimentos técnicos que visam garantir o bom funcionamento e o reparo de máquinas e equipamento. A palavra, derivada do latim *manus tenere*, que significa “manter o que se tem”, também é definida de diferentes maneiras por diversos órgãos certificadores, mas todos se destacam sua importância para eficiência do sistema produtivo (ALMEIDA, 2015).

A NBR 5462 (1994, p.6) define manutenção como “a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Nesse sentido, o dicionário Aurélio *apud* Xenos (1998, p.18), também descreve a manutenção como “as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação ou ainda como os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”.

Para Xenos (1998), as atividades de manutenções existem basicamente para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso, essa degradação pode se manifestar através da aparência externa ruim e de até perdas de desempenho e paradas de produção. Kardec e Nascif (2009, p.23) amplia essa visão ao afirmar que a missão da manutenção é “garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados”.

De acordo com Nepomuceno *apud* Gregório (2018), a manutenção tem como responsabilidade planejar, juntamente com a produção, um programa coerente de manutenção e reparos, conservar toda a instalação em condições tão perfeitas quanto possível, visando à minimização de custos, executar e controlar reparos e consertos, tanto eventuais quanto emergenciais, no menor prazo possível, obedecer aos intervalos de conservação rotineira para limpezas, ajuste e lubrificação, manter reuniões constantes com a produção para troca de informações e diagnósticos de problemas, e verificar as causas pelas quais alguns equipamentos apresentam elevado índice de interrupções.

Por fim, Viana (2002) aborda alguns conceitos importantes aplicados à manutenção, que são:

- Falha: término da capacidade de um equipamento de desempenhar sua função;
- Defeito: qualquer desvio de uma característica de um item em relação a seus requisitos;
- Confiabilidade: a capacidade de um item de desempenhar sua função sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo;
- Manutenção Planejada: manutenção organizada e com previsão e controle;
- Manutenção Programada: manutenção executada de acordo com um programa preestabelecido;
- Ordem de Manutenção (OM): instrução escrita enviada mediante documento eletrônico ou em papel, que define um trabalho a ser executado pela manutenção;
- Reparo: é a restituição de um item à condição admissível de utilização através do conserto ou reposição de partes danificadas, desgastadas ou consumidas;
- HH: Homem Hora, equivale a hora de trabalho do mantenedor.

2.2 Métodos de manutenção

A classificação dos tipos de manutenção pode variar de acordo com os autores. Para Monchy (1989) existem duas categorias principais: manutenção corretiva e manutenção preventiva. Viana (2002) apresenta uma abordagem semelhante, classificando os tipos de manutenção em manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção autônoma. Xenos (1998), por sua vez, identifica seis tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, melhoria dos equipamentos, prevenção de manutenção e manutenção produtiva. Kardec e Nascif (2009) também propõem uma divisão em seis tipos, conforme apresentados na Figura 1.

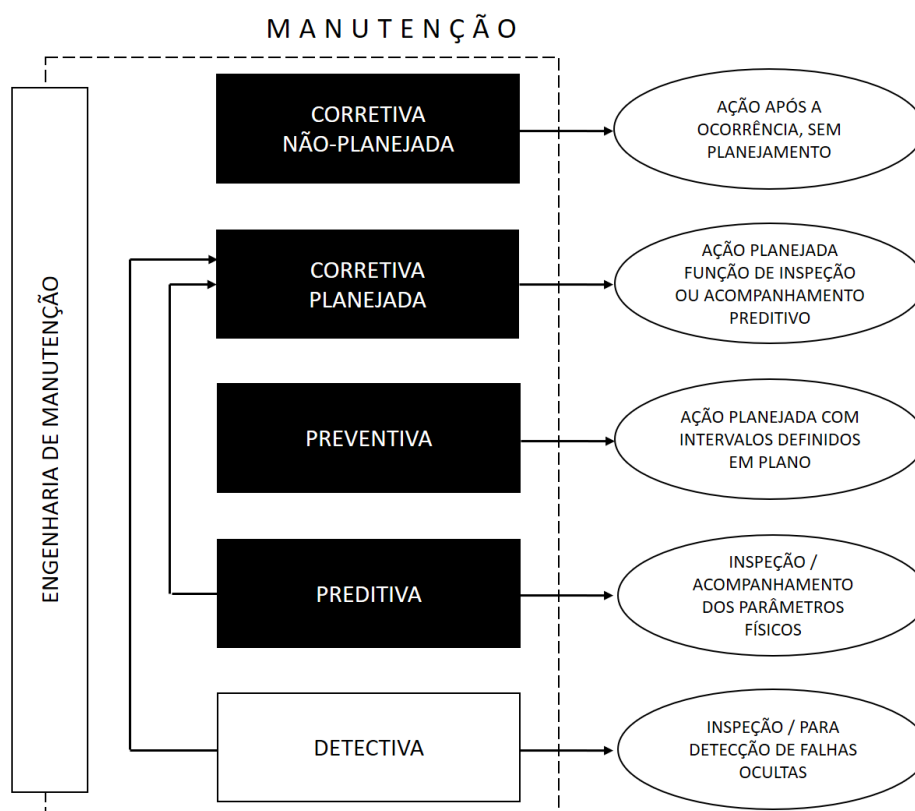


Figura 1- Tipos de manutenção
Fonte: Kardec e Nascif (2009)

A Figura 1 apresenta os principais tipos de manutenção segundo Kardec e Nascif (2009), os quais se dividem em corretiva (planejada e não planejada), preventiva, preditiva e detectiva.

Nesse estudo são aprofundados os conceitos de manutenção corretiva, manutenção preditiva, manutenção produtiva total e manutenção preventiva.

2.2.1 Manutenção corretiva

Para Dhillon (2002), a manutenção corretiva é uma atividade realizada em decorrência de falhas que comprometem o funcionamento do equipamento, com o objetivo de restaurá-lo ao seu estado operacional. Em geral, trata-se de uma ação não programada, voltada para necessidades imprevisíveis que não podem ser pré-planejadas (DHILLON, 2002).

Além disso, Gregório (20218) aborda que é uma manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, ou seja, quando o componente é usado até sua exaustão, visando restaurar o funcionamento do equipamento. E pode ser classificada como não programada, quando ocorre

de forma inesperada e paralisa a operação, ou como programada, quando há um desempenho abaixo do esperado, mas sem interrupção imediata do funcionamento (GREGÓRIO, 2018).

Conforme Viana (2002), a manutenção corretiva é caracterizada por ser uma ação emergencial, realizada sem planejamento prévio, geralmente com o objetivo de evitar consequências graves aos equipamentos, à segurança dos trabalhadores ou ao meio ambiente, sendo conhecida no ambiente industrial como uma prática de “apagar incêndios”.

2.2.2 Manutenção preditiva

De acordo com Xenos (1998), a manutenção preditiva permite prever quando um componente está próximo do seu limite de vida, otimizando a substituição ou reforma de componentes e estender o intervalo de manutenção. Esse tipo de manutenção utiliza tecnologias como sensores de vibração e temperatura e requer planejamento integrado à manutenção preventiva (XENOS, 1998).

Teles (2019) aborda que a manutenção preditiva busca aproveitar ao máximo a vida útil dos componentes, com base no monitoramento contínuo de suas condições. Teles (2019, p.42) destaca que a manutenção preditiva “trata-se de uma modalidade de manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado”.

Segundo Mobley (2002), a manutenção preditiva é uma manutenção baseada no monitoramento da condição operacional dos equipamentos e de indicadores de eficiência, com o objetivo de estender o tempo entre intervenções e reduzir falhas inesperadas. Entre as principais técnicas utilizadas destacam-se: análise de vibração, termografia, análise de óleo, ensaio por ultrassom e inspeção visual (MOBLEY, 2002).

Viana (2002) aprofunda a descrição de algumas dessas técnicas:

- Ensaio por ultrassom: é um método não destrutivo utilizado para detectar defeitos ou descontinuidades internas em materiais ferrosos ou não ferrosos;
- Análise de vibração: monitoramento do estado funcional de um determinado componente por meio de acelerômetros instalados em pontos específicos;
- Termografia: técnica de ensaio não-destrutivo que permite o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio de radiação infravermelha;

- Análise de óleo: determina o momento ideal para troca de lubrificante e identifica desgastes internos a partir da presença de partículas e da avaliação das propriedades do fluido.

2.2.3 Manutenção produtiva total (TPM)

A manutenção Produtiva Total (TPM – do inglês *Total Productive Maintenance*) segundo Kardec e Nascif (2009), pode ser considerada uma filosofia derivada da manutenção preventiva, com foco na eliminação de desperdícios, na obtenção de melhor desempenho dos equipamentos, na redução de interrupções na produção, na promoção de mudanças nos conhecimentos e habilidades dos funcionários, e na sistemática do trabalho.

De forma complementar, Gregório (2018) afirma que a TPM busca a eficácia da empresa por meio da qualificação das pessoas e da melhoria contínua dos equipamentos, envolvendo estratégias como a redução de custos, aumento da utilização dos ativos, o treinamento dos operadores para executar atividades simples de manutenção, como limpeza e lubrificação, e o favorecimento do sentimento de “dono” por parte desses operadores.

Para Slack (2002), os objetivos da TPM são estabelecidos através de cinco metas principais:

- Melhorar a eficácia dos equipamentos: consiste em analisar todas as perdas que ocorrem e como as instalações contribuem para a eficácia da produção;
- Realização manutenção autônoma: permitir que o pessoal que opera ou usa os equipamentos de produção assuma a responsabilidade por pelo menos algumas das tarefas de manutenção e encorajar o pessoal da manutenção assumir a responsabilidade pela melhoria do desempenho da manutenção;
- Treinar todo o pessoal em habilidades relevantes de manutenção: é necessário que tanto o pessoal de manutenção, como o de operação tenham todas as habilidades para desempenhar seus papéis;
- Conseguir gerir os equipamentos logo no início: essa meta é direcionada para uma forma de evitar totalmente a manutenção por meio de prevenção de manutenção;

- Planejar a manutenção: ter uma abordagem elaborada para todas as atividades de manutenção. Isso deveria incluir o nível de manutenção preventiva necessário para cada peça de equipamento, os padrões para manutenção preditiva e as responsabilidades do pessoal de operação e de manutenção. Essas responsabilidades são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Os papéis e responsabilidades do pessoal de operação e de manutenção na manutenção produtiva total (MPT).

	Pessoal de manutenção	Pessoal de operação
Papéis	Para desenvolver: – ações preventivas – manutenção corretiva	Para assumir: – domínio das instalações – cuidado com as instalações
Responsabilidade	Treinar os operadores Planejar a prática de manutenção Solução de problemas Avaliar a prática operacional	Operação correta Manutenção preventiva de rotina Manutenção preditiva de rotina Detecção dos problemas

Fonte: Slack (2002)

A Tabela 1 mostra a divisão de papéis e responsabilidades entre o pessoal de manutenção e o pessoal da operação. O pessoal da manutenção é responsável por desenvolver ações preventivas e realizar manutenções corretivas, além de treinar os operadores, planejar as práticas de manutenção, solucionar problemas e avaliar a prática operacional. Já o pessoal da operação assume o domínio e o cuidado com as instalações, sendo responsável pela operação correta dos equipamentos, pela manutenção preventiva e preditiva e pela detecção de problemas.

2.3 Manutenção preventiva

Para Viana (2002), a manutenção preventiva consiste em um conjunto de serviços realizados em máquinas que ainda não apresentaram falhas, com o intuito de mantê-las em boas condições operacionais. Esses serviços são executados de forma planejada, em intervalos regulares ou conforme critérios técnicos preestabelecidos, visando minimizar a probabilidade de falhas e garantir a continuidade da produção, reduzindo assim significativamente a improvisação, elevando a qualidade dos serviços realizados e proporcionando maior controle sobre o funcionamento dos equipamentos (VIANA, 2002).

Segundo Dhillon (2002), a manutenção preventiva representa uma parcela significativa das atividades de manutenção nas organizações, sendo essencial para prolongar a vida útil dos equipamentos, reduzir falhas críticas, melhorar o planejamento das intervenções e promover segurança dos profissionais envolvidos.

Complementando essa visão, Monchy (1989), categoriza a manutenção preventiva em duas abordagens distintas: sistemática, quando é realizada com base em critérios predefinidos como horas de funcionamento e número de unidades produzidas, e de condição, que ocorre a partir de medições ou inspeções que indicam a necessidade de manutenção.

Gregório (2018) classifica esses critérios em quatro tipos:

- Tempo: quando a intervenção é feita em intervalos fixos, como a cada três meses;
- Horas de funcionamento: quando a atividade ocorre após determinado tempo de operação;
- Produtividade: ocorre considerando a quantidade de peças produzidas;
- Misto: combina dois ou mais parâmetros, como tempo e horas de operação, adotando o que ocorrer primeiro.

Já Xenos (1998) destaca que a manutenção preventiva compreende um conjunto de ações planejadas para evitar falhas ou a degradação das funções de um equipamento, sendo executadas com base no tempo de operação ou na condição dos equipamentos. Essas ações vão desde intervenções simples, como lubrificação e inspeções de rotina executadas pelos operadores, até inspeções periódicas, reformas e trocas programadas de componente (XENOS, 1998), conforme ilustrado na Figura 2.

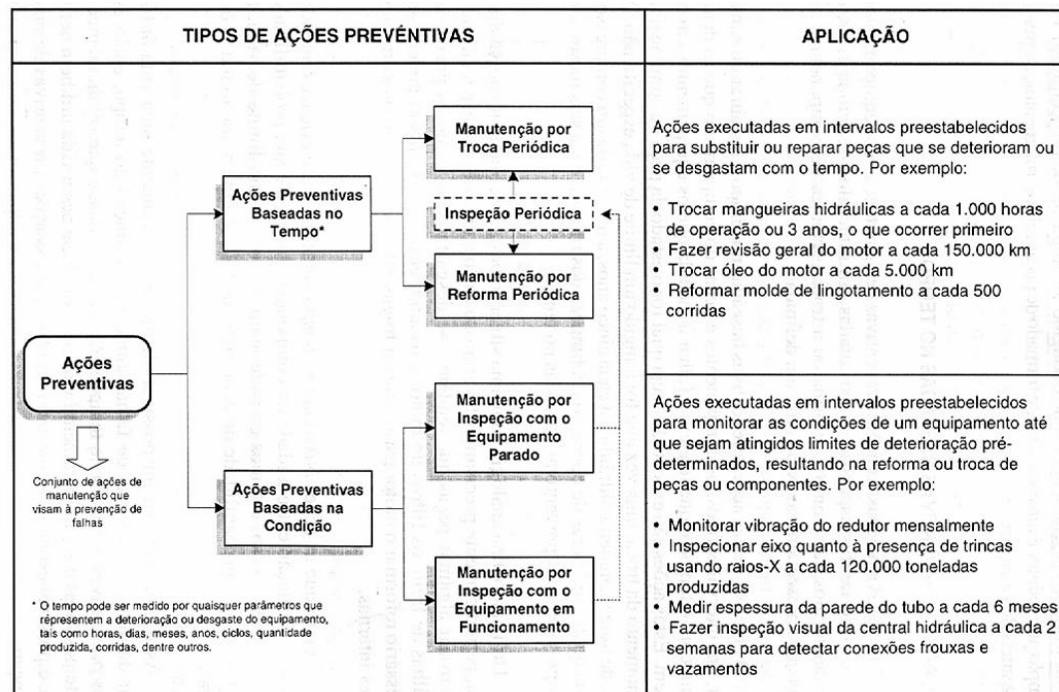


Figura 2 - Classificação básica das ações preventivas
Fonte: Xenos (1998)

A Figura 2 apresenta a classificação básica das ações preventivas, divididas em dois grupos, as baseadas no tempo e as baseadas na condição. As ações baseadas no tempo incluem trocas, inspeções e reformas periódicas realizadas de forma sistemática. Já as ações baseadas na condição são executadas com base em monitoramentos e medições com o objetivo de identificar a necessidade de intervenção antes que ocorra uma falha.

Por fim, Kardec e Nascif (2009) indicam que a manutenção preventiva deve ser adotada em situações específicas, como quando a manutenção preditiva não é viável, quando há questões críticas relacionadas à segurança, em equipamentos cuja liberação operacional é difícil, diante de riscos ambientais ou ainda em sistemas complexos e/ou de operação contínua.

2.4 Plano de manutenção

Segundo Dorigo (2013), o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) tem como principal finalidade contribuir para a confiabilidade e disponibilidade dos ativos, otimizando os recursos utilizados pela manutenção, englobando atividades como planejamento, controle, programação e provisionamento, sempre alinhadas ao modelo de gestão da empresa.

Teles (2019) complementa essa visão ao destacar que o PCM é responsável por organizar, coordenar e acompanhar todas as atividades de manutenção da empresa. Ele ressalta, ainda, a importância do gerenciamento dos planos de manutenção dentro desse processo, já que são eles que estruturam a execução das atividades preventivas de forma eficaz.

Esses planos, conforme definido por Viana (2002, p.87), “são o conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. Os mesmos representam, na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa”.

Xenos (1998) complementa que a base para a elaboração de um plano de manutenção é a própria necessidade de ações preventivas nos equipamentos. Segundo o autor, um bom plano representa a coleção de todas as atividades preventivas que devem ser realizadas para evitar falhas e garantir o desempenho dos ativos. A elaboração desses planos, segundo ele, é relativamente simples quando já são conhecidas as atividades preventivas de inspeção, reforma ou troca que os equipamentos exigem e seus respectivos intervalos.

A Figura 3 ilustra um modelo de plano de manutenção, conforme Xenos (1998), utilizado para organizar as atividades preventivas de forma sistemática.

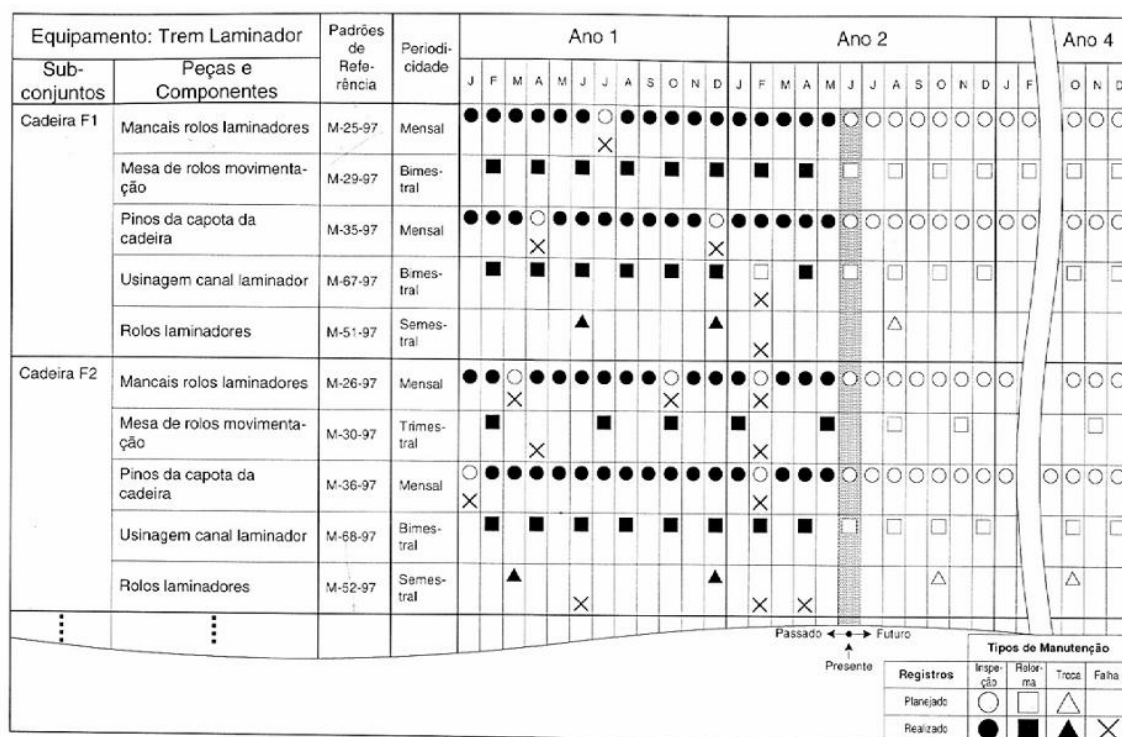


Figura 3 - Exemplo de Plano de Manutenção com resultados Reais (I)

Fonte: Xenos (1998)

A Figura 3 aborda um exemplo simples de um plano de manutenção dos rolos laminadores das cadeiras F1 e F2 do trem laminador em uma siderúrgica. É possível visualizar a periodicidade das trocas ou reformas dos componentes, bem como identificar pontos em que ocorrem as falhas, as atividades planejadas e as que foram executadas.

Esse plano de manutenção, segundo Viana (2002), pode ser dividido em cinco categorias:

- Plano de inspeções visuais: consiste na observação periódica de certas características dos equipamentos, como ruído, temperatura, condições de conservação, vibração, entre outros, utilizando os cinco sentidos do mantenedor;
- Roteiros de lubrificação: têm como objetivo reduzir o atrito entre superfícies em contato, minimizando o desgaste e o aumento da temperatura de trabalho. Esses roteiros definem o tipo de óleo lubrificante, os pontos de aplicação, a periodicidade e a quantidade;
- Monitoramento de características dos equipamentos: envolve a medição e análise de variáveis como temperatura, vibração, pressão e corrente elétrica, através de instrumentos de medição;
- Manutenção de troca de itens de desgaste: consiste na substituição periódica de componentes que apresentam desgaste natural com o uso. Esses componentes são projetados para se desgastarem em prol do bom funcionamento do equipamento e, ao final de sua vida útil, são trocados de forma simples e planejada;
- Plano de intervenção preventiva: consiste em um conjunto de atividades, regularmente executadas com o objetivo de manter o equipamento em seu melhor estado operacional. Com esse plano é possível gerar ordens de manutenção de forma automática e periódica.

Por fim, Soeiro (2017) reforça que os planos de manutenção devem refletir continuamente a realidade operacional da empresa, devendo ser ajustados com base em critérios como a criticidade dos ativos e os dados obtidos ao longo do tempo sobre o desempenho dos equipamentos.

2.5 Indicadores de manutenção

Indicadores de manutenção, conhecidos como KPI (*Key Performance Indicators*), são ferramentas que mensuram diferentes aspectos relacionados à manutenção, desde o tempo de parada dos equipamentos até o desempenho do processo produtivo (SILVEIRA, 2012). Eles são fundamentais para fornecer dados estratégicos que auxiliam o gestor na tomada de decisão e no entendimento dos efeitos da manutenção sobre o negócio, uma vez que sem esses indicadores torna-se impossível avaliar se as ações adotadas estão sendo eficazes (TELES, 2016).

De acordo com Viana (2002), os indicadores de manutenção além de serem utilizados para acompanhar os resultados do setor, também desempenham um papel fundamental na rotina operacional, auxiliando o PCM na definição, no acompanhamento e na análise do desempenho dos processos, de modo que sejam monitoradas apenas informações que efetivamente agreguem valor, evitando o desperdício de tempo e recursos na consolidação de dados que não contribuem para a melhoria do desempenho da manutenção ou da própria empresa.

Diante disso, Viana (2002) destaca a existência de seis indicadores considerados de classe mundial, ou seja, que a maioria dos países do ocidente utiliza, que são:

- MTBF – Tempo Médio Entre Falhas (*Mean Time Between Failures*);
- MTTR – Tempo Médio de Reparo (*Mean Time To Repair*)
- TMPF – Tempo Médio Para Falha;
- Disponibilidade Física da Maquinaria;
- Custo de Manutenção por Faturamento;
- Custo de Manutenção por Valor de Reposição.

Além dos indicadores de classe mundial, Viana (2002) aborda mais oito indicadores devido sua importância na manutenção:

- *Backlog*;
- Retrabalho;
- Índice de Corretiva
- Índice de Preventiva;
- Alocação de HH em OM;
- Treinamento na Manutenção;

- Taxa de Frequência de Acidentes.
- Taxa de Gravidade de Acidentes.

Nesse estudo são aprofundados os seguintes indicadores: Tempo Médio entre Falhas, Tempo Médio para Reparo, Tempo Médio para Falha, *Backlog*, Índice de Corretiva, Índice de Preventiva, Custo de Manutenção por Valor de Reposição, Índice de Retrabalho, Alocação de HH em OM e Disponibilidade Física. Além desses indicadores, com base em Teles (2019), também foi considerado o indicador Cumprimento da Programação, devido sua importância na análise da efetividade da equipe de manutenção.

2.5.1 Tempo Médio entre Falhas (MTBF)

O tempo médio entre falhas é a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para operação (HD), pelo número de paradas corretiva registradas no período (NC) (VIANA, 2002).

A Equação 1 apresenta o cálculo do indicador.

$$MTBF = \frac{HD}{NC} \quad (1)$$

2.5.2 Tempo Médio para Reparo (MTTR)

De acordo com Viana (2002) é a divisão entre a somas das horas de indisponibilidade para a operação devido a manutenção (HIM) pelo número de paradas corretivas registradas no período (NC).

A fórmula para o cálculo desse indicador pode ser observada na Equação 2.

$$MTTR = \frac{HIM}{NC} \quad (2)$$

2.5.3 Tempo Médio para Falha (TMPF)

Viana (2002) define esse indicador como o tempo médio que determinados componentes não reparáveis levam para falhar, sendo obtido pela razão entre o total de horas disponíveis do equipamento (HD) e o número de falhas observadas. Essa relação é representada na Equação 3.

$$TMPF = \frac{HD}{N^{\circ} \text{ de Falhas}} \quad (3)$$

2.5.4 Backlog

Segundo Viana (2002), *Backlog* é o tempo que uma equipe de manutenção deve trabalhar para concluir todos os serviços pendentes com toda sua força de trabalho de trabalho, ou seja, é a soma de todas as horas previstas de HH em carteira divididas pela capacidade instalada da equipe de executantes.

A Equação 4 representa esse indicador.

$$Backlog = \frac{\sum HH \text{ em corretiva}}{\sum HH \text{ em instalado}} \quad (4)$$

Para o cálculo do HH instalado é preciso levar em consideração uma perda de 20% da sua carga horária, pois nenhum profissional estará todo o seu tempo dedicado aos serviços de manutenção (VIANA, 2002).

2.5.5 Índice de Corretiva (IC)

O Índice de Corretiva representa o percentual das horas de manutenção que foram destinadas à manutenção corretiva, sendo calculado a partir das horas de manutenção corretiva (HMC) e das horas de manutenção preventiva (HMP) (VIANA, 2002).

A Equação 5 define esse indicador.

$$\text{Índice de corretiva} = \frac{\sum HMC}{\sum HMC + \sum HMP} \times 100\% \quad (5)$$

Por meio desse indicador é possível avaliar a real condição do planejamento, programação e execução da manutenção, sendo que um patamar considerado aceitável para o índice de corretiva é inferior a 25% total de horas de manutenção, visto que valores muito altos desse índice resultará em um *Backlog* alto, um alto custo de manutenção e uma Disponibilidade Física baixa.

2.5.6 Índice de Preventiva (IP)

O Índice de Preventiva é o oposto do Índice de Corretiva, ele indica o percentual das horas de manutenção que foram destinadas a manutenção preventiva (VIANA, 2002), conforme a Equação 6 apresenta.

$$\text{Índice de preventiva} = \frac{\sum HMP}{\sum HMC + \sum HMP} \times 100\% \quad (6)$$

2.5.7 Custo de Manutenção por Valor de Reposição

O Custo de Manutenção por Valor de Reposição (CPMV) expressa a relação entre o custo total de manutenção de um equipamento e seu valor de compra, sendo aplicado especialmente a equipamentos de alta criticidade para avaliar sua viabilidade econômica, considerando com referência um CPMV inferior a 6% ao ano (VIANA, 2002).

A Equação 7 é utilizada para realizar o cálculo.

$$CPMV = \frac{\text{Custo total de manutenção}}{\text{Valor de compra do equip.}} \times 100\% \quad (7)$$

2.5.8 Índice de Retrabalho

Segundo Viana (2002), esse indicador representa o percentual de horas trabalhadas em Ordens de Manutenção encerradas que precisaram ser reabertas por algum motivo, em relação ao total trabalhado no período, sendo um parâmetro que permite avaliar a qualidade das manutenções realizadas, se estão sendo definitivas ou apenas paliativas, ocasionando retorno frequente ao equipamento, sendo ideal que esse índice seja zero.

E Equação 8 apresenta o cálculo do indicador.

$$\text{Índice de retrabalho} = \frac{\sum HH \text{ em OM reabertas}}{\sum HH \text{ total no período}} \times 100\% \quad (8)$$

2.5.9 Alocação de HH em OM

De acordo com Viana (2002), o indicador de alocação de Homens Hora em Ordens de Manutenção informa o percentual de horas de manutenção registradas nas ordens em relação à capacidade total disponível no mês, sendo uma ferramenta que auxilia na análise da utilização do sistema de manutenção adotado pela empresa, além de fornecer uma visão sobre possíveis níveis de ociosidade ou sobrecarga das equipes. A Equação 9 define o cálculo.

$$\%HH \text{ alocado em OM} = \frac{\sum HH \text{ indicado em OM}}{\sum HH \text{ instalado em um mês}} \times 100\% \quad (9)$$

2.5.10 Cumprimento da Programação

Esse indicador está relacionado aos serviços programados em comparação com os serviços executados e, ao medir a efetividade do planejamento, indica indiretamente a confiabilidade da instalação (TELES, 2019). A Equação 10 é utilizada para realizar o cálculo.

$$\%Cumprimento da Programação = \frac{HH \text{ Serviços Executados}}{HH \text{ Serviços Planeados}} \times 100\% \quad (10)$$

2.6 Disponibilidade Física (DF)

Kardec e Nascif (2009) explicam que a disponibilidade física, também conhecida como disponibilidade inerente, representa a capacidade de um equipamento estar apto para operar no momento em que for necessário. Essa definição considera apenas o tempo de falha e o tempo de reparo, desconsiderando atrasos externos, como espera por peças ou deslocamento de equipes. Assim a Disponibilidade Física está diretamente relacionada à confiabilidade do ativo e ao tempo necessário para restaurá-lo após uma falha.

Complementando essa visão, a NBR 5462 (1994, p.2), define disponibilidade como a “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

Viana (2002) reforça a relevância desse indicador ao afirmar que a Disponibilidade Física é o principal produto da manutenção, pois reflete diretamente o tempo em que o equipamento está disponível para operar. Segundo o autor esse indicador também pode ser utilizado como ferramenta de diagnóstico para identificar os chamados “equipamentos-problemas”, aqueles que mais impactam a operação por retirarem tempo útil da planta.

Para calcular esse indicador, Viana (2002) propõe a relação entre as horas trabalhadas (HT) e as horas totais disponíveis no período (HG), como mostra a Equação 11.

$$DF = \frac{HT}{HG} \times 100\% \quad (11)$$

A Figura 4 ilustra como essas horas são distribuídas, mostrando as etapas de redução a partir do tempo total disponível até se chegar ao tempo produtivo.

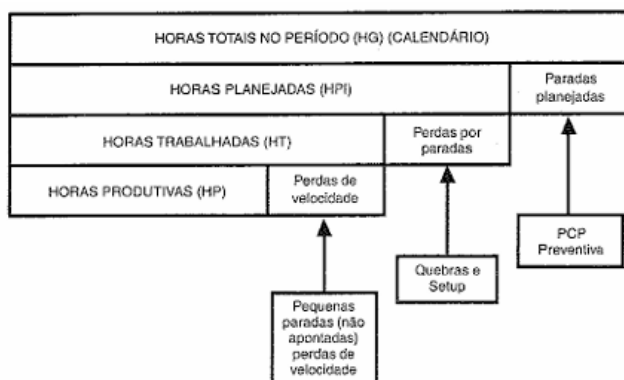


Figura 4 - Representação da distribuição das horas totais no período
Fonte: Viana (2002)

Na Figura 4, observa-se que as horas totais do período são inicialmente reduzidas pelas paradas planejadas, resultando nas horas planejadas (HPI). Em seguida, são descontadas as perdas por paradas não planejadas, como quebras e setups, obtendo-se as horas trabalhadas (HT). Por fim, para chegar às horas produtivas (HP), são consideradas as perdas de velocidade.

Além dessa abordagem baseada em horas trabalhadas e totais, Teles (2019) apresenta outra forma de calcular a Disponibilidade Física, utilizando os indicadores de desempenho, como mostra a Equação 12.

$$DF = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad (12)$$

Este capítulo apresentou a base teórica utilizada no estudo, abordando os principais conceitos relacionados à área de manutenção. No próximo capítulo, será descrita a metodologia adotada para a realização da pesquisa.

3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa, conforme Lakatos e Marconi (2017), é a especificação detalhada que responde às questões: como?, com quê?, onde?, quanto?, abrangendo um conjunto amplo de aspectos necessários para a realização do estudo.

Com base nisso, este capítulo apresenta o tipo de pesquisa utilizado, os materiais e métodos aplicados, as variáveis e indicadores analisados, os instrumentos de coleta de dados e a tubulação desses dados.

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa pode ser entendida como um procedimento racional e sistemática que busca respostas para problema que ainda não possuem informações suficientes ou organizada para sua solução (GIL, 2002). De forma semelhante, Andrade (2010) define a pesquisa como um conjunto de procedimentos baseados no raciocínio lógico, com o objetivo de encontrar soluções para problemas por meio de métodos científicos. Para Ander-Egg *apud* Lakatos e Marconi (2017), a pesquisa é um processo reflexivo, controlado e crítico que possibilita a descoberta de novos fatos, relações ou leis em qualquer área do conhecimento.

As pesquisas podem ser classificadas de diferentes maneiras. Para este estudo, a divisão será feita com base em três critérios principais: os objetivos da pesquisa, a forma de abordagem e os procedimentos técnicos.

Segundo Assis (2018), quanto à forma de abordagem, a pesquisa pode ser quantitativa ou qualitativa.

- Pesquisa quantitativa: a que transforma opiniões e informações em dados numéricos, que são organizados e analisados com o auxílio de métodos estatísticos;
- Pesquisa qualitativa: é uma pesquisa descritiva, trabalha com informações que não podem ser quantificadas, priorizando a interpretação dos fenômenos.

Logo, esta pesquisa é classificada como qualitativa, pois trabalha com dados reais coletados em uma empresa de mineração, com o objetivo de compreender como a manutenção preventiva impacta a Disponibilidade Física de uma frota de carregadeiras.

Quanto aos objetivos, Gil (2002) classifica a pesquisa em exploratória, descritiva ou explicativa. A pesquisa exploratória, conforme Selltriz *et al apud* Gil (2002, p.41):

Têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. Na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que “estimulem a compreensão”.

Dessa forma, a pesquisa é classificada como exploratória, pois busca aprofundar o entendimento sobre o impacto da manutenção preventiva na Disponibilidade Física de uma frota de carregadeiras de uma mineradora, a partir da análise de referências e dados específicos do caso estudado.

De acordo com Vergara (2004), a classificação com base nos procedimentos técnicos utilizados, são: pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, documental, bibliográfica, experimental, *ex post facto*, pesquisa-ação e estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, ou seja, materiais acessíveis ao público em geral (VERGARA, 2004). Em razão disso, a pesquisa é caracterizada como bibliográfica, uma vez que se utiliza de diversos livros para a construção da base teórica.

Já a pesquisa documental, conforme define Vergara (2004), é realizada em documentos conservados no interior de órgãos públicos e privados de qualquer natureza. Nesta pesquisa, essa classificação se aplica porque foi utilizado o plano de manutenção de uma carregadeira pertencente a uma empresa de mineração, o qual serviu como base para a análise do caso estudado.

O estudo de caso, por sua vez, segundo Vergara (2004), consiste na análise profunda e detalhada de uma ou poucas unidades, como pessoas, família, empresa, comunidade e entre outros. Esta pesquisa se enquadra nessa classificação por ter como objetivo examinar de forma profunda e detalhada um problema específico dentro da empresa.

Assim, esta pesquisa é classificada como qualitativa, de natureza exploratória, com procedimentos técnicos bibliográficos, documentais e de estudo de caso.

3.2 Materiais e Métodos

Segundo Lakatos e Marconi (2017, p.96), método é “o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo de produzir conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

Para Assis (2018), método corresponde ao plano geral do trabalho, baseado em princípios lógicos e no processo de raciocínio adotado pelo pesquisador.

Com base nessas definições, a Figura 5 apresenta um fluxograma que representa o conjunto de atividades realizadas no desenvolvimento da pesquisa.

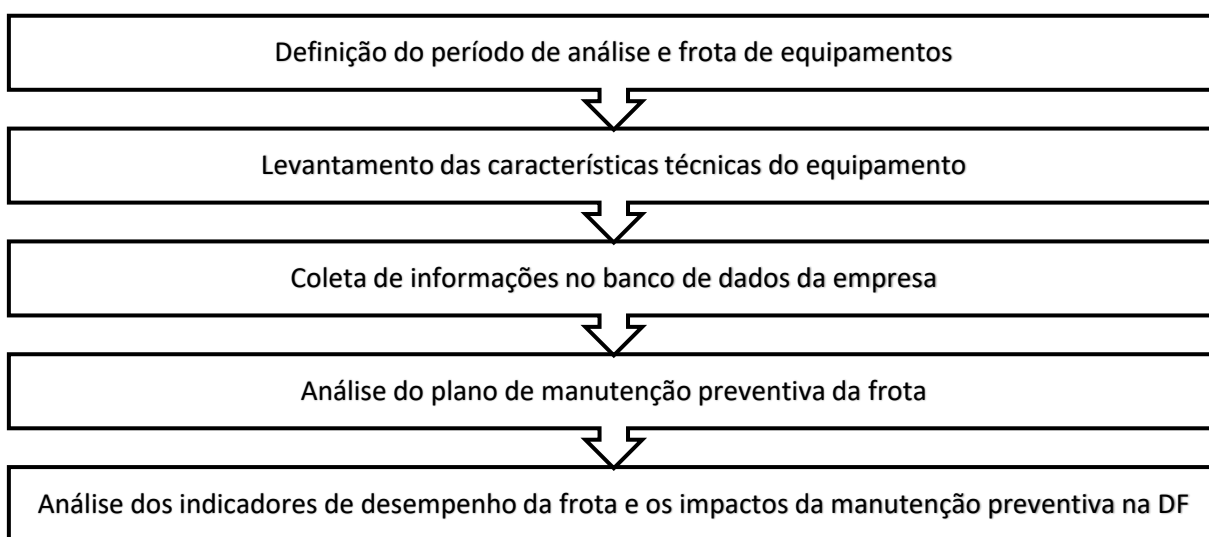


Figura 5 - Fluxograma das etapas da pesquisa
Fonte: Pesquisa direta (2025)

Observa-se na Figura 5 que a primeira etapa da pesquisa consiste na definição do período de análise e da frota a ser estudada. Neste caso, foi analisada a frota de carregadeiras de médio porte da mineradora. Em seguida, realiza-se o levantamento das características técnicas dos equipamentos. Na terceira etapa é feita a coleta de informações no banco de dados da empresa, com foco na obtenção do plano de manutenção do equipamento estudado. Com essas informações o plano de manutenção preventiva é analisado. Posteriormente, analisa-se os indicadores de desempenho da frota no *Power BI*, o que possibilita uma avaliação quantitativa mais precisa. Por fim, é conduzida a análise do impacto da Disponibilidade Física (DF) na frota de equipamentos.

3.3 Variáveis e Indicadores

Segundo Gil (2002, p.32), variável “refere-se a tudo aquilo que pode assumir diferentes valores ou diferentes aspectos, segundo os casos particulares ou as circunstâncias”. De forma complementar, Andrade (2010), define variáveis como fatores ou circunstâncias que influenciam direta ou indiretamente um fato ou fenômeno investigado. A autora cita, como exemplo, uma pesquisa cujo objetivo é evidenciar que países desenvolvidos apresentam baixo índice de analfabetismo, nesse caso, as variáveis seriam o desenvolvimento econômico e o índice de analfabetismo.

Já os indicadores, conforme define Gil (2002), representam diferentes dimensões de uma variável e permitem transformar aspectos abstratos em dados mensuráveis, sendo utilizados especialmente para medir variáveis complexas. A partir dessas definições, a Tabela 2 apresenta as variáveis e os indicadores utilizados no estudo.

Tabela 2 - Variáveis e Indicadores

VARIÁVEIS	INDICADORES
Manutenção preventiva	Disponibilidade Física – DF
	Plano de Manutenção
	Cumprimento da programação
	Tempo Médio entre Falha – MTBF
	Tempo Médio para Reparo – MTTR
	Número de intervenções corretivas – NIC
	<i>Backlog</i>
	Homens da manutenção
	SAP
	Microsoft Excel
	<i>Power BI</i>

Fonte: Pesquisa direta (2025)

A Tabela 2 apresenta a manutenção preventiva como a variável na pesquisa, acompanhada dos principais indicadores que contribuem para analisar seu impacto na Disponibilidade Física de uma frota de carregadeiras. Entre eles estão a própria DF do equipamento, o plano de manutenção, o cumprimento da programação, o MTBF, o MTTR, NIC e *Backlog*.

3.4 Instrumento de coleta de dados

Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos a partir de registros internos de uma empresa de mineração. O plano de manutenção e o *backlog* dos equipamentos foram extraídos por meio do sistema SAP, cuja sigla, em inglês, significa *Systems, Applications & Products in Data Processing*, um ERP (*Enterprise Resource Planning*) que integra todos os departamentos e funções de uma empresa. Os relatórios no *Power BI*, uma plataforma de *Business Intelligence* voltada à análise e visualização de dados, fornecem os principais indicadores de desempenho da frota: Disponibilidade Física, MTBF e MTTR. Por fim, as informações sobre o cumprimento da programação da manutenção foram consultadas a partir de um *dashboard* desenvolvido no *Microsoft Excel*.

3.5 Tabulação dos dados

A tubulação de dados é realizada no Microsoft Excel, a partir da consolidação de informações extraídas dos sistemas SAP e *Power BI*. Serão organizadas tabelas comparativas mensais com os principais indicadores de desempenho da frota de carregadeiras, permitindo identificar padrões relacionados ao cumprimento da manutenção preventiva.

3.6 Considerações Finais

Neste capítulo, foram descritos os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, os quais compreenderam: a caracterização quanto ao tipo de pesquisa, os materiais e métodos utilizados, as variáveis e indicadores do estudo, os instrumentos de coletas de dados e a forma de tabulação desses dados.

No próximo capítulo são apresentados os resultados da pesquisa relativos à questão problema que diz respeito aos impactos da manutenção preventiva na Disponibilidade Física em uma frota de carregadeira em uma mineradora.

4 RESULTADOS

4.1 Características do setor

A empresa analisada é uma companhia brasileira de grande porte que atua no setor de mineração. Sua principal atividade consiste na extração e beneficiamento de minério de ferro, porém ela também atua na mineração de níquel, cobre, manganês, ferroligas, além de outros metais. A empresa também atua na logística, operando portos e ferrovias, e no setor de energia.

A empresa possui operações em diferentes estados brasileiros e presença internacional, mantendo uma ampla infraestrutura logística composta por ferroviárias e terminais portuários. Seu modelo de atuação baseia-se em sistemas integrados que conectam mina, ferrovia, usina e terminal marítimo, garantindo eficiência e competitividade em suas operações.

Sua estrutura operacional é ampla e integrada, englobando atividades de lavra, transporte e processamento do minério, o que exige um sistema de manutenção eficiente. No contexto das operações de mina, a manutenção dos equipamentos móveis de grande porte tem papel estratégico, pois esses ativos são responsáveis por etapas críticas do processo produtivo, como o carregamento e o transporte de material. Dessa forma a indisponibilidade de uma carregadeira, objeto do estudo, pode impactar diretamente o volume de produção da empresa.

O setor responsável pelas atividades de manutenção desses equipamentos é o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), que atua como elo entre a equipe de campo e a gestão operacional, garantindo que as intervenções sejam realizadas com segurança, com qualidade e dentro do prazo. Suas atribuições incluem o acompanhamento de indicadores de desempenho, a programação das manutenções preventivas, a gestão de ordens de serviço e a análise de falhas recorrentes.

A Figura 6 apresenta o comitê executivo da empresa, formado pela presidência e pelas vice-presidência, que compõe a alta gestão. Para fins deste estudo, o organograma também foi detalhado no âmbito da vice-presidência executiva de operações, incluindo os níveis de diretoria e gerência até chegar ao PCM, área do objeto analisado.

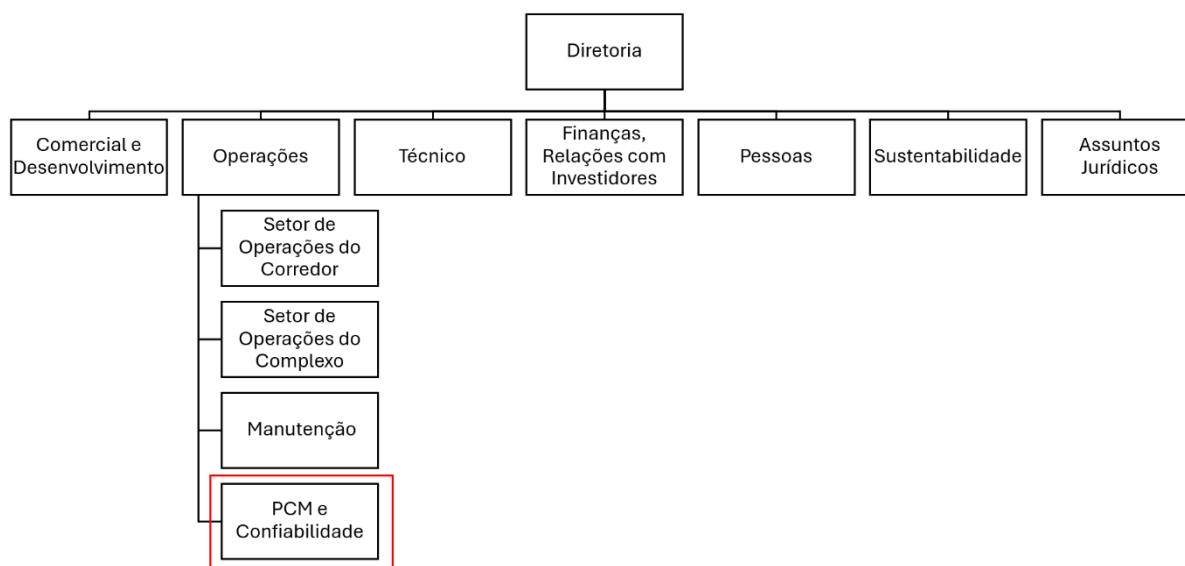


Figura 6 - Estrutura organizacional da empresa
 Fonte: Pesquisa direta (2025)

Conforme ilustrado na Figura 6, o Planejamento e Controle da Manutenção – PCM encontra-se hierarquicamente vinculado a Gerência Geral de Manutenção, subordinada à Diretoria de Operações do Complexo, que por sua vez integra a Gerência de Operações. Essa disposição evidencia o alinhamento do PCM com a gestão operacional e estratégica da empresa, assegurando que as práticas de manutenção estejam conectadas aos objetivos corporativos de disponibilidade, confiabilidade e segurança dos ativos.

4.2 Caracterização frota de carregadeiras de grande porte

A frota analisada é composta por cinco carregadeiras de grande porte do mesmo modelo, equipamentos essenciais nas operações de mineração. Esses ativos atuam principalmente na remoção e carregamento de material nas frentes de lavra, garantindo o fluxo contínuo do processo produtivo. A indisponibilidade de qualquer unidade da frota pode gerar impactos significativos na taxa de alimentação das plantas de beneficiamento e, consequentemente na produção da empresa.

Cada carregadeira possui capacidade de movimentar cargas de até 40 toneladas, sendo projetada para operar em condições severas. O sistema de propulsão é híbrido, combinando motor a diesel e geradores elétricos, o que proporciona maior eficiência energética e capacidade

de tração. Essa configuração atende às exigências de operações pesadas, assegurando desempenho adequado mesmo sob altas solicitações mecânicas e ambientais. A Figura 7 apresenta uma vista técnica da carregadeira em estudo, com a identificação dos principais componentes e conjuntos funcionais da carregadeira. A representação evidencia a distribuição física dos sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos ao longo do equipamento.

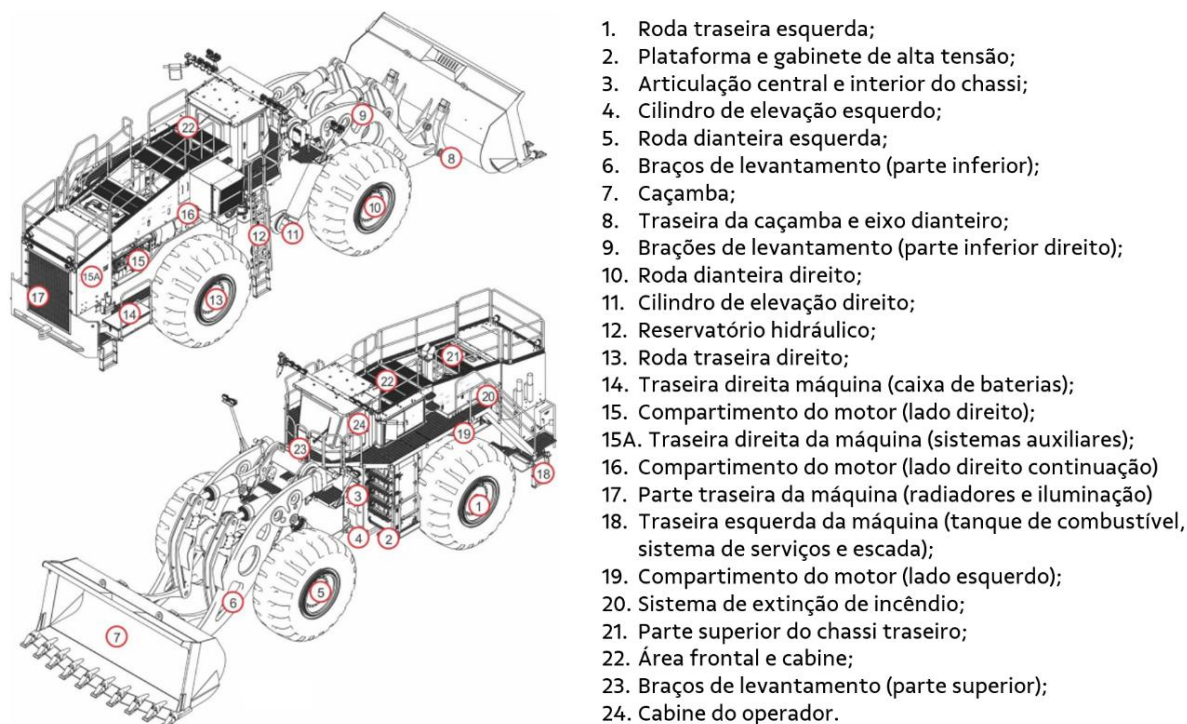


Figura 7 – Vista técnica da carregadeira de grande porte com identificação dos principais componentes
Fonte: Pesquisa direta (2025)

De forma geral, os principais sistemas que compõem cada carregadeira podem ser agrupados da seguinte maneira:

- Motor a diesel: responsável por gerar energia mecânica;
- Geradores e motores elétricos: convertem a energia mecânica em elétrica e realiza a tração das rodas;
- Sistema hidráulico elétrico: responsável pelo acionamento da caçamba durante as operações de elevação e descarga;
- Caçamba frontal: utilizada para escavar, levantar e descarregar o material;
- Chassi articulado: possibilita maior mobilidade e raio de giro reduzido;
- Cabine: equipada com controles ergonômicos e sistemas de monitoramento;
- Sistemas auxiliares: sistemas de arrefecimento, lubrificação, filtragem, controle eletrônico.

Considerando a complexidade e a criticidade desses sistemas, falhas em componentes como motores elétricos, sistemas hidráulicos ou conjuntos de tração podem comprometer significativamente a disponibilidade da frota, refletindo diretamente na produtividade da operação.

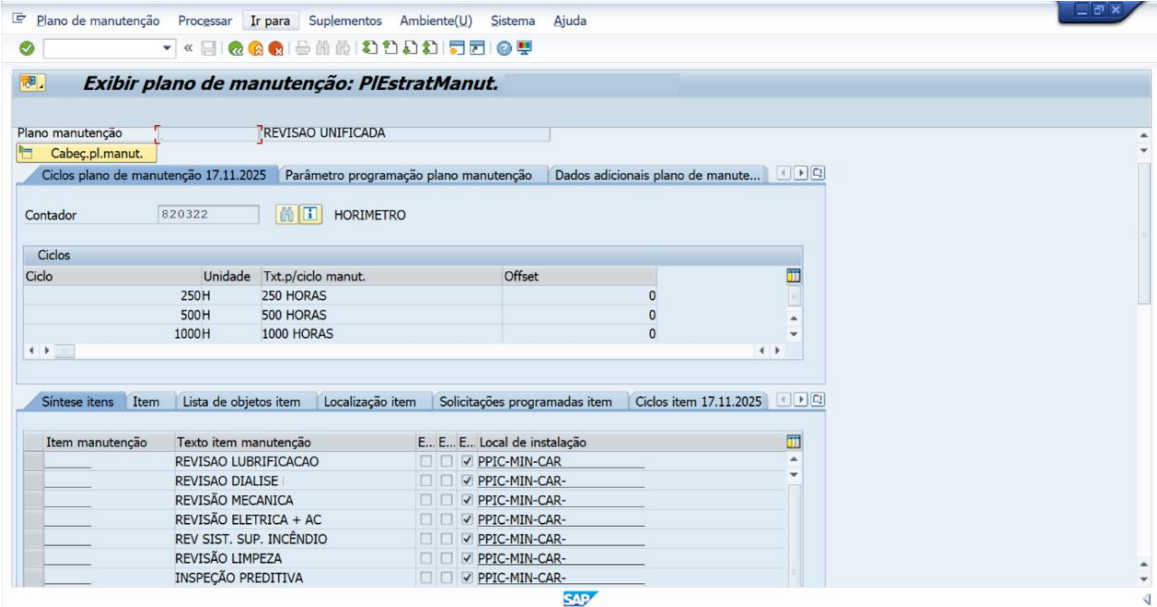
4.3 Análise do plano de manutenção preventiva da frota

4.3.1 Estrutura do plano de manutenção

O plano de manutenção preventiva da frota de carregadeiras tem como principal objetivo garantir a disponibilidade e confiabilidade dos ativos utilizados nas operações de lavra e transporte. Ele é estruturado de forma a programar intervenções periódicas, com base em critérios definidos pelo fabricante e em históricos de desempenho operacional, buscando evitar paradas corretivas não planejadas e reduzir o custo total de manutenção.

As informações do plano de manutenção foram obtidas através do sistema SAP, utilizando-se a transação IP18, que permite visualizar todas as atividades associadas e a periodicidade do plano. Cada equipamento possui um conjunto organizado de rotinas preventivas, consolidadas no plano denominado “Revisão Unificada”.

A Figura 8 apresenta a estrutura do plano de manutenção preventiva extraído da IP18, destacando os serviços a serem executados, sua frequência e a categorização das atividades.



The screenshot displays the SAP IP18 transaction interface. The title bar shows 'Plano de manutenção' and the menu bar includes 'Processar', 'Ir para', 'Suplementos', 'Ambiente(U)', 'Sistema', and 'Ajuda'. The main window title is 'Exibir plano de manutenção: PIEstratManut.'. Below this, there are tabs for 'Plano manutenção', 'Cabeç.pl.manut.', 'Ciclos plano de manutenção 17.11.2025', 'Parâmetro programação plano manutenção', and 'Dados adicionais plano de manute...'. The 'Ciclos' section shows a table with columns 'Ciclo', 'Unidade', 'Txt.p/ciclo manut.', and 'Offset'. The 'Ciclos item 17.11.2025' section shows a table with columns 'Item manutenção', 'Texto item manutenção', 'E..', 'E..', and 'Local de instalação'. The 'E..' column contains checkboxes for 'PPIC-MIN-CAR-'. The 'Local de instalação' column contains the text 'PPIC-MIN-CAR-'. The 'Item manutenção' column lists various maintenance tasks: REVISAO LUBRIFICACAO, REVISAO DIALISE, REVISAO MECANICA, REVISAO ELETRICA + AC, REV SIST. SUP. INCENDIO, REVISAO LIMPEZA, and INSPEÇÃO PREDITIVA.

Ciclo	Unidade	Txt.p/ciclo manut.	Offset
250H	250 HORAS		0
500H	500 HORAS		0
1000H	1000 HORAS		0

Item manutenção	Texto item manutenção	E..	E..	Local de instalação
	REVISAO LUBRIFICACAO	☐	☒	PPIC-MIN-CAR-
	REVISAO DIALISE	☐	☒	PPIC-MIN-CAR-
	REVISAO MECANICA	☐	☒	PPIC-MIN-CAR-
	REVISAO ELETRICA + AC	☐	☒	PPIC-MIN-CAR-
	REV SIST. SUP. INCENDIO	☐	☒	PPIC-MIN-CAR-
	REVISAO LIMPEZA	☐	☒	PPIC-MIN-CAR-
	INSPEÇÃO PREDITIVA	☐	☒	PPIC-MIN-CAR-

Figura 8 - Estrutura do plano de manutenção preventiva
Fonte: Empresa pesquisada (2025)

Nota-se na Figura 8 que o plano de manutenção da carregadeira possui diversos itens de manutenção, cada um representando uma atividade específica a ser executada em um subsistema do equipamento. Entre os principais itens presentes na imagem estão:

- Revisão de lubrificação: consiste na verificação e reposição dos lubrificantes utilizados em diversos pontos do equipamento, como articulações, rolamentos, mancais e sistemas hidráulicos, com objetivo de reduzir o atrito entre componentes móveis, minimizar o desgaste prematuro e evitar o superaquecimento.
- Revisão de diálise: refere-se ao processo de filtragem e limpeza de óleos, principalmente do sistema hidráulico, com o objetivo de remover partículas sólidas, água e contaminantes.
- Revisão mecânica: envolve a inspeção geral dos componentes mecânicos do equipamento, como transmissão, eixos, articulações, estrutura, sistema de suspensão e fixações, onde são verificados folgas, desgastes, trincas e desalinhamento
- Revisão elétrica + ar-condicionado: abrange a verificação dos sistemas elétricos da carregadeira, incluindo chicotes, conexões, sensores, motores elétricos e painéis de controle, além do sistema de climatização da cabine.
- Revisão do sistema de incêndio: consiste na inspeção dos dispositivos de combate a incêndio instalados na carregadeira, como sensores, mangueiras, extintores e módulos de acionamento.
- Revisão de limpeza: relaciona-se à limpeza geral do equipamento, incluindo remoção de poeira, resíduos de minério e acúmulo de sujeira em componentes críticos, com radiadores, filtros e compartimentos do motor.
- Inspeção preditiva: corresponde as atividades de monitoramento das condições operacionais do equipamento, por meio de técnicas como análise de vibração, análise de óleo, termografia e inspeções visuais direcionadas.

Esses itens refletem as áreas críticas da carregadeira e foram definidos para garantir que o equipamento receba inspeções e intervenções sistemáticas em seus principais conjuntos.

4.3.2 Periodicidade e programação das atividades

A periodicidade das intervenções do plano é definida de acordo com o horímetro do equipamento, utilizando ciclos estabelecidos em múltiplos de 250 horas conforme orientação do fabricante. Essa configuração permite que o sistema gere automaticamente as ordens de manutenção com datas planejadas para execução das atividades, garantindo que cada carregadeira receba as inspeções e serviços conforme os parâmetros definidos pela engenharia e pelo histórico operacional. Essa automatização é essencial para manter a previsibilidade das manutenções e reduzir o risco de falhas não planejadas.

A Figura 9 apresenta essas ordens de manutenção geradas pelo SAP, com informações sobre a data de solicitação, data de conclusão, tipo de programação e o desvio em dias entre o planejado e o realizado.

N...	DtPlanej	Data de sol.	Data de conclusão	Pacotes venc.	Tp.programação / status	Desv...	Unidade
1	25.04.2025			01	InícioCic ignorado		
2	15.05.2025			16	Programado,ignorado		
3	14.06.2025		13.06.2025	01	Programado,concl.		1-Di
4	26.06.2025		08.07.2025	02	Programado,concl.		12 Di
5	17.07.2025		31.07.2025	01	Programado,concl.		14 Di
7	04.09.2025		20.09.2025	01	Programado,concl.		16 Di
8	28.09.2025		19.10.2025	02	Programado,concl.		21 Di
9	18.10.2025		07.11.2025	01	Programado,concl.		20 Di
10	24.11.2025			08	Programado,Solicitud		
11	03.12.2025			01	Programado,Solicitud		
12	30.12.2025	12.12.2025		02	Programado,espera		
13	19.01.2026	01.01.2026		01	Programado,espera		
14	08.02.2026	21.01.2026		04	Programado,espera		
15	28.02.2026	10.02.2026		01	Programado,espera		

Figura 9 - Ordens de manutenção planejadas e realizadas

Fonte: Empresa pesquisada (2025)

Observa-se na Figura 9, que embora as ordens sejam geradas automaticamente, há um desvio significativo entre a data planejada e a data de conclusão real das atividades. Em alguns casos esses desvios ultrapassam 20 dias, evidenciando atrasos relevantes na execução das atividades preventivas. Esses atrasos comprometem diretamente o indicador de cumprimento da programação, podendo também impactar a Disponibilidade Física, caso ocorra uma corretiva nesse equipamento devido não ter realizado a preventiva dentro do prazo.

As causas mais comuns para esses desvios incluem um *backlog* elevado, falta de recursos, interferência de paradas corretivas não planejadas e baixa integração entre PCM e operação para liberação dos equipamentos para manutenção.

4.3.3 Detalhamento das tarefas no plano de manutenção

O detalhamento das atividades presentes em cada OM preventiva foi analisado a partir da rotina de revisão de lubrificação, representada na Figura 10.

Oper	CenTrab	Ce...	Ch...	ChvMode	C...	Txt.breve operação	T...	Trabalho real	Trab.	Un	N...	Dur.	Un
0020		1103	FM01	3		REVISÃO LUBRIFICAÇÃO GII 500H		3,430		9,6H	3		3,2H
0080		1103	YPMO	3		MOBILIZACAO PARA ATIVIDADE		0		0H	0		0H
0090		1103	YPMO	3		PREPARACAO FERRAMENTAS/RECURSOS		0		0H	0		0H
0110		1103	YPMO	3		PREPARACAO MATERIAIS DA REVISAO 500H		0		0H	0		0H
0170		1103	YPMO	3		*LEGENDA PRE-FIXO SISTEMAS E SUBSISTEMAS		0		0H	0		0H
0180		1103	YPMO	3		REQUISITOS SSMA		0		0H	0		0H
0190		1103	YPMO	3		*REV_ELETROMEC- PREPARATIVOS SEGURANCA		0		0H	0		0H
0200		1103	YPMO	3		PREENCHIMENTO DOC SEGURANCA (ART/PTS)		0		0H	0		0H
0210		1103	YPMO	3		SEG_ATENCAO A POSSIVEIS RISCOS		0		0H	0		0H
0220		1103	YPMO	3		SEG_ATENCAO AOS RISCOS DE ESMAGAMENTO		0		0H	0		0H
0230		1103	YPMO	3		SEG_ATENCAO RISCOS ENERGIAS RESIDUAIS		0		0H	0		0H

Figura 10 - Lista de tarefas do plano de lubrificação
Fonte: Empresa pesquisada (2025)

Na Figura 10 é possível observar algumas atividades prevista em uma OM sistemática de revisão de lubrificação do equipamento, algumas dessa atividades são a mobilização, preparação de ferramentas e recursos, além de etapas relacionada à segurança, como preenchimento de documentos e verificação de riscos. Também é possível observar o tempo previsto para execução o trabalho real realizado.

Essa lista é bem detalhada, contendo 88 linhas no total. Esse nível de detalhamento garante padronização e rastreabilidade das atividades, reduzindo riscos de falhas por emissão. No entanto, algumas dessas atividades que estão na lista podem ser muito redundantes, o que aumenta a carga administrativa para quem executa. A simplificação do plano, por meio de

agrupamento de tarefas semelhantes ou eliminação de etapas que não agregam valor, poderia tornar a execução mais ágil e menos burocráticas, sem comprometer a qualidade da manutenção.

4.4 Análise dos indicadores de desempenho da frota

Os indicadores de desempenho da frota foram obtidos inicialmente a partir de um relatório no *Power BI*, ferramenta que consolida informações operacionais da frota e posteriormente exportados para o Excel, onde foi elaborada uma planilha contendo os principais dados referente a um período de 10 meses, de Janeiro a Outubro de 2025. A Figura 11 apresenta o painel utilizado como fonte de extração dos dados.

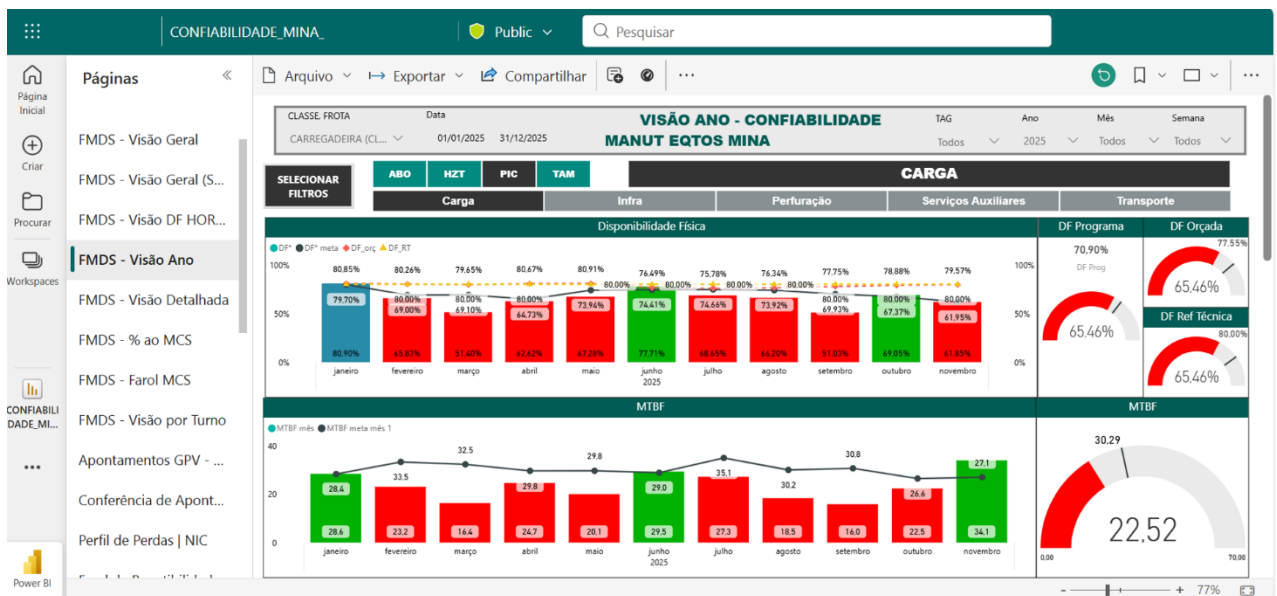


Figura 11- Painel de indicadores utilizado como fonte de extração de dados do Power BI
Fonte: Empresa pesquisada (2025)

Verifica-se na Figura 11 um exemplo do painel consultado no Power Bi, utilizado como fonte de extração dos dados. As informações foram organizadas e tratadas em uma planilha no Excel com os principais indicadores para o estudo, que são: Disponibilidade Física (DF), Tempo médio entre falhas (MTBF), Tempo médio para reparo (MTTR), Número de intervenções corretivas (NIC) e Aderência a programação (APR).

Na Tabela 3 observa-se os indicadores já organizados no Excel após a extração dos dados. Nela, constam os valores atingidos mensalmente pela frota de carregadeira e suas metas,

permitindo uma comparação direta entre o desempenho real do equipamento e o esperado pela empresa.

Tabela 3 - Indicadores de desempenho da frota

Mês ▾	DF - Meta ▾	DF - Atingida ▾	MTBF - Meta ▾	MTBF - Atingido ▾	MTTR - Meta ▾	MTTR - Atingido ▾	APR - Meta ▾	APR - Atingido ▾	NIC ▾
Janeiro	70,70%	80,90%	28,44	28,56	6,40	4,37	80,00%	72,89%	54
Fevereiro	69,00%	65,83%	33,46	23,16	6,10	4,36	80,00%	65,31%	61
Março	69,10%	51,40%	32,46	16,40	6,10	8,52	80,00%	71,50%	80
Abril	64,73%	62,62%	29,78	24,73	6,10	10,62	80,00%	74,47%	51
Maiο	73,94%	67,28%	29,80	20,08	6,10	8,84	80,00%	77,61%	71
Junho	74,71%	77,71%	29,00	29,47	6,40	3,28	80,00%	61,09%	53
Julho	74,66%	68,65%	35,13	27,34	5,30	10,53	80,00%	67,95%	56
Agosto	73,92%	66,20%	30,15	18,47	6,60	7,60	80,00%	85,54%	74
Setembro	69,93%	51,03%	30,83	15,96	7,50	6,39	80,00%	79,82%	65
Outubro	67,37%	69,05%	26,59	22,46	8,10	5,24	80,00%	83,52%	62

Fonte: Pesquisa direta (2025)

A análise dos dados evidenciados na Tabela 3 mostra que a manutenção preventiva exerceu influência direta sobre o comportamento dos indicadores operacionais analisados ao longo do período estudado. Um dos efeitos mais relevantes aparece no MTBF, que representa o tempo médio entre as falhas. Nos meses de março e setembro que o MTBF foi mais baixo (16,40h e 15,96h), observe-se também muitas paradas corretivas, refletidas no NIC com valores de 80 e 65, respectivamente. Esses resultados sugerem que, nesses meses, as rotinas preventivas não foram suficientes para evitar a manifestação de falhas, que poderiam ter sido identificadas por inspeções mais detalhadas ou substituições programadas de componentes críticos.

Por outro lado, nos meses de janeiro e junho em que o MTBF foi mais elevado (28,56h e 29,47) superou a meta estabelecida nos meses, de 28,44h e 29,00h, respectivamente, foram os meses teve o menor número de intervenções corretivas (54 e 53), refletindo em uma melhor condição operacional e maior intervalo entre falhas, indicando que as intervenções realizadas em manutenções anteriores tiveram efeito positivo sobre a confiabilidade do equipamento. Isso demonstra que a manutenção preventiva bem executada, aumenta a estabilidade operacional e reduz a probabilidade de corretivas emergenciais.

Em relação ao MTTR, os resultados se mantiveram relativamente estável ao longo do período e ficou dentro da meta estabelecida em 5 meses, variando entre 4,37h e 10,52h, o que indica que o processo de reparo é consistente e padronizado e o tempo de atendimento e execução dos reparos, seguem dentro do esperado.

O número de intervenções corretivas (NIC) apresentou um comportamento que evidencia a influência da manutenção preventiva. Os meses com maior número de NIC, que foram março (80) e agosto (74), indicam tanto a falha da prevenção de problemas quanto o impacto de períodos anteriores com manutenção menos efetiva. Quando a preventiva é executada de forma incompleta ou superficial, tende a surgir novas falhas em um curto período de período.

O indicador APR (Aderência à programação) representa o percentual de ordens de manutenção preventivas programadas que foram efetivamente realizadas dentro do período previsto, com meta estabelecida em 80%. Ao longo dos dez meses avaliados, apenas agosto (85,54%) e outubro (83,52%) superaram a meta. Nos demais meses, o APR manteve-se entre aproximadamente 65% e 79%, evidenciando dificuldade em executar integralmente as atividades preventivas previstas no planejamento semanal.

Essa variação demonstra que a execução da manutenção preventiva sofre influência de fatores operacionais, como restrições de disponibilidade dos equipamentos nas janelas programadas, urgências de manutenções corretivas e rearranjos operacionais, que podem deslocar recursos e prioridades. Dessa forma, o APR reflete diretamente o grau de disciplina e aderência ao plano preventivo estabelecido, permitindo acompanhar em que medida o planejamento de manutenção se converte em execução real.

De forma geral, os indicadores analisados mostram que a manutenção preventiva tem influência significativa no desempenho operacional da frota, impactando diretamente o MTBF, ao ampliar o intervalo entre falhas, e o NIC, ao reduzir o número de intervenções corretivas no mês. O APR, por sua vez, mostra o percentual do cumprimento da programação preventiva, enquanto o MTTR que avalia o tempo médio para reparo se manteve estável. Esse conjunto de resultados reforça que a eficiência da manutenção preventiva depende não apenas da programação das atividades, mas também da efetividade do serviço.

4.5 Análise dos impactos da manutenção preventiva na Disponibilidade Física

Ao analisar os dados ao longo dos dez meses estudados, observa-se pela Tabela 3 que a variação da DF se correlaciona diretamente com o comportamento dos indicadores que refletem a confiabilidade e a incidência de falhas, especialmente o MTBF e o NIC, os quais são influenciados pela efetividade da manutenção preventiva.

Nos meses em que a DF apresentou menores valores, como março (51,40%) e setembro (51,03%), também se verificaram os menores valores de MTBF e os maiores valores de NIC. Nessas situações, o intervalo entre falhas foi reduzido, refletindo menor confiabilidade operacional e exigindo intervenções corretivas mais frequentes.

Em contrapartida, os meses que apresentaram a maior DF, como janeiro (80,90%) e junho (77,71%), também registraram MTBF mais elevados, 28,56h e 29,47h, respectivamente, indicando que o equipamento permaneceu operando por períodos mais longos sem falhas. Nessas condições, a menor incidência de corretivas resultou em um período de operação contínua mais consistente, reforçando a importância de uma manutenção preventiva eficiente na confiabilidade do equipamento.

Ao comparar o MTTR com o comportamento da DF, nota-se que nos meses em que o MTTR permaneceu dentro da meta, como em junho e janeiro que a meta era de 6,40h e o MTTR atingido foi de 3,28h e 4,37, respectivamente, a DF atingiu bons valores, entre 77% e 81%. Já no de março que o MTTR atingido foi 8,52h ficando acima da meta de 6,10h e no mês de julho onde a meta era 5,30h e o MTTR atingiu 10,53, a DF permaneceu abaixo do esperado. Esse comportamento demonstra que tempos de reparos mais longos intensificam a indisponibilidade do equipamento, indicando a importância de manutenções corretivas ágeis, com adequada disponibilidade de peças, recursos, e planejamento de execução.

Já o APR, embora ele representar o percentual de cumprimento da programação, seu comportamento não se mostrou diretamente ligado a disponibilidade do equipamento. Nos meses em que o APR superou a meta de 80%, como agosto (85,54%) e outubro (83,52%), a disponibilidade não acompanhou esse bom desempenho, com DF de 66,20% e 69,05%, respectivamente. Esse resultado reforça que o APR mede o desempenho do PCM ao programar as ordens de manutenção, mas não a qualidade daquela manutenção, ou seja, esse indicador não

garante que os todos os serviços que estava na lista de tarefas foi realizado pela equipe de execução.

De forma geral, a análise demonstra que a disponibilidade física está associada principalmente ao aumento do MTBF e a redução do NIC, os quais refletem a eficácia real da manutenção preventiva em evitar falhas. Além disso, o MTTR mostrou-se igualmente relevante ao evidenciar que a rapidez na resposta às falhas contribui diretamente para mitigar perdas de disponibilidade.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

O presente trabalho buscou analisar como a manutenção preventiva impacta na Disponibilidade Física de uma frota de carregadeiras de uma mineradora, ao longo do período de janeiro a outubro de 2025, considerando dados reais de operação e manutenção. A análise dos indicadores operacionais demonstrou que a manutenção preventiva exerce influência direta sobre o comportamento do MTBF, NIC, MTTR e da disponibilidade do equipamento.

Os resultados evidenciaram que a confiabilidade operacional aumenta quando os intervalos entre falhas são maiores, refletindo a eficácia das atividades preventivas em antecipar e mitigar falhas potenciais. Da mesma forma, observou-se que a redução do número de corretivas está associada ao período de maior estabilidade operacional, sugerindo que o processo de inspeção e intervenção sistemática contribui para a diminuição de falhas não planejadas.

Embora o APR tenha indicado o percentual de cumprimento das atividades programadas, os resultados mostram que a execução da manutenção planejada não necessariamente reflete em melhoria instantânea da disponibilidade física. Esse comportamento destaca que a eficácia da manutenção preventiva depende não apenas de sua realização, mas da profundidade técnica com que cada atividade é conduzida, especialmente em relação à identificação precoce de desgaste e falhas intermitentes.

A análise do MTTR reforçou o papel crítico da agilidade no reparo. A permanência do equipamento em condição de falha por um longo período, contribuiu diretamente para a redução

da disponibilidade física, indicando oportunidade de aprimoramento, relacionado ao fluxo de atendimento, à logística de peças e à capacidade técnica da equipe de manutenção.

Assim, conclui-se que a manutenção preventiva, quando executada de forma estruturada e com foco na prevenção de falhas, é determinante para a confiabilidade operacional da frota, contribuindo para uma boa operação e para a redução de custos decorrentes de paradas não planejadas.

5.2 Recomendações

Mediante o estudo realizado, recomendam-se os seguintes trabalhos futuros:

- Estudar as melhorias na disponibilidade física refletem diretamente em ganhos de produção na empresa, considerando diferentes cenários operacionais;
- Realizar estudos que avalie os efeitos da manutenção preventiva, preditiva e corretiva sobre indicadores como DF, confiabilidade e custos, aplicados a diferentes equipamentos críticos da mineração;
- Analisar como variações no ambiente de mineração influenciam a eficácia da manutenção preventiva e na confiabilidade dos equipamentos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. Rio de Janeiro: Érica, 2015. E-book. p.16. ISBN 9788536519791. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536519791/>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- CITISYSTEMS. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/indicadores-performance-manutencao-industrial/>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- DHILLON, B.S. **Engineering maintenance: A modern approach**. Boca Raton: CRC Press, 2002. 222 p.
- DORIGO, L. C. Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Tecém. 2013.
- ENGETELES. Disponível em: <https://engeteles.com.br/indicadores-de-manutencao/>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira; SILVEIRA, Aline Moraes. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.
- MOBLEY, R. Keith. **An introduction to predictive maintenance**. 2. ed. New York: Butterworth-Heinemann, 2002. 456 p.
- MONCHY, François. **A função manutenção: formação para gerência da manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Durban, 1989. 424 p.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002. 747 p.
- SOEIRO, Marcus Vinícius de Abreu; OLIVIO, Amauri; LUCATO, André Vicente Ricco. **Gestão da Manutenção**. Londrina: Educacional S.A., 2017. 208 p.
- TELES, Jhonata. **PCM – Planejamento e controle de manutenção descomplicado: uma metodologia passo a passo para implantação do PCM**. Brasília: Engeteles, 2019. 240 p.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM - Planejamento e controle de manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a manutenção produtiva.** Belo Horizonte: Editora DG, 1998. 302 p.