



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Thaís Cunha Gonçalves

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE
PARA EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA DO SETOR DE
MINERAÇÃO**

**OURO PRETO - MG
2024**

Thaís Cunha Gonçalves
tcunhagoncalves@gmail.com

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE
PARA EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA DO SETOR DE
MINERAÇÃO**

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

Professor orientador: DSc. Washington Luis Vieira da Silva

OURO PRETO – MG
2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G635a Goncalves, Thais Cunha.

Aplicação da manutenção centrada na confiabilidade para equipamentos de uma empresa do setor de mineração. [manuscrito] / Thais Cunha Goncalves. Thais Cunha Goncalves. - 2024. 52 f.

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

1. Confiabilidade (Engenharia). 2. Confiabilidade (Engenharia) - Manutenção. 3. Localização de falhas (Engenharia). 4. Britadores - Lokotrack. 5. Correias transportadoras. I. Goncalves, Thais Cunha. II. Silva, Washington. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Thaís Cunha Gonçalves

Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade para equipamentos de uma empresa do setor de mineração

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 26 de Setembro de 2024

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 Luis Vieira da Siva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/10/2024, às 06:04, 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 **0791749** e o código CRC **094822BB**.

Dedico esse trabalho a minha família em especial meus pais Nilo e Ana Paula e meu irmão Rafael.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço profundamente ao meu orientador, DSc. Washington Luis Vieira da Silva, por sua dedicação, paciência e orientação durante toda a elaboração deste trabalho. Suas orientações precisas e seu vasto conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste TCC e para o meu crescimento como estudante e futuro profissional.

Também expresso minha gratidão a todos os professores do curso de Engenharia Mecânica, que ao longo desses anos me proporcionaram uma base sólida de conhecimento. Suas contribuições foram essenciais para minha formação e me ajudaram a trilhar este caminho com confiança e determinação.

A vida republicana de Ouro Preto e República Mexicanas obrigada por todo apoio e crescimento pessoal que me proporcionaram.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

RESUMO

O trabalho consiste em um estudo de confiabilidade com foco na aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nos equipamentos de uma mina pertencente a uma empresa do setor de mineração. O objetivo central foi implementar a MCC para otimizar a gestão da manutenção, aumentar a eficiência operacional e reduzir o tempo de paradas não planejadas, com a consequente diminuição de gastos imprevistos. A metodologia empregada foi um estudo de caso, analisando dados históricos de falhas e paradas de manutenção corretiva ao longo de seis meses. A partir dos resultados, identificaram-se quatro equipamentos críticos: dois Lokotracks e duas correias transportadoras. Destes, três apresentaram modos de falha críticos-crônicos, como correia rasgada e motor elétrico queimado no Lokotrack 2, excitador em falha no Lokotrack 3 e falhas na transmissão de dados na Correia Transportadora 41. A identificação desses modos de falha permitiu o disparo de gatilhos para análises detalhadas, visando investigar suas causas raízes e melhorar a confiabilidade dos ativos.

Palavras-chave: Confiabilidade. MCC. Manutenção Corretiva. Análise de falha. Lokotrack. Correia Transportadora.

ABSTRACT

This work consists of a reliability study focusing on the application of Reliability-Centered Maintenance (RCM) to the equipment of a mine owned by a mining company. The main objective was to implement RCM to optimize maintenance management, increase operational efficiency, and reduce unplanned downtime, resulting in a decrease in unexpected expenses. The methodology employed was a case study, analyzing historical data on failures and corrective maintenance over six months. From the results, four critical pieces of equipment were identified: two Lokotracks and two conveyor belts. Three of these exhibited chronic critical failure modes, such as a torn belt and a burnt electric motor in Lokotrack 2, a failing exciter in Lokotrack 3, and data transmission failures in Conveyor Belt 41. The identification of these failure modes enabled the triggering of detailed analyses to investigate their root causes and improve asset reliability.

Key-words: Reliability. RCM. Corrective Maintenance. Failure Analysis. Lokotrack. Conveyor Belt.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	5
FIGURA 2: DIAGRAMA DE DECISÃO REFERENTE AO TIPO DE ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	9
FIGURA 3: GRÁFICO DE PARETO	10
FIGURA 4: PADRÃO DE DISPERSÃO	11
FIGURA 5: TELA INICIAL DO MÊS	15
FIGURA 6: PROCESSO PRODUTIVO	16
FIGURA 7: ORGANOGRAMA DA EMPRESA	17
FIGURA 8: CORREIA TRANSPORTADORA	19
FIGURA 9: LOKOTRACK	20
FIGURA 10: PARETO NÚMERO DE OCORRÊNCIA POR EQUIPAMENTO	22
FIGURA 11: PARETO TEMPO PARADO POR EQUIPAMENTO	22
FIGURA 12: GRÁFICO CRÍTICO-CRÔNICO	24
FIGURA 13: GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS EQUIPAMENTOS DA MINA	25
FIGURA 14: GRÁFICO DE DISPERSÃO LOKOTRACK 2	27
FIGURA 15: GRÁFICO DE DISPERSÃO LOKOTRACK 3	29
FIGURA 16: GRÁFICO DE DISPERSÃO CORREIA TRANSPORTADORA 41	31
FIGURA 17: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA CORREIA TRANSPORTADORA 37	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	13
TABELA 2 - VARIÁVEIS E INDICADORES	14
TABELA 3- BANCO DE DADOS MES	21
TABELA 4 - TABELA TRATADA DE PARADAS.....	21
TABELA 5 - ANÁLISE EQUIPAMENTOS DA MINA	23
TABELA 6 - CÁLCULO DOS LIMITES PARA OS EQUIPAMENTOS DA MINA.....	25
TABELA 7 - ANÁLISE LOKOTRACK 2	26
TABELA 8 - CÁLCULO DOS LIMITES PARA O LOKOTRACK 2.....	27
TABELA 9 - ANÁLISE LOKOTRACK 3	28
TABELA 10 - CÁLCULO DOS LIMITES LOKOTRACK 3	28
TABELA 11 - ANÁLISE CORREIA TRANSPORTADORA 41.....	30
TABELA 12 - CÁLCULO LIMITES CORREIA TRANSPORTADORA 41.....	30
TABELA 13 - ANÁLISE CORREIA TRANSPORTADORA 37.....	31
TABELA 14 - CÁLCULO DOS LIMITES DA CORREIA TRANSPORTADORA 37	32
TABELA 15 - RESUMO DOS MODOS DE FALHA CRÍTICO-CRÔNICO POR ATIVO	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Geral	2
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Manutenção	4
2.2	Métodos de Manutenção.....	5
2.2.1	Manutenção corretiva	5
2.2.2	Manutenção preventiva.....	6
2.2.3	Manutenção preditiva	7
2.3	Manutenção Centrada na Confiabilidade	8
2.3.1	Ferramentas de manutenção	10
3	METODOLOGIA.....	12
3.1	Tipos de pesquisa.....	12
3.2	Materiais e métodos.....	13
3.3	Variáveis e indicadores.....	13
3.4	Instrumento de Coleta de Dados.....	14
3.5	Tabulação dos Dados	15
3.6	Considerações finais do capítulo	15
4	RESULTADOS.....	16
4.1	Características do setor.....	16
4.2	Equipamentos	18
4.3	Aplicação da MCC	20
4.3.1	Análise de paradas	20
4.3.2	Análise de confiabilidade	23
4.3.3	Estudo do <i>Lokotrack 2</i>	26

4.3.4	Estudo do <i>Lokotrack 3</i>	28
4.3.5	Estudo da Correia transportadora 41	29
4.3.6	Estudo da Correia transportadora 37	31
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	35
5.1	Conclusão	35
5.2	Recomendações	35
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	36
	ANEXO	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Observa-se, a partir da literatura especializada, que as empresas necessitam de várias funções organizacionais para impulsionar suas atividades, como por exemplo: produção, vendas e manutenção.

De acordo com Almeida (2018, p.15), entende-se por manutenção: “o conjunto de cuidados e procedimentos técnicos necessários ao bom funcionamento e também ao reparo de máquinas, equipamentos, peças, moldes e ferramentas”. Já Segundo Slack (2007), A manutenção é uma prática adotada pelas empresas para preservar e cuidar de suas instalações físicas ao prevenir falhas, considerando as consequências que essas falhas podem acarretar para o sistema.

Com o avanço da globalização, surgiu o crescimento nas demandas e, com isso, a necessidade de maior produção sem que ocorresse aumento nos preços. Com isso, tem-se a necessidade de otimizar os processos de modo que ocorram menos falhas, sejam falhas que prejudiquem o produto, os equipamentos ou que coloquem em risco a segurança. Dessa forma, há a necessidade de maior confiabilidade nos processos. (FOGLIATO, 2009).

De acordo com Moubray *apud* Viana (2000), a Manutenção Centrada na Confiabilidade é um processo que determina os requisitos de manutenção de qualquer item no seu contexto operacional, e promove ampla visão dos ativos, ao analisar suas potenciais falhas, os impactos que essas falhas causariam e assim, desenvolvendo planos de manutenção preventiva.

Para Fogliato (2009, p.2), “a definição de confiabilidade implica especificação do propósito ou uso pretendido para o item em estudo”. Logo, o estudo é direcionado para o setor da mineração. Em uma mineradora acontecem diversos processos produtivos com o mineiro de ferro até chegar ao cliente final, como a moagem, britagem, peneiramento, esses processos iniciam na mina.

Na mina, local que se realiza a extração do minério de ferro, é um dos ambientes mais hostis para os equipamentos devido à alta quantidade de partículas podendo levar problemas ao equipamento como o *lokotrack*, as correias transportadoras, os rolamentos, entre outros equipamentos. Nestes podem acontecer problemas nas estruturas dos equipamentos, sensores descalibrados, rolamentos travados, correia danificada, problemas devido à sobrecarga e altas temperaturas, entre outros problemas.

Dado esses problemas, é necessário a propor a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade na mina, pois é possível prolongar a vida útil dos equipamentos, monitorar de forma contínua, identificar os problemas antes mesmo que aconteçam, e assim evitar paradas não programadas. Além disso, a MCC permite que as manutenções sejam priorizadas de acordo com a criticidade dos ativos.

Diante do contexto, tem-se a seguinte problemática:

Como aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade para os equipamentos de uma empresa do setor de mineração?

1.2 Justificativa

Para Almeida (2018, p.16) “a Manutenção também evoluiu, não só no que se refere aos procedimentos práticos de montagem, desmontagem, substituição de peças e alinhamento, mas principalmente na “Administração da Manutenção” e no desenvolvimento de tipos de manutenção que atendessem a cada necessidade industrial.”

De acordo com Fogliato (2009, p.216), “devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de MCC têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção.” Ainda segundo Fogliato (2009), a MCC permite que as empresas alcancem ótimos resultados quando se analisa as atividades de manutenção, ela faz com que aumente a disponibilidade física das máquinas e reduz custos associados a defeitos, reparos e substituições de peças.

Dessa forma, propondo a aplicação da MCC a empresa poderá identificar de forma proativa os possíveis pontos de falha dos equipamentos, podendo aumentar a eficácia operacional, diminuindo paradas não programadas e minimizar o tempo ocioso dos equipamentos. Além disso, com a aplicação da MCC a empresa poderá reforçar sua segurança operacional uma vez que seria possível identificar potenciais falhas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade para os equipamentos da mina de uma empresa do setor de mineração.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre: manutenção, métodos de manutenção, Manutenção Centrada na Confiabilidade;
- Elaborar um procedimento metodológico para realizar o diagnóstico para aplicar o MCC para a mina da empresa estudada;
- Comparar os dados obtidos com a base teórica para propor a MCC para a empresa estudada.

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.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica dos conceitos e teorias a respeito da manutenção. Também são relatados os diferentes tipos e formas de organização da manutenção e a Manutenção Centrada na Confiabilidade.

O Capítulo 3 descreve a metodologia e os métodos utilizados na pesquisa. Já o Capítulo 4 apresenta os resultados e as discussões referentes ao estudo realizado, com análise importante para determinar os equipamentos críticos e seus modos de falha.

A conclusão do trabalho é apresentada no Capítulo 5, que são destacadas as principais conclusões do estudo, buscando responder ao problema levantado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

As atividades de manutenção têm o propósito de corrigir e evitar danos e deterioração nos equipamentos e instalações devido ao desgaste e uso contínuo. Esses danos podem ser evidenciados por perda de eficiência, aparência inadequada e interrupções na produção. (XENOS,2014)

Para Almeida (2015), manutenção é uma palavra derivada do latim *manus terene* que tem o sentido de manter o que se tem e pode ser definida de várias formas, mas sempre mostrando a preocupação com o sistema produtivo e o funcionamento eficaz das máquinas e equipamentos. Ainda segundo Almeida (2015), a manutenção pode ser entendida como o conjunto de precauções e procedimentos técnicos para garantir o adequado desempenho de máquinas, equipamentos, peças e ferramentas, assim como seu reparo.

Segundo Tavares (2005), a manutenção não é vista da mesma forma que no passado, pois era utilizada apenas em casos de quebra ou de parada dos equipamentos, e devido à vontade de se evitar paradas e quebras é vista com outros olhos, investindo em métodos, técnicas e instrumentos para monitorar o funcionamento dos equipamentos afim de evitar maiores gastos.

A manutenção desempenha um papel não apenas na operação de máquinas e equipamentos, mas também na fase de projeto. Nessa etapa, é importante considerar critérios que facilitem as operações de manutenção futuras, como a disposição das peças, a acessibilidade dos conjuntos para os técnicos e o dimensionamento adequado dos componentes. Dessa forma, é possível garantir que as atividades de manutenção sejam realizadas com eficiência e eficácia ao longo do ciclo de vida dos equipamentos (ALMEIDA, 2015)

De acordo com Kardec e Nascif (2015), a manutenção pode ser dividida em três gerações. A primeira abrange o período de antes da Segunda Guerra Mundial, onde a indústria era pouco mecanizada. A segunda vai desde a Segunda Guerra até meados dos anos 60, nesse período houve aumento da mecanização e diminuição da mão de obra, além do aumento da complexidade das instalações industriais. Já a terceira geração é considerada a partir da década de 70 onde percebe-se uma aceleração no processo de mudança nas indústrias, com a

utilização do sistema *just-in-time*, onde o estoque é reduzido, foi notada a importância de evitar as paradas nas fábricas.

A figura 1 resume as gerações da manutenção de acordo com cada etapa praticada em cada época:



Figura 1: Evolução da manutenção
Fonte: Pereira (2011)

Observa-se na figura 1 que existe uma clara progressão na evolução da manutenção. Na primeira geração, as atividades de manutenção eram realizadas apenas após a ocorrência de falhas e danos nos equipamentos. A segunda geração foi impulsionada pela automação e pela introdução dos computadores, fatores cruciais para o surgimento da manutenção preventiva. Por fim, a terceira geração é caracterizada pela gestão da manutenção em um nível organizacional, envolvendo estratégias e abordagens mais abrangentes para garantir a eficiência e o desempenho dos processos de manutenção.

2.2 Métodos de Manutenção

2.2.1 Manutenção corretiva

Para Kardec e Nascif (2015), a manutenção corretiva acontece quando é feita a manutenção em um equipamento que está em falha ou que não está operando com o desempenho esperado, com isso é dividido este método de manutenção em dois grupos:

- Manutenção corretiva não planejada ou emergencial;
- Manutenção corretiva planejada.

Ainda para Kardec e Nascif (2015), a manutenção corretiva não planejada acontece quando é preciso realizar a correção de uma falha aleatória, por isso também é chamada de emergencial, pois não há tempo para o planejamento antecipado da manutenção. Já a manutenção corretiva planejada ocorre para corrigir alguma falha de desempenho, podendo ser planejada e assim gerando menos custos que a emergencial.

Em contrapartida, para Viana (2006) a manutenção corretiva exclui o planejamento sendo utilizada de forma imediatista para correção de falhas aleatórias. Ainda segundo Viana (2006), é realizada afim de evitar maiores danos aos instrumentos, às pessoas e ao meio ambiente.

Para Almeida (2015), a manutenção corretiva é de caráter imediatista uma vez que o mecânico tem que interromper outras demandas para atender a essa manutenção. Esta é realizada da forma mais rápida possível com a finalidade de evitar maiores prejuízos com a parada não programada do equipamento, podendo este prejuízo relacionado com a parada de produção, mão de obra, entre outros.

Segundo Xenos (2014), a manutenção corretiva é sempre realizada depois que uma falha ocorre e implica em muitos aspectos financeiros. Ainda para Xenos (2014) com a parada não programada de produção pode acarretar muito prejuízo para a empresa, sendo assim necessário um estudo para saber o que seria mais vantajoso em cada caso, a manutenção corretiva ou realizar ações preventivas.

2.2.2 Manutenção preventiva

Segundo Xenos (2014) a manutenção preventiva deve ser a principal atividade em qualquer empresa, ela envolve tarefas que devem ser feitas periodicamente tais como inspeções, reforma e trocas e peças. O custo pode ser maior que a corretiva, se comparado somente os custos de manutenção, pois os componentes têm que ser trocados ou reparados antes do limite para a falha, mas isso faz com que a frequência da ocorrência de falhas diminua (XENOS, 2014).

Kardec e Nascif (2015, p.42) falam “manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou a queda do desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em INTERVALOS definidos de tempo”.

Ainda para Kardec e Nascif (2015), a manutenção preventiva, ao contrario da corretiva, é realizada para evitar que falhas aconteçam sendo levados em consideração fatores

ambientais, operacionais e principalmente a segurança operacional, sendo necessário um estudo para determinar a periodicidade que deve ser realizada em cada caso.

Para Almeida (2015) existem muitas vantagens relacionadas a manutenção preventiva, com ela é possível criar um planejamento de manutenção assim podendo garantir um constante ritmo de trabalho e podendo prever a mão de obra necessária para cada manutenção, a quantidade de peças e insumos necessários, evitando a falta de peças ou o excesso de estoque, assim aumentando a confiabilidade do processo.

Já para Viana (2006), a manutenção preventiva é qualquer manutenção feita em máquinas que não estiver em falha, é feita em intervalo de tempo pré-definido e tem a função de fazer com que o equipamento não chegue ao estado de falha, gerando maior tranquilidade operacional.

2.2.3 Manutenção preditiva

Segundo Viana (2006), a manutenção preditiva tem como função acompanhar as máquinas por monitoramento, métodos estatísticos e medições afim de prever a próxima falha e com isso, pode-se determinar a necessidade de manutenção utilizando os componentes o máximo possível antes da falha.

Para Almeida (2015), para implementar este tipo de manutenção são necessários equipamentos específicos assim como treinamentos para os mecânicos responsáveis pelo procedimento. Uma vez que o responsável é capacitado a avaliar os fenômenos como vibração excessiva, temperatura e ruídos anormais é possível apontar um diagnóstico e analisar com antecedência possíveis falhas.

De acordo com Xenos (2014), a manutenção preditiva é uma outra maneira de inspecionar os equipamentos e por isso é um elemento da manutenção preventiva e ao ser colocada em prática suas tarefas devem fazer parte do cronograma de manutenção preventiva. Ainda para Xenos (2014) com a este método de manutenção é possível otimizar a troca de peças feita na manutenção preventiva, aumentando o intervalo de manutenção.

Kardec e Nascif (2015) afirmam que a manutenção preditiva é “a primeira grande quebra de paradigma na manutenção” e que quanto maior o avanço tecnológico com mais exatidão pode-se avaliar os sistemas em funcionamento. Mas para a instalação deste método de manutenção é preciso de algumas condições básicas, sendo elas a possibilidade da instalação de métodos de medição e monitoramento aos sistemas, e para que isso seja

realizado deve ser feito um estudo de custo benefício, as falhas desse sistema devem ser falhas que possam ser monitoradas e deve-se criar um programa de monitoramento para esse sistema (KARDEC E NASCIF, 2015).

Ainda para Kardec e Nascif (2015), com a implementação da manutenção preditiva em um sistema a redução de falhas “catastróficas” é notável e também ocorre a diminuição significativa de falhas não esperadas, diminuindo assim o número de paradas e aumentando a segurança operacional.

2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade

Segundo Kardec e Nascif (2015), a confiabilidade teve origem nas análises das falhas dos equipamentos militares nos Estados Unidos, e em 1960 foi criado um programa para estudos e análises de confiabilidade para o setor da aeronáutica. Ainda segundo Kardec e Nascif (2015) a confiabilidade é uma probabilidade de um equipamento desempenhar sua função sob certas condições em um intervalo de tempo.

Para Fogliato (2009), a MCC tem uma abordagem e sistêmica e por isso é conhecida como a forma mais eficiente de lidar com a manutenção e pode ser definida pela junção de várias técnicas da engenharia para garantir que os equipamentos exerçam sua função da melhor forma.

De acordo com Almeida (2015), a Manutenção Centrada na Confiabilidade tem sete etapas estruturadas, sendo elas:

- A. Seleção do sistema e coleta de informações;
- B. Análise de modo de falha e efeito;
- C. Seleção de funções significantes;
- D. Seleção das atividades aplicáveis;
- E. Avaliação da efetividade das atividades;
- F. Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas;
- G. Definição da periodicidade das atividades.

Kardec e Nascif (2015) afirmam que existem sete questões da MCC e são elas:

- I. Quais as funções e padrões do item no contexto operacional?
- II. Qual a forma que o item falha em cumprir sua função?

- III. Qual a causa de cada falha?
- IV. O que acontece quando acontece cada falha?
- V. Qual o impacto da falha?
- VI. O que pode ser feito para impedir cada falha?
- VII. O que deve ser feito se não for possível desempenhar uma função preventiva?

Com todas essas questões e respostas é possível garantir ações de manutenção em função do nível de cada falha. (KARDEC E NASCIF, 2015).

Kardec e Nascif (2015) ainda listam uma série de benefícios que a MCC proporcionam as empresas sendo elas o aprimoramento do desempenho operacional, maior relação de custo x benefício, melhoria das condições ambientais e de segurança, aumento da vida útil dos equipamentos, banco de dados de manutenção, maior motivação pessoal, maior compartilhamento dos problemas de manutenção e geração de maior senso de equipe.

Para Fogliato (2009), a MCC prioriza as atividades proativas e com isso apresenta um diagrama que ajuda a definir as atividades de manutenção

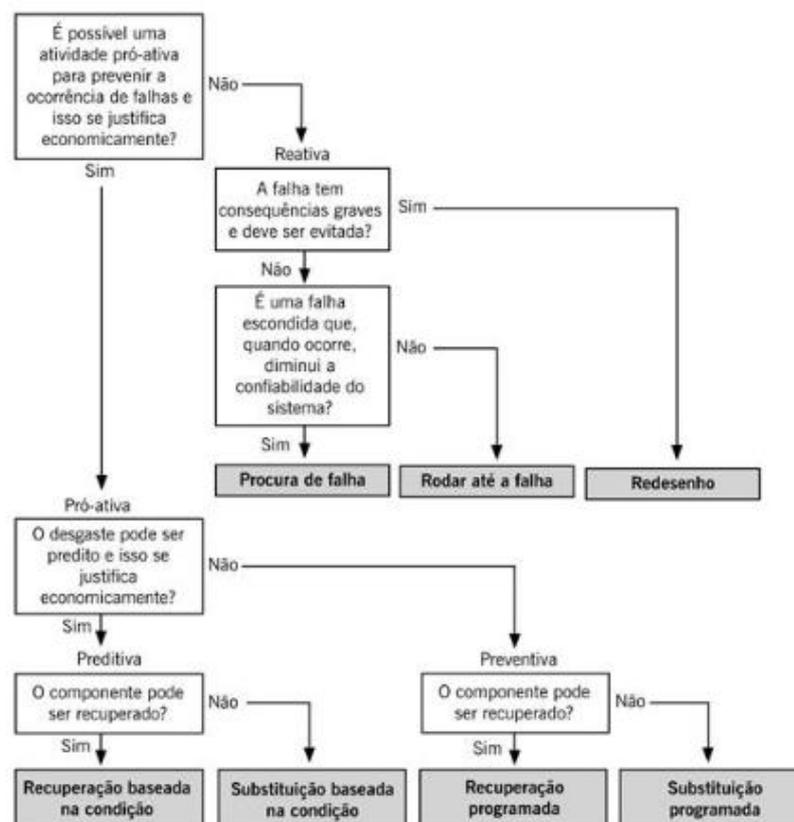


Figura 2: Diagrama de decisão referente ao tipo de atividade de manutenção
Fonte: Fogliato, 2009

Ainda para Fogliato (2009) as atividades de predição são as mais indicadas pois são baseadas na condição do componente e é feito o reparo ou troca apenas quando necessário, porém, algumas vezes não é possível realizar a predição devido ao custo ou outras impossibilidades e quando isso ocorre o mais indicado são as atividades de prevenção.

2.3.1 Ferramentas de manutenção

2.3.1.1 Pareto

De acordo com Lins (1993), o Gráfico de Pareto recebeu esse nome devido ao economista italiano Vilfredo Pareto, que identificou certas características nos problemas socioeconômicos como poucas causas principais tinham grande influência sobre o problema, enquanto uma quantidade significativa de causas triviais exercia apenas uma influência marginal.

Conforme Avelar (2008), o Diagrama de Pareto é uma ferramenta visual que auxilia na priorização das causas de perdas que precisam ser corrigidas. Esse diagrama é composto por barras verticais e tem como principal finalidade identificar quais problemas devem ser abordados primeiro, com base em sua relevância e impacto.

Segundo Silva (1995) a Figura 3 apresenta o modelo de gráfico de Pareto baseado em um problema fictício.

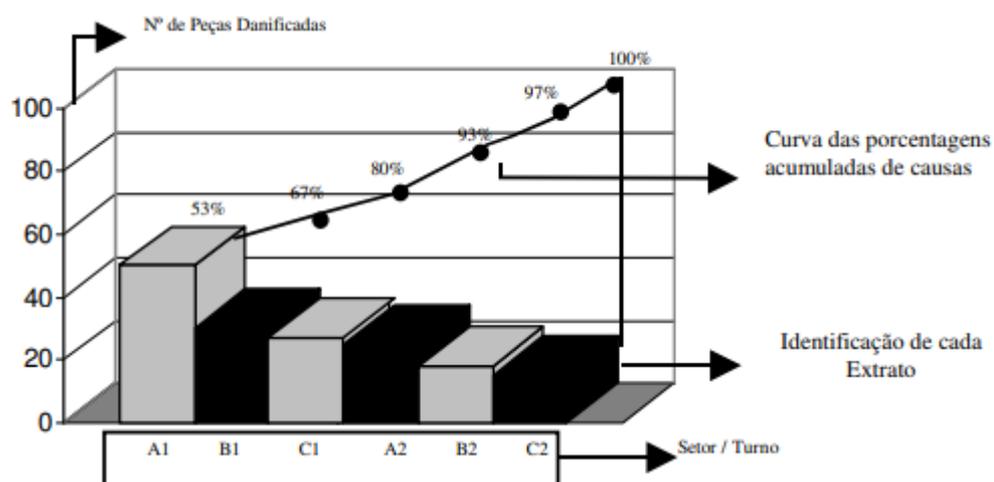


Figura 3: Gráfico de Pareto
Fonte: Silva (1995)

Ainda segundo Silva (1995), como pode ser observado na Figura 3, o gráfico de Pareto é utilizado para representar, de forma quantitativa, as causas mais relevantes, organizadas em ordem decrescente de impacto, a partir da segmentação dos dados analisados.

2.3.1.2 Diagrama de dispersão

Segundo Limeira (2015), O gráfico de dispersão é uma ferramenta visual que auxilia na análise da possível correlação entre duas variáveis, tornando mais clara a interpretação e a compreensão dos dados analisados.

Ainda para Limeira (2015) existem diversos padrões de dispersão conhecidos como correlações. Alguns exemplos representativos desses padrões são apresentados na Figura 4 a seguir.

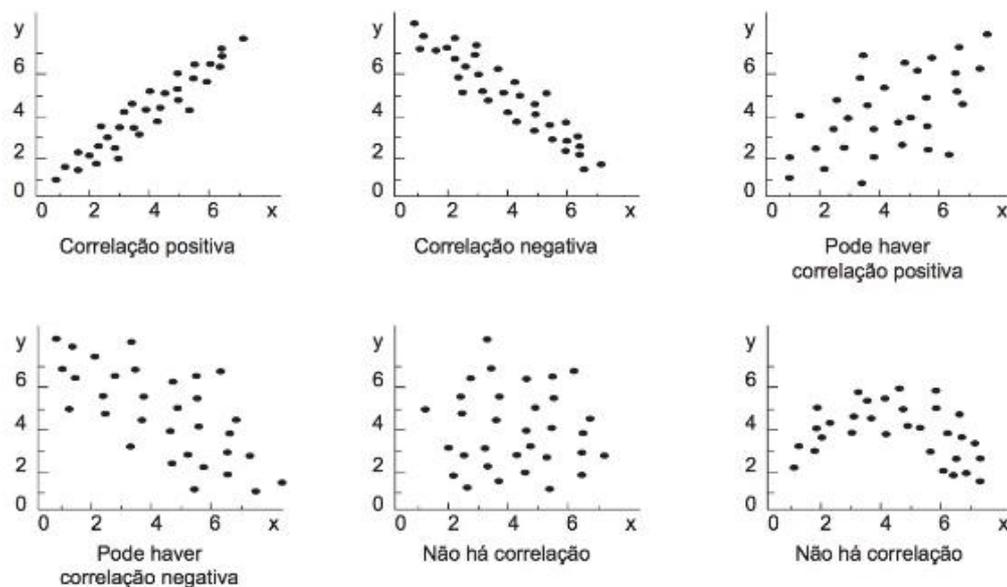


Figura 4: Padrão de dispersão
Fonte: Limeira (2015)

Como é visto na Figura 4, o gráfico de dispersão é utilizado para verificar a existência de uma relação entre duas variáveis, quando ambas aumentam simultaneamente, isso indica uma correlação positiva. Por outro lado, se uma variável aumenta enquanto a outra diminui, há uma correlação negativa e caso as variáveis não apresentem nenhuma relação evidente entre seus valores, considera-se que não há correlação entre elas (LIMEIRA, 2015).

Já para Paulista e Alves (2015), o diagrama de dispersão é uma ferramenta que permite observar como uma variável muda em função de outra por meio do padrão de dispersão no gráfico, é possível identificar diferentes tipos de correlação: positiva, negativa ou a ausência de correlação. Assim, esse recurso tem como objetivo determinar se existe uma tendência de variação conjunta entre duas ou mais variáveis, ou seja, se elas interagem de forma conjunta ou se são completamente independentes. (PAULISTA E ALVES, 2015).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipos de pesquisa

Existem duas abordagens distintas na pesquisa: a quantitativa e a qualitativa. Na pesquisa quantitativa, são empregados instrumentos estatísticos para coletar e analisar dados. Por outro lado, na pesquisa qualitativa, são utilizadas técnicas não estatísticas, concentrando-se na compreensão e interpretação dos fenômenos. (RICHARDSON, 2017)

Este trabalho utiliza as duas abordagens. É considerado uma pesquisa quantitativa pois utiliza de técnicas da confiabilidade e análises estatísticas para obter resultado. Porém, também é uma pesquisa qualitativa pois são empregadas técnicas de análise dos modos de falha do componente, que não se fundamentam em medições estatísticas, mas sim em análises interpretativas.

Existem três tipos de pesquisa, elas são classificadas de acordo com o objetivo. São elas: pesquisa descritiva, explicativa e exploratória (GIL, 2017)

Neste trabalho, é adotada uma abordagem de pesquisa exploratória, a qual tem como objetivo o registro de fatos e conceitos para adquirir familiaridade com o problema em análise, tornando-o mais conciso e claro. Nessa abordagem, são empregados métodos sistemáticos para a análise de dados. A coleta de informações ocorre por meio de fontes secundárias, levantamento de experiências, estudo de casos e observação do evento. O pesquisador define critérios e metodologias para desenvolver e adaptar conceitos e ideias durante a condução da pesquisa. Essa abordagem possibilita uma compreensão mais profunda do assunto em estudo, uma vez que o foco principal é a exploração dos dados contidos no sistema de banco de dados da empresa. Após o processamento desses dados, uma análise abrangente será conduzida com o objetivo de propor melhorias em relação à confiabilidade.

Nas pesquisas exploratórias, o propósito é estabelecer uma maior proximidade com o objeto de estudo. O objetivo é adquirir informações e criar hipóteses de estudo usando abordagens e padrões específicos. Essa abordagem tem a intenção de explicar fenômenos anteriormente não aceitos ou até mesmo descobrir novos fenômenos, sendo frequentemente empregada em estudos de caso (GIL, 2017).

No que diz respeito aos procedimentos técnicos abordados em pesquisas, estes podem incluir diferentes formas, tais como o estudo de caso, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, pesquisa-ação e pesquisa participante. (SEVERINO, 2018). Para o desenvolvimento dessa pesquisa foram utilizados dois desses métodos, sendo eles a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso. A pesquisa bibliográfica consistiu na análise

de livros, artigos e publicações relevantes sobre o tema, proporcionando embasamento teórico para o estudo. Já o estudo de caso focou em um caso específico e em um local específico, utilizando de análises de dados e permitindo uma melhor investigação.

3.2 Materiais e métodos

O estudo mencionado é ilustrado na tabela 1, onde são apresentados os passos a serem seguidos em sequência, de acordo com as etapas realizadas neste trabalho, até que se alcance uma conclusão final.

Tabela 1- Etapas de desenvolvimento do estudo

Primeira etapa	Segunda etapa	Terceira etapa
<ul style="list-style-type: none"> • Seleção da área e dos equipamentos; • Coleta de dados; • Tratamento dos dados coletados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelagem de dados utilizando softwares; • Análise dos dados modelados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise das potenciais causas das falhas; • Disparo de gatilho de análise de falhas.

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Como é possível analisar na tabela 1, o estudo de caso se dividirá em 3 etapas básicas, sendo cada uma delas:

Primeira etapa: Para iniciar o estudo é realizada a seleção da área e dos equipamentos que serão analisados, posteriormente a coleta de dados das paradas de manutenção corretiva pelo *software* MES, como a TAG do equipamento, o horário de início e término da parada e o motivo dela. Além disso é feito o tratamento deles através do EXCEL para futura análise e modelagem.

Segunda etapa: Nessa etapa inicia pela modelagem dos dados coletados utilizando softwares específicos, como EXCEL e Minitab, após a modelagem é feita a análise dos dados.

Terceira etapa: Com os dados modelados e feitas as devidas análises é possível identificar e analisar as principais causas das falhas e assim, disparar gatilhos de análise para as falhas consideradas de maior impacto, para futuro tratamento das mesmas.

3.3 Variáveis e indicadores

Uma maneira de obter uma compreensão mais aprofundada da situação-problema é por meio do estudo das variáveis e indicadores relacionados àquele assunto específico. Para Gil (2017, p. 32), o conceito de variável se dá como:

[...] tudo aquilo que pode assumir diferentes valores ou diferentes aspectos, segundo os casos particulares 19 ou as circunstâncias. Assim, idade é uma variável e pode assumir diferentes valores. (...) Classe social também é uma variável. Embora este conceito não possa assumir valores numéricos, pode abranger categorias diversas, como: alta, média, baixa.

Por outro lado, os indicadores são empregados como instrumentos para controle e aprimoramento da qualidade dos processos. Seu propósito é medir tanto os processos quanto o desempenho dos equipamentos, permitindo o monitoramento e a quantificação de desvios. (SANTOS, 2004). A tabela 2 mostra as variáveis e os indicadores utilizados nessa pesquisa.

Tabela 2 - Variáveis e indicadores

Variáveis	Indicadores
Manutenção centrada em confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamento • <i>Software</i> • Mão de obra • Pareto • Gráfico de dispersão • MTTR • MTBF

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Conforme demonstrado na Tabela 2 a variável adotada foi a engenharia de confiabilidade e os indicadores adotados foram pareto, gráfico de dispersão, MTTR.

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio do *software* MES, no relatório de paradas de equipamento, que faz a gestão de todas as paradas da planta e que são classificadas diariamente pelas equipes de operação e consolidadas junto as equipes de manutenção.

O MES (*Manufacturing Execution System*) é um sistema de *software* que facilita a coleta e análise dos dados do processo de produção diretamente no ambiente da fábrica. Isso auxilia a tomar decisões baseadas em informações concretas e atualizadas em tempo real.

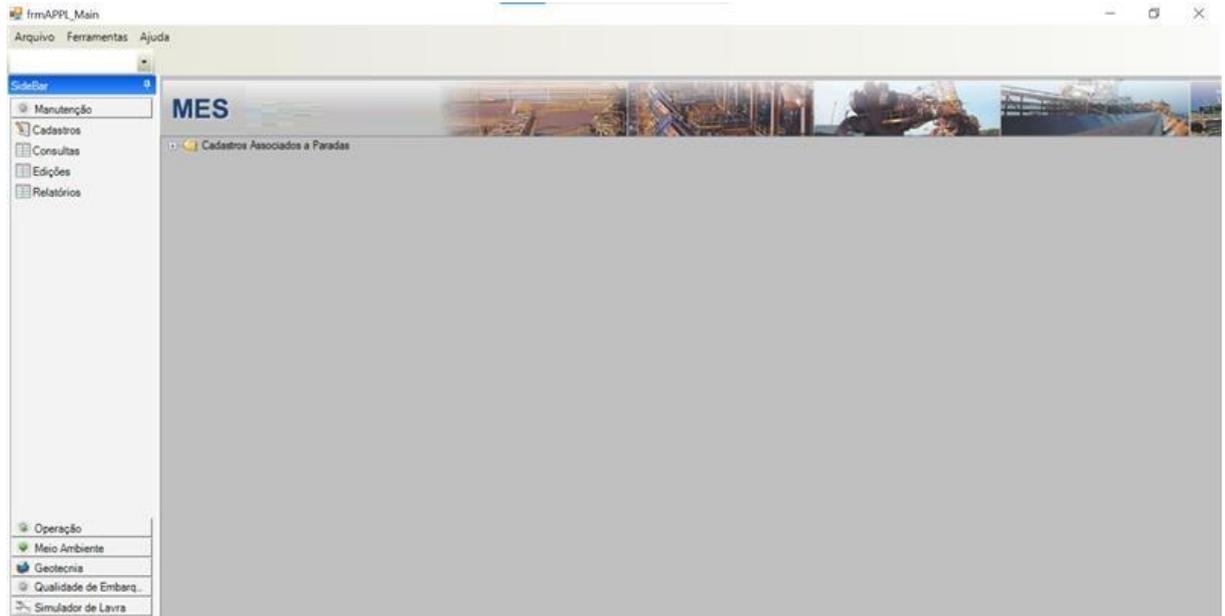


Figura 5: Tela inicial do MÊS
Fonte: Pesquisa direta (2024)

3.5 Tabulação dos Dados

A tabulação dos dados envolve essencialmente a organização das informações coletadas em uma planilha ou tabela, com o propósito de facilitar a análise das informações para comparações, criação de gráficos e apresentação dos resultados. Essa etapa será predominantemente realizada por meio do *software Excel, Word e Minitab*.

3.6 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foi apresentada toda a metodologia adotada no desenvolvimento do trabalho atual. Foram delineados o tipo de pesquisa e a metodologia empregados, as variáveis e indicadores utilizados na condução da pesquisa, os instrumentos para coleta e análise de dados e, por fim, descreveu-se o processo de coleta e organização dos dados obtidos.

No próximo capítulo, aborda-se o estudo de caso que envolve a implementação da MCC na mina de uma mineradora, o desenvolvimento da aplicação da metodologia adotada neste estudo e a análise e discussão dos resultados obtidos.

4 RESULTADOS

4.1 Características do setor

A empresa estudada é uma mineradora brasileira. Esta empresa tem seu processo produtivo completo e atua desde a extração do mineiro de ferro na mina até o embarque das pelotas no porto. A Figura 6 ilustra esse processo produtivo e com ele é capaz de transformar um material de baixo porcentagem de ferro em um material de maior teor.

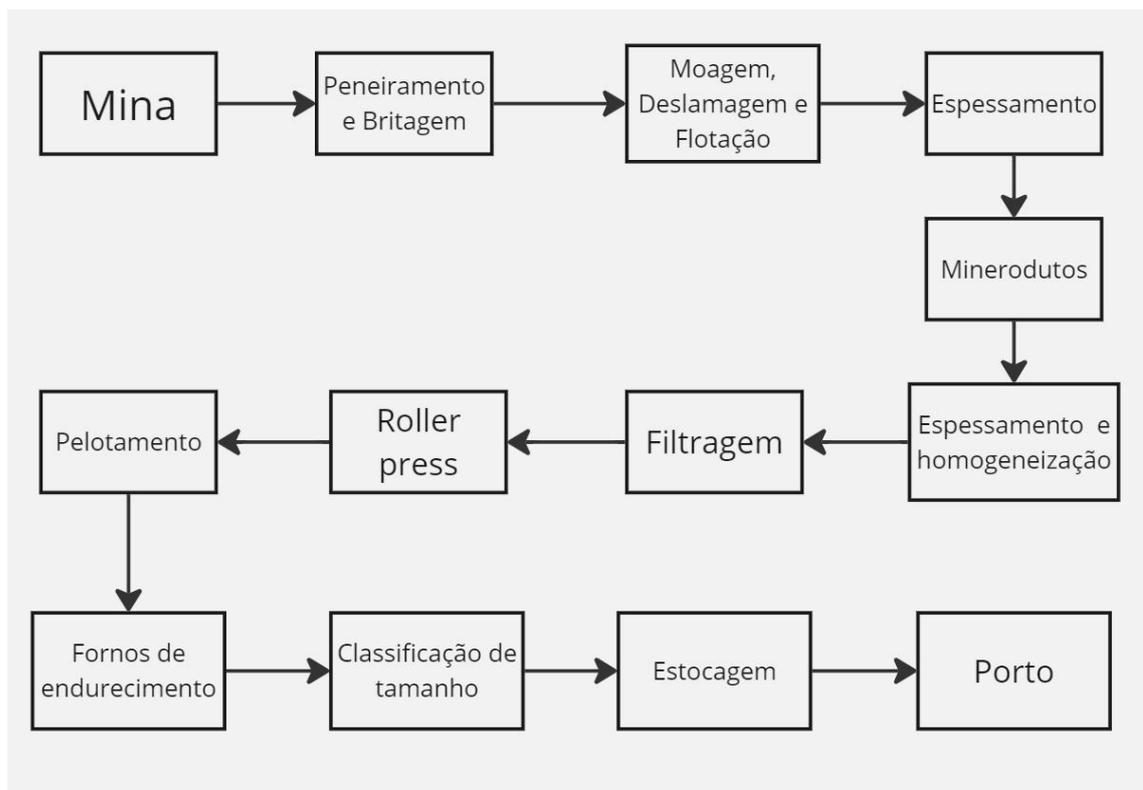


Figura 6: Processo produtivo
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Na Figura 6 pode-se perceber todo o processo produtivo da empresa. O processo de extração e beneficiamento do mineiro nesta empresa passa por diversas etapas que se iniciam na mina, com a extração do minério. Logo após, o material passa pelo peneiramento e o que não está adequado passa pela britagem para atingir o tamanho ideal.

No próximo passo desde processo produtivo na moagem, as partículas são reduzidas e depois seguem para a deslamagem, onde a lama é removida. Em seguida, na flotação, a sílica é separada, resultando no rejeito arenoso. Nessa fase, é produzido o minério de ferro concentrado. Depois, o material passa por um processo que reduz a quantidade de água,

aumentando a densidade da polpa de minério, que é então armazenada em um tanque até ser transportada pelos minerodutos.

No espessador, a polpa de minério de ferro se torna mais densa e é direcionada para os tanques de homogeneização. Em seguida, na filtragem, a água é separada do minério de ferro moído, também chamado de *pellet feed*, que é enviado para prensas em formato de rolos para garantir um tamanho de grãos mais uniforme. Para finalizar o processo o material é transformado em pelotas, separadas e classificadas por tamanho e segue para o pátio onde é estocado até ir para o porto.

Além de um processo produtivo bem estruturado, a empresa também apresenta sua organização bem pensada para que todo o processo ocorra da melhor forma possível. Como mostra na Figura 7, ela é dividida em diretorias, gerencias e coordenações afim de que cada grupo de pessoas capacitadas seja responsável por uma parte específica.

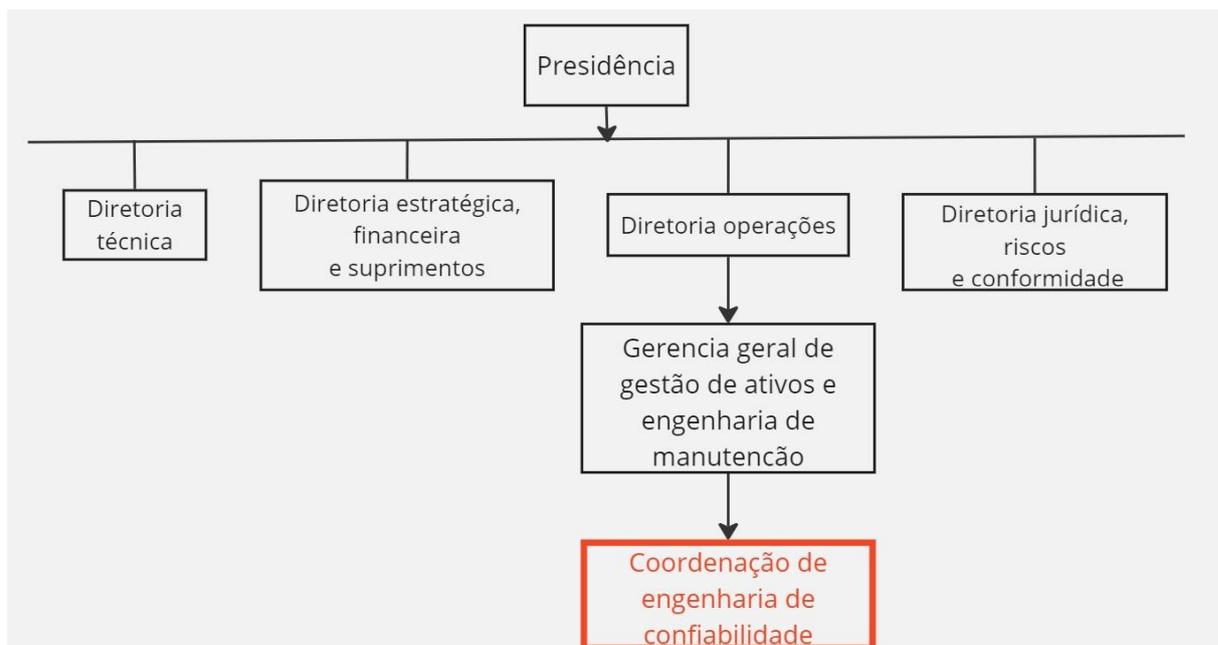


Figura 7: Organograma da empresa
Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 7 tem destaque para a coordenação de engenharia de confiabilidade, que é uma das coordenações da gerencia de gestão de ativos, é responsável por garantir a integridade e a eficiência operacional dos sistemas e equipamentos da mineradora. Esta coordenação se dedica à análise e monitoramento contínuo das condições operacionais, implementando estratégias de manutenção preditiva e preventiva para minimizar falhas e prolongar a vida útil dos ativos.

Além disso, ela desenvolve e aplica protocolos de inspeção e testes, assegurando que todos os processos estejam alinhados com os padrões de segurança e desempenho estabelecidos. A coordenação também atua na análise de dados para identificar oportunidades de melhoria e otimização, promovendo a inovação tecnológica e a eficiência dos processos produtivos.

4.2 Equipamentos

Para conduzir essa análise, foram extraídos dados sobre paradas de manutenção ocorridas em um período determinado. Nesse período, os equipamentos que apresentaram paradas foram os lokotracks, os carregadores e as correias transportadoras, com especial atenção para os lokotracks e as correias transportadoras.

As correias transportadoras são sistemas essenciais na mineração, utilizadas para o transporte contínuo e eficiente de grandes volumes de materiais como minérios, carvão e pedras, desde o ponto de extração até as etapas subsequentes de processamento e carregamento. Compostas por uma correia contínua movida por tambores e polias, elas oferecem uma solução econômica e segura em comparação com métodos de transporte alternativos, como caminhões.

Além disso, ela reduz o custo e o impacto ambiental do transporte, as correias transportadoras minimizam o risco de acidentes e perdas de material. No entanto, elas requerem manutenção regular para prevenir desgaste e falhas. Inovações tecnológicas, como sistemas de monitoramento e correias inteligentes, estão continuamente aprimorando a eficiência e a durabilidade desses sistemas, refletindo sua importância crítica na cadeia produtiva da mineração.



Figura 8: Correia transportadora
Fonte: GLOBAL BELT (2024)

Já os *Lokotrack* são equipamentos móveis de britagem e peneiramento amplamente utilizados na mineração para otimizar a extração e o processamento de minérios. Projetados para oferecer mobilidade e flexibilidade, esses sistemas podem ser transportados e montados em diferentes locais de trabalho, o que reduz o tempo de instalação e aumenta a eficiência operacional.

Estes incluem britadores e peneiras móveis que lidam com uma ampla variedade de materiais minerais, garantindo um processamento eficiente e contínuo diretamente no local de extração. Equipados com tecnologias avançadas, como controle automatizado e monitoramento remoto, os Lokotrack maximizam a produtividade e a eficiência energética, reduzindo custos e impactos ambientais associados ao transporte e processamento de minérios.



Figura 9: Lokotrack
Fonte: METSO (2024)

4.3 Aplicação da MCC

4.3.1 Análise de paradas

A análise de paradas dos equipamentos da mina da mineradora foi realizada com base no histórico de paradas de 1 de janeiro de 2022 até 30 de junho de 2022, a base de dados para a análise foi o MES (*Manufacturing Execution System*). O objetivo desse estudo foi analisar as paradas de manutenção corretiva afim de identificar as falhas crônicas e agudas para o disparo de gatilho de análise de falha por modos de falha que possuem alto número de incidência e alto tempo para manutenção.

Utilizando o Sistema de Execução de Manufatura (MES), foi obtida a lista de paradas da mina para o período de estudo. A Tabela 3 apresenta todas as paradas registradas para cada equipamento presente na mina, juntamente com uma descrição de cada evento. Por exemplo, no dia 12 de fevereiro, o equipamento 11CR10 ficou fora de operação por 1,93 horas devido a uma falha no sensor.

Tabela 3- Banco de dados MES

Equipamento	Início	Término	Horas Paradas	Tipo	Intervenção	Especialidade	Motivo
11CR10	17/01/2022 18:40	17/01/2022 21:36	2.93	MNT	COR	ELE	Falha de comunicação
11CR10	20/01/2022 13:19	20/01/2022 15:33	2.23	MNT	COR	LUB	Vazando
11CR10	11/02/2022 14:20	11/02/2022 14:42	0.37	MNT	PRE	MEC	Inspeção
11CR10	11/02/2022 22:20	11/02/2022 23:59	1.65	OPR	OPR	OPR	Controle de especificação do material
11CR10	12/02/2022 00:00	12/02/2022 03:00	3	OPR	OPR	OPR	Controle de especificação do material
11CR10	12/02/2022 03:01	12/02/2022 05:00	1.98	MNT	COR	INS	Sensor em falha
11CR10	12/02/2022 05:00	12/02/2022 06:25	1.42	OPR	OPR	OPR	Limpeza

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 4 apresenta os dados que foram tratados para incluir apenas as paradas relacionadas à manutenção corretiva, e as paradas consecutivas com a mesma causa foram agrupadas. Isso foi necessário devido a uma limitação do sistema MES utilizado pela empresa, que registra múltiplas entradas de parada quando um evento se estende para o dia seguinte.

Além disso, falhas com períodos de inatividade muito curtos foram classificadas como falhas operacionais e, portanto, foram excluídas da análise.

Tabela 4 - Tabela tratada de paradas

Equipamento	Início	Término	Horas Paradas	Tempo entre falhas	Falha operacional	Con	Tip	Int	Esp	Motivo
02CV002	04/01/2022 00:20	04/01/2022 01:00	0.67	72.34	Não	não	MNT	COR	MEC	Roleta danificado
02CV002	06/01/2022 06:15	06/01/2022 09:00	2.76	53.25	Não	não	MNT	COR	MEC	Correia desalinhada
02CV002	18/05/2022 20:55	18/05/2022 22:18	1.39	3179.92	Não	não	MNT	COR	ELE	curto-circuito
02CV009	29/01/2022 05:07	29/01/2022 05:54	0.79	677.12	Não	não	MNT	COR	INS	Sensor fora de posição
02CV009	13/03/2022 17:31	13/03/2022 19:12	1.69	1043.62	Não	não	MNT	COR	INS	Motor elétrico com falha
02CV009	23/04/2022 13:50	23/04/2022 14:47	0.95	978.64	Não	não	MNT	COR	INS	Sensor fora de posição
02CV009	18/05/2022 20:55	18/05/2022 22:19	1.4	606.14	Não	não	MNT	COR	ELE	curto-circuito
02CV009	05/06/2022 09:45	05/06/2022 10:26	0.69	419.44	Não	não	MNT	COR	MEC	Guia de material fora de posição
02CV009	10/06/2022 17:57	10/06/2022 18:44	0.79	127.52	Não	não	MNT	COR	MEC	Roleta danificado
02CV009	14/06/2022 10:17	14/06/2022 12:40	2.39	87.56	Não	não	MNT	COR	VUL	Correia rasgada
02CV009	14/06/2022 14:21	14/06/2022 15:14	0.89	1.69	Não	não	MNT	COR	MEC	Correia desalinhada
02CV009	21/06/2022 00:00	21/06/2022 01:04	1.07	152.77	Não	não	MNT	COR	MEC	Roleta danificado

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Na Tabela 4 é possível observar as colunas de falha operacional, tempo entre falhas e continuação que foram adicionadas para facilitar a análise dos dados.

Posteriormente, foram feitos gráficos de Pareto para ilustrar o número de paradas e o tempo de inatividade por equipamento. As Figuras 10 e 11 ofereceram uma visão geral para um futuro aprofundamento na análise posterior.

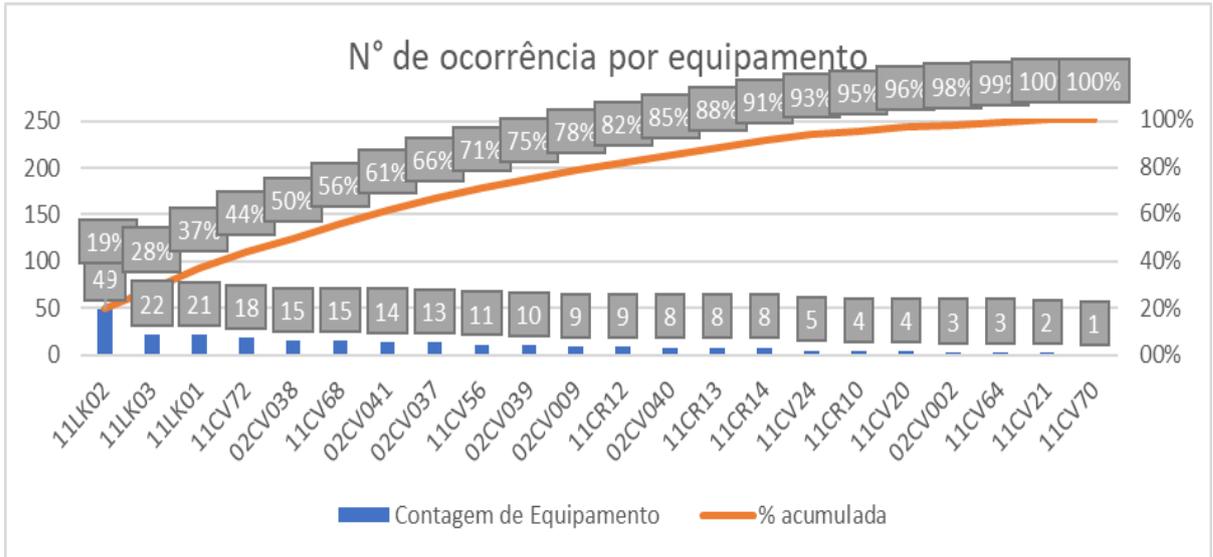


Figura 10: Pareto número de ocorrência por equipamento
 Fonte: Pesquisa direta (2024)

Na Figura 10 o gráfico de Pareto exibe o número de ocorrências de falhas por equipamento, destacando a contagem de ocorrência de falhas em azul e a porcentagem acumulada dessas ocorrências em laranja. Analisando o gráfico, podemos ver que os primeiros três equipamentos (11LK02, 11LK03 e 11CV71) são responsáveis por uma parte significativa das falhas, representando aproximadamente 37% do total de ocorrências.

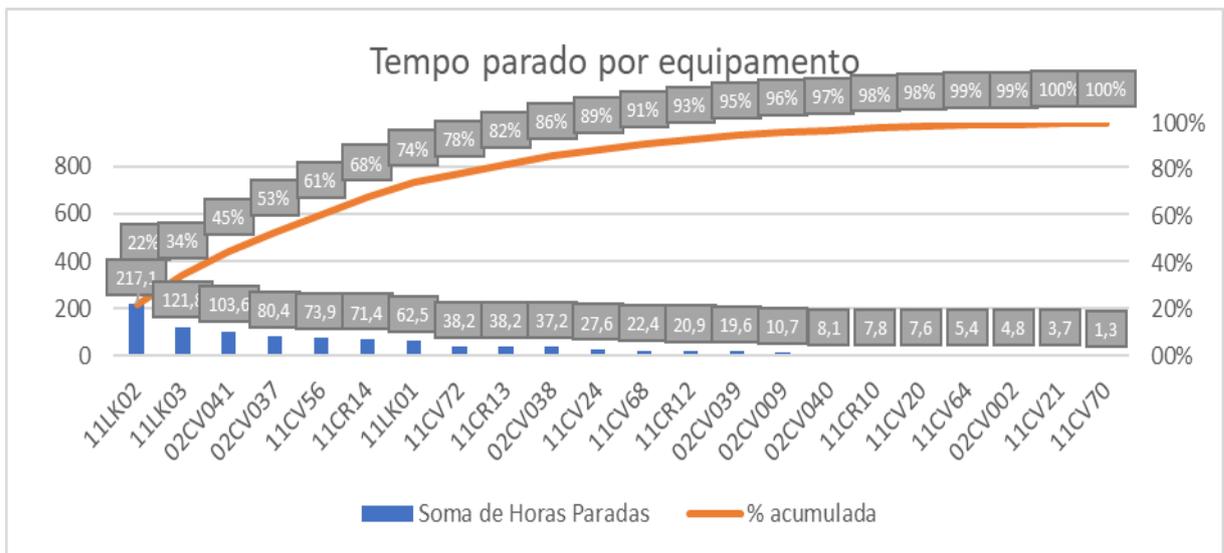


Figura 11: Pareto tempo parado por equipamento
 Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 11 apresenta o tempo total de parada por equipamento, mostra que, assim como no gráfico anterior de ocorrências, o equipamento 11LK02 é o mais crítico em ambos

os aspectos. No entanto, existem diferenças importantes: enquanto alguns equipamentos, como o 11LK03, aparecem em ambos os gráficos, outros como o 02CV041 e o 02CV37 têm menor número de falhas, mas geram longos períodos de inatividade. Isso reforça que, além de considerar a frequência de falhas, é crucial avaliar o impacto em termos de tempo de parada para priorizar as ações de manutenção.

4.3.2 Análise de confiabilidade

Após o tratamento dos dados foi separado na Tabela 5 de forma a ter uma visão mais clara de cada equipamento.

Tabela 5 - Análise equipamentos da mina

Análise - Mina						
Equipamento	Contagem de paradas	Soma de Horas Paradas	MTTR(h)	Downtime(%)	Número de falhas(%)	
02CV002	3	4.82	1.61	0.49%	1.19%	
02CV009	9	10.66	1.19	1.08%	3.57%	
02CV037	13	80.42	6.19	8.17%	5.16%	
02CV038	15	37.18	2.48	3.78%	5.95%	
02CV039	10	19.64	1.97	2.00%	3.97%	
02CV040	8	8.06	1.01	0.82%	3.17%	
02CV041	14	103.61	7.41	10.53%	5.56%	
11CR10	4	7.79	1.95	0.79%	1.59%	
11CR12	9	20.87	2.32	2.12%	3.57%	
11CR13	8	38.16	4.77	3.88%	3.17%	
11CR14	8	71.38	8.93	7.25%	3.17%	
11CV20	4	7.57	1.9	0.77%	1.59%	
11CV21	2	3.73	1.87	0.38%	0.79%	
11CV24	5	27.63	5.53	2.81%	1.98%	
11CV56	11	73.91	6.72	7.51%	4.37%	
11CV64	3	5.4	1.8	0.55%	1.19%	
11CV68	15	22.42	1.5	2.28%	5.95%	
11CV70	1	1.29	1.29	0.13%	0.40%	
11CV72	18	38.21	2.13	3.88%	7.14%	
11LK01	21	62.49	2.98	6.35%	8.33%	
11LK02	49	217.12	4.44	22.06%	19.44%	
11LK03	22	121.79	5.54	12.38%	8.73%	
Total Geral	252	984.15				

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 5 apresenta análise das paradas dos equipamentos da mina, incluindo dados como número de paradas, soma de horas paradas, tempo médio de reparo (MTTR), percentual de *downtime* e o percentual de falhas. Por exemplo, o equipamento 11LK02 teve 49 paradas, acumulando 217,12 horas de inatividade, com um MTTR de 4,44 horas, representando 22,06% de *downtime* e 19,44% do total de falhas. Esses dados ajudam a identificar os equipamentos mais críticos em termos de falhas e tempo de indisponibilidade.

Para a avaliação foi utilizado um diagrama de dispersão, no qual as variáveis analisadas foram o Tempo Médio para Reparo (MTTR) e o número de paradas. Foram classificadas como falhas agudas aquelas que apresentam um longo tempo para a recuperação

da função necessária. Por outro lado, as falhas crônicas são caracterizadas pela sua alta frequência de ocorrência como pode ser visto na Figura 12. O foco deste estudo são as falhas agudo-crônicas, que combinam ambos os aspectos: um número elevado de ocorrências e um tempo prolongado para a restauração.

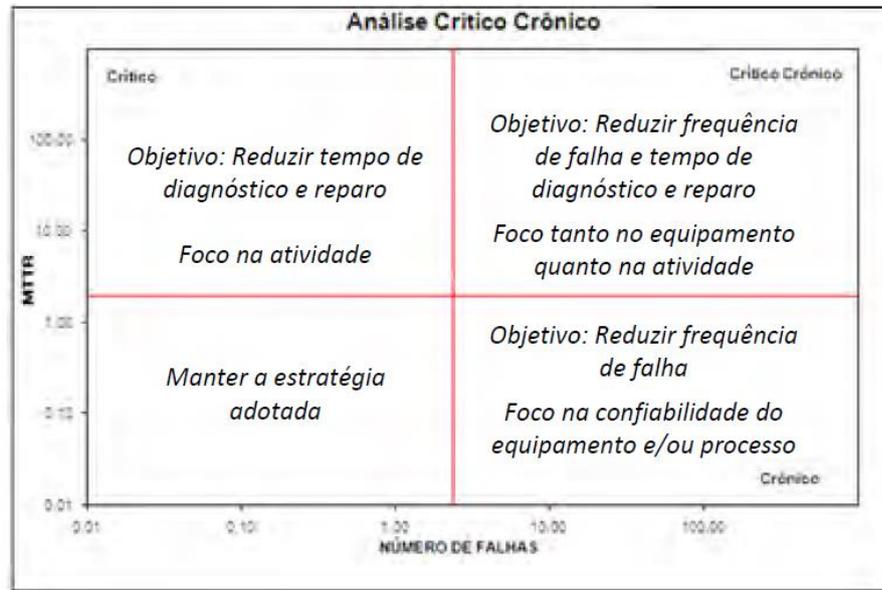


Figura 12: Gráfico Crítico-Crônico
Fonte: Empresa pesquisada (2024)

A Figura 12 apresenta um gráfico de dispersão, onde os eixos correspondem ao MTTR e ao número de falhas. O gráfico está dividido por dois limites, formando quatro quadrantes, que permitem uma análise mais detalhada do desempenho dos equipamentos. Essa divisão facilita a identificação dos equipamentos que possuem alta frequência de falhas e alto tempo de reparo, destacando aqueles que demandam maior atenção nas estratégias de manutenção.

Os limites que determinam a classificação das falhas em cada quadrante são definidos matematicamente e ajustam-se automaticamente com base nas características específicas de cada sistema analisado. As falhas que ultrapassam ambos os limites estabelecidos são classificados como Falhas Agudo-Crônicas ou Crítico-Crônicas.

$$\text{Limite MTTR (Crítico)} = \frac{\text{Somatório do Downtime}}{\text{Número total de eventos}} \quad (1)$$

$$\text{Limite N (Crônico)} = \frac{\text{Número total de eventos}}{\text{Quantidade de Eventos Exclusivos}} \quad (2)$$

Após analisadas as paradas foram calculados os limites para a análise do gráfico de dispersão.

Tabela 6 - Cálculo dos limites para os equipamentos da mina

Somatório <i>downtime</i>	984.15
número de paradas	252
MTTR	3.91
Limite N	11.46

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Na Tabela 6 foram separados os dados do somatório de *downtime* e do número de paradas e pelas equações 1 e 2 calculados os limites.

Em seguida, com o auxílio do *Minitab*, foi gerado um gráfico de dispersão que incorpora os limites calculados como mostra na Figura 13.

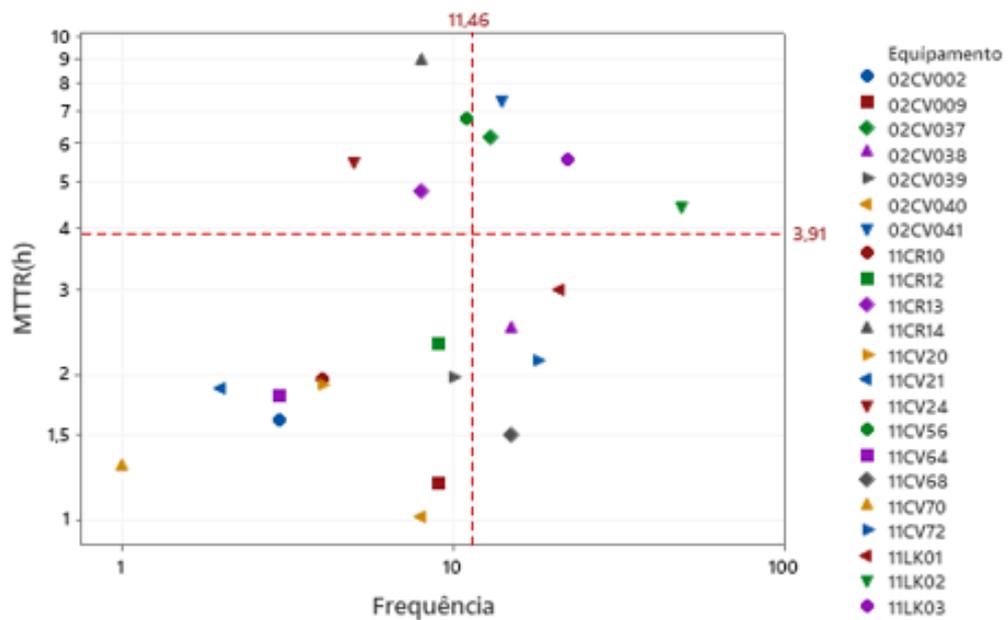


Figura 13: Gráfico de dispersão dos equipamentos da mina
Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 13 mostra o gráfico de dispersão dividido em quatro quadrantes pelos limites MTTR e N e com todos os equipamentos da mina. A análise do gráfico revelou que quatro equipamentos se situaram no quadrante crítico-crônico, ou seja, ficaram acima dos limites MTTR e N calculados anteriormente:

- Lokotrack 2;
- Lokotrack 3;
- Correia transportadora 41;
- Correia transportadora 37.

4.3.3 Estudo do Lokotrack 2

A Tabela 7 abaixo mostra quais os modos de falha, número de ocorrências e *downtime* para o ativo durante o período em avaliação:

Tabela 7 - Análise Lokotrack 2

Análise do Locotrack 2						
Motivo	Nº de parada	Soma de Horas Parada	MTTR(h)	Downtime(%)	Número de falhas	
Abanadeira danificada/quebrada	1	10.55	10.55	4.86%	2.04%	
Câmera em falha	3	6.44	2.15	2.97%	6.12%	
Chute vazando	2	5.18	2.59	2.39%	4.08%	
Cilindro hidráulico danificado	2	5.46	2.73	2.51%	4.08%	
Contator em falha	1	2.76	2.76	1.27%	2.04%	
Correia de acionamento danificada	1	8.99	8.99	4.14%	2.04%	
Correia de acionamento distensionada	2	10.71	5.36	4.93%	4.08%	
Correia desalinhada	3	3.84	1.28	1.77%	6.12%	
Correia rasgada	2	41.3	20.65	19.02%	4.08%	
Desarme pelo disjuntor	1	4.32	4.32	1.99%	2.04%	
Elemento de fixação solto/ausente	6	12.08	2.02	5.56%	12.24%	
Falha de iluminação	1	3.6	3.6	1.66%	2.04%	
Falta de energia	1	21.97	21.97	10.12%	2.04%	
Fuga à terra	1	3.12	3.12	1.44%	2.04%	
Guia de material fora de posição	1	1.5	1.5	0.69%	2.04%	
Guia de material vazando	1	1.2	1.2	0.55%	2.04%	
Inversor de frequência com falha	1	13.17	13.17	6.07%	2.04%	
Inversor de frequência com temperatura anormal	1	0.61	0.61	0.28%	2.04%	
Motor elétrico queimado	2	17.97	8.99	8.28%	4.08%	
Motor elétrico ventilação forçada em falha	1	0.59	0.59	0.27%	2.04%	
Nível baixo de óleo	2	2.43	1.22	1.12%	4.08%	
Relé proteção atuado	1	0.56	0.56	0.26%	2.04%	
Revestimento solto/deslocado	1	22.17	22.17	10.21%	2.04%	
Rolete danificado	3	3	1	1.38%	6.12%	
Rolete fora de posição	1	0.71	0.71	0.33%	2.04%	
Rompedor com conexão solta	1	2.84	2.84	1.31%	2.04%	
Rompedor vazando	3	8.09	2.7	3.73%	6.12%	
Sensor em falha	1	0.59	0.59	0.27%	2.04%	
Sobrecarga operacional	2	1.37	0.69	0.63%	4.08%	
Total Geral	49	217.12	4.44			

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 7 mostra uma análise mais aprofundada do equipamento *Lokotrack*, nela aparece os motivos das falhas como falha de iluminação, sensor em falha e rolete fora de posição. Além disso mostra o número de parada para cada modo de falha, a soma de horas paradas, o MTTR e a porcentagem de *downtime* e número de falhas.

Para aprofundar a análise foram calculados novos limites na Tabela 8, utilizando os dados da Tabela 7 e as equações 1 e 2, para o equipamento estudado para posteriormente gerar um novo gráfico de dispersão como mostra na Figura 14.

Tabela 8 - Cálculo dos limites para o lokotrack 2

Somatório <i>downtime</i>	217.12
número de paradas	49
MTTR	4.44
Limite N	1.69

Fonte: Pesquisa direta (2024)

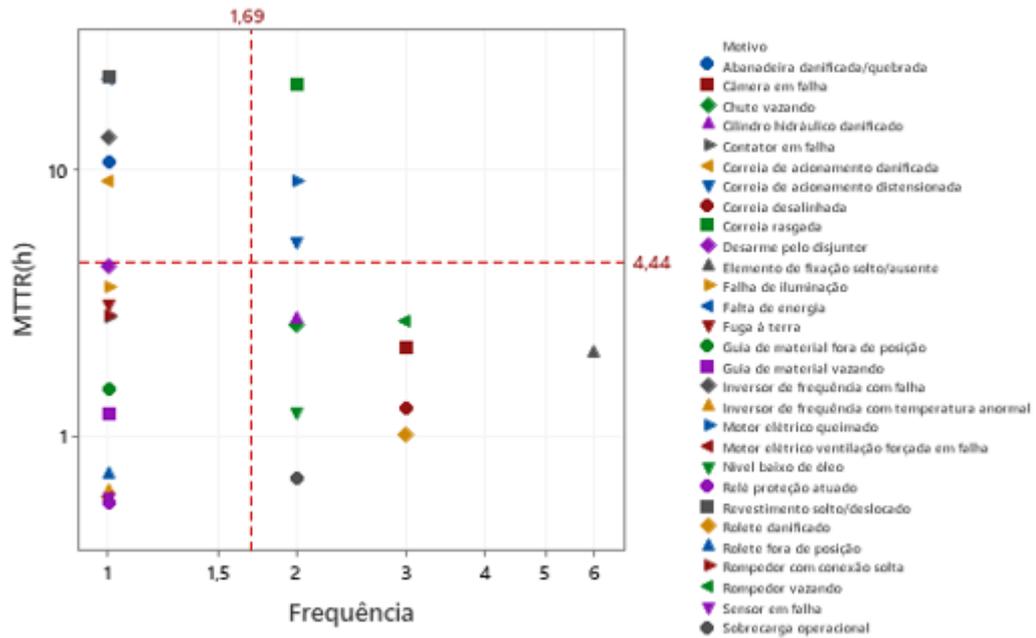


Figura 14: Gráfico de dispersão Lokotrack 2

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 14 mostra o novo gráfico de dispersão com os motivos das falhas do *Lokotrack 2*. Os limites presentes no gráfico são os calculados na Tabela 8. A partir do gráfico pode-se perceber que 3 motivos ficaram acima dos dois limites sendo eles:

- Correia rasgada;
- Motor elétrico queimado;
- Correia de acionamento distensionada.

E com isso foram gerados gatilhos para a análise dessas 3 falhas.

4.3.4 Estudo do Lokotrack 3

Assim como para o Lokotrack 2 foi feita a Tabela 9 que mostra quais os modos de falha, número de ocorrências e *downtime* para o ativo durante o período em avaliação.

Tabela 9 - Análise Lokotrack 3

Análise Lokotrack 3					
Motivo	Nº de paradas	Soma de Horas Paradas	MTTR(h)	Downtime(%)	Número de falhas
Baixa pressão de óleo	1	5.5	5.5	4.52%	4.55%
Câmera em falha	2	3.34	1.67	2.74%	9.09%
Correia de acionamento danificada	1	1.76	1.76	1.45%	4.55%
Curto-circuito	1	19.75	19.75	16.22%	4.55%
Elemento de fixação solto/ausente	1	1.42	1.42	1.17%	4.55%
Excitador em falha	3	54.53	18.2	44.82%	13.64%
Falha de comunicação	2	3.7	1.85	3.04%	9.09%
Falha de iluminação	1	0.74	0.74	0.61%	4.55%
Guia de material vazando	2	7.68	3.84	6.31%	9.09%
Revestimento solto/deslocado	1	0.64	0.64	0.53%	4.55%
Roleta danificada	3	11.26	3.76	9.25%	13.64%
Rompedor com temperatura anormal	1	7.84	7.84	6.44%	4.55%
Sensor em falha	1	0.56	0.56	0.46%	4.55%
Sensor fora de posição	1	0.59	0.59	0.48%	4.55%
Temperatura alta do óleo	1	2.42	2.42	1.99%	4.55%
Total Geral	22	121.79	5.54	1	1

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 9 permite uma visão mais detalhada das falhas do *lokotrack 2*, como por exemplo ver que acoteceram 3 paradas por rolete danificado e que o equipamento ficou 11,26 horas parado por esse motivo, com o MTTR de 3,76.

Afim de analisar mais a fundo as paradas desse equipamento foram calculados novos limites na Tabela 10, Utilizando os dados da Tabela 9 e as equações 1 e 2, e feito um novo grafico de dispersão como mostra na Figura 15.

Tabela 10 - Cálculo dos limites Lokotrack 3

Somatório <i>downtime</i>	121.79
número de paradas	22
MTTR	5.54
Limite N	1.47

Fonte: Pesquisa direta (2024)

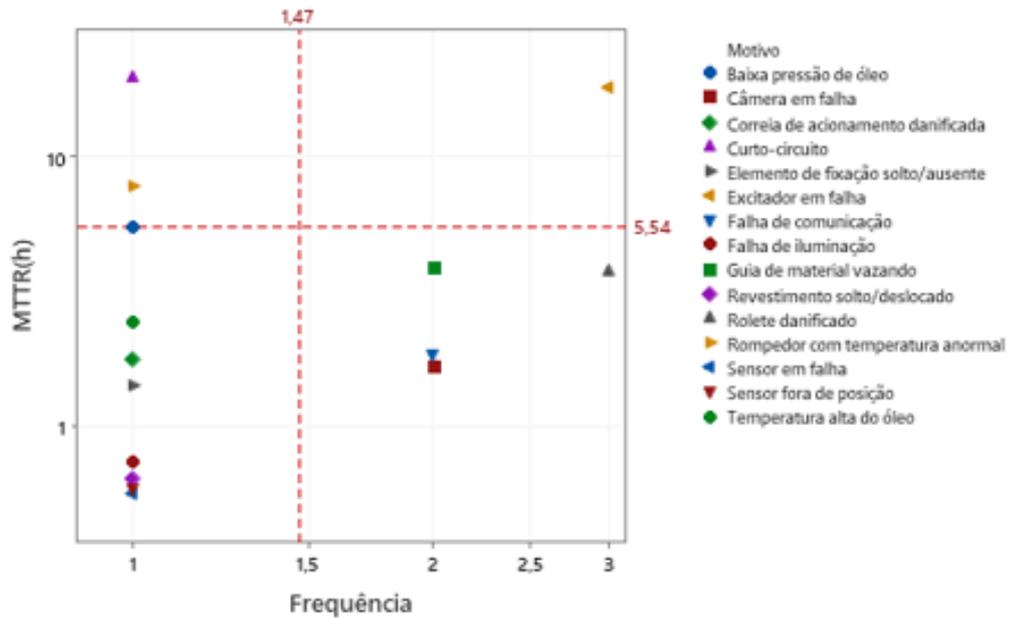


Figura 15: Gráfico de dispersão Lokotrack 3
 Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 15 mostra um gráfico de dispersão com os modos de falha do equipamento estudado vistos na Tabela 9 e os limites calculados na Tabela 10. A análise do gráfico mostra que para os modos de falha apresentados para o *Lokotrack 3*, somente um modo de falha ficou acima dos dois limites:

- Excitador em falha;

Diante disto, foi recomendado a abertura de gatilho para análise dos modos falha “Excitador em falha” para a disciplina mecânica.

4.3.5 Estudo da Correia transportadora 41

Para a correia transportadora 41 foi criada a Tabela 11 que mostra quais foram os modos de falha, número de ocorrências e *downtime* para o ativo durante o período em avaliação.

Tabela 11 - Análise Correia transportadora 41

Análise da Correia transportadora 41					
Motivo	Nº de paradas	Soma de Horas Paradas	MTTR(h)	Downtime(%)	Número de falhas(%)
Correia desalinhada	1	2.06	2.06	1.99%	7.14%
Correia rasgada	1	0.64	0.64	0.62%	7.14%
Painel de comando com proteção atuadora	1	0.95	0.95	0.92%	7.14%
Raspador fora de posição	1	1.96	1.96	1.89%	7.14%
Rede de transmissão de dados com falha de comunicação	3	91.45	30.49	88.26%	21.43%
Redutor com temperatura anormal	1	0.66	0.66	0.64%	7.14%
Roleta danificada	5	4.35	0.87	4.20%	35.71%
Sensor fora de posição	1	1.54	1.54	1.49%	7.14%
Total Geral	14	103.61			

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A tabela possibilita uma análise mais detalhada dos modos de falha do ativo estudado. Observa-se que a falha identificada como "rede de transmissão de dados com falha de comunicação" foi a que mais contribuiu para o total de horas paradas. Em contrapartida, o motivo "roleta danificada" apresentou o maior número de ocorrências de parada.

Para calcular os limites para o ativo foi feita a Tabela 12, nessa tabela foi utilizado os dados do somatório de *downtime* e do número de paradas da Tabela 11 e as equações 1 e 2 :

Tabela 12 - Cálculo limites Correia transportadora 41

Somatório <i>downtime</i>	103.61
número de paradas	14
MTTR	7.41
Limite N	1.75

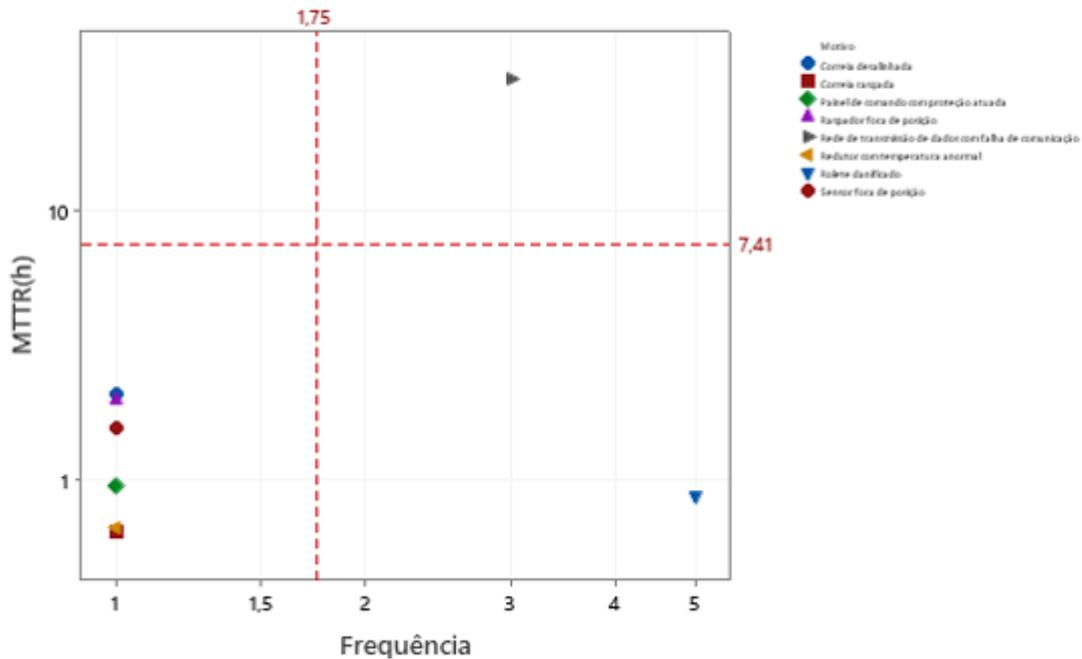


Figura 16: Gráfico de dispersão correia transportadora 41
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Na Figura 16 tem o gráfico de dispersão da correia transportadora 41, as linhas vermelhas são os limites calculados na Tabela 12 e cada figura representa um modo de falha. Com a análise do o gráfico para os modos de falha apresentados para a Correia transportadora 41, somente um modo de falha ficou acima dos dois limites:

- Rede de transmissão de dados com falha de comunicação;

Diante disto, foi recomendado a abertura de gatilhos para análise dos modos falha.

4.3.6 Estudo da Correia transportadora 37

Para melhor análise das falhas do ativo foi criada a Tabela 13.

Tabela 13 - Análise Correia transportadora 37

Análise Correia transportadora 37						
Motivo	Nº de falhas	Soma de Horas Paradas	MTTR(h)	Downtime(%)	Número de falhas(%)	
Correia rasgada	1	65.65	65.65	81.63%	7.69%	
Freio com falha de partida	1	1.21	1.21	1.50%	7.69%	
Freio vazando	1	2.44	2.44	3.03%	7.69%	
Inversor de frequência com falha	4	5.08	1.27	6.32%	30.77%	
Raspador fora de posição	1	1.1	1.1	1.37%	7.69%	
Roleta danificada	5	4.94	0.99	6.14%	38.46%	
Total Geral	13	80.42	6.19			

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A tabela apresenta os motivos de parada, o número de falhas, a soma das horas paradas, o MTTR, e as porcentagens de *downtime* e de falhas, facilitando assim a análise dos dados. Observa-se que o motivo com o maior número de paradas foi a falha no inversor de frequência, que ocorreu em quatro ocasiões. No entanto, o equipamento permaneceu parado por um período mais prolongado devido a outro modo de falha, relacionada à correia rasgada.

Afim realizar uma análise mais aprofundada das paradas desse equipamento, foram calculados novos limites apresentados na Tabela 14, utilizando dados sobre o número de falhas e o somatório de *downtime* da Tabela 13, conforme as equações 1 e 2. Em seguida, um novo gráfico de dispersão foi elaborado.

Tabela 14 - Cálculo dos limites da correia transportadora 37

Somatório <i>downtime</i>	80.42
número de paradas	13
MTTR	6.19
Limite N	2.17

Fonte: Pesquisa direta (2024)

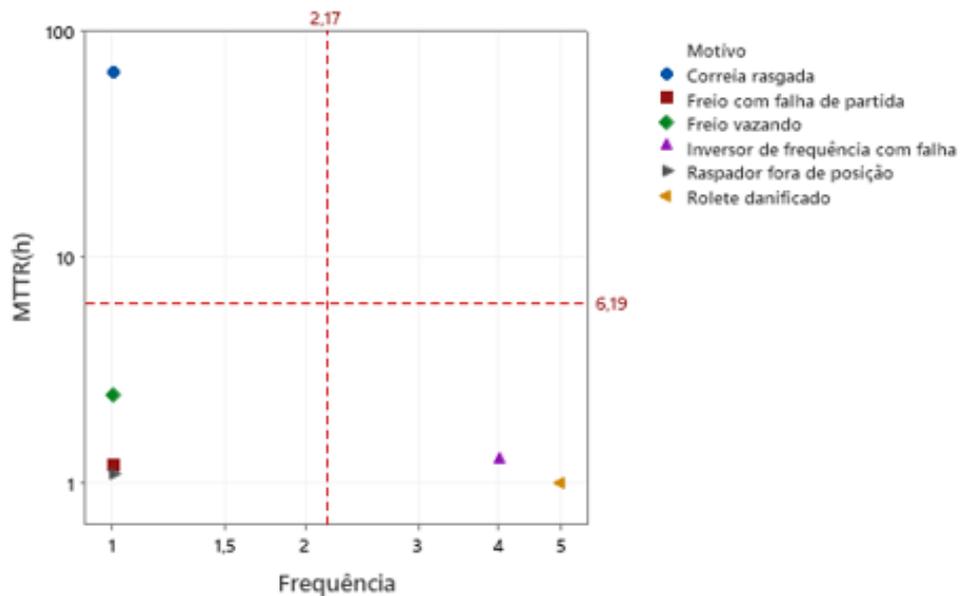


Figura 17: Gráfico de dispersão da correia transportadora 37
Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 17 é o gráfico de dispersão da correia transportadora 37, cada figura representa um modo de falha e os limites são os calculados na Tabela 14. De acordo com o gráfico para os modos de falha apresentados para a correia transportadora 37 não houveram falhas agudas-crônicas, ou seja, nenhum modo de falha ficou acima dos dois limites calculados e por isso não foram disparados gatilho de análise de falha.

Portanto, para aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) aos equipamentos de uma mina, foram realizadas as seguintes etapas: análise das paradas da mina em um período específico, tratamento dos dados de parada, avaliação da confiabilidade geral da mina e análise da confiabilidade de cada equipamento crítico-crônico. Assim, dos equipamentos selecionados, o MCC foi aplicado para os equipamentos Lokotrack 2 e 3 e correias transportadoras 41 e 37 com o objetivo de gerar gatilhos de análise de falha para os modos de falhas críticos-crônicos como pode ser visto na Tabela 15.

Tabela 15 - Resumo dos modos de falha crítico-crônico por ativo

Lokotrack 2	<ul style="list-style-type: none"> • Correia rasgada; • Motor elétrico queimado; • Correia de acionamento distensionada.
Lokotrack 3	<ul style="list-style-type: none"> • Excitador em falha.
Correia transportadora 41	<ul style="list-style-type: none"> • Rede de transmissão de dados com falha de comunicação.
Correia transportadora 37	<ul style="list-style-type: none"> • Não apresentou modo de falha crítico-crônico.

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Após aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para os equipamentos da mina, pode-se ver na Tabela 15 um resumo dos modos de falha críticos-crônicos identificados em alguns ativos específicos. No Lokotrack 2, por exemplo, foram constatados três modos de falha recorrentes: correia rasgada, motor elétrico queimado e correia de

acionamento distensionada. O Lokotrack 3 apresentou falha no excitador, enquanto a Correia Transportadora 41 sofreu com falhas na rede de transmissão de dados. A Correia Transportadora 37, por outro lado, não apresentou nenhum modo de falha crítico-crônico. Essas informações destacam a relevância da MCC em detectar padrões de falha e priorizar ações de manutenção, focando em problemas que podem impactar de forma significativa a disponibilidade e a eficiência dos equipamentos da mina.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nos equipamentos de uma mina, pertencente a uma empresa do setor de mineração. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão teórica abrangente sobre manutenção, métodos de manutenção e MCC. A partir da análise e interpretação dos dados de um histórico de manutenção, abrangendo um período de seis meses e focando em paradas corretivas, foi possível identificar os modos de falha mais frequentes durante o período investigado. Assim, o estudo teve como objetivo abordar a seguinte questão: Como aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade para os equipamentos da mina de uma empresa do setor de mineração?

Com a aplicação da MCC e a análise dos dados históricos de manutenção, foi possível identificar os principais modos de falha de cada ativo. No Lokotrack 2, foram detectados problemas como correia rasgada, motor elétrico queimado e correia de acionamento distensionada. O Lokotrack 3 apresentou falha no excitador, enquanto a Correia Transportadora 41 teve uma falha na rede de transmissão de dados. A Correia Transportadora 37, por sua vez, não apresentou falhas críticas durante o período analisado. A identificação desses modos de falha críticos-crônicos acionou o gatilho para análises de falhas detalhadas, que permitirá uma investigação mais aprofundada das causas raízes, com o objetivo de implementar ações mais eficazes para evitar recorrências e otimizar o desempenho dos equipamentos.

5.2 Recomendações

A partir do estudo realizado são recomendados os seguintes trabalhos futuros:

- Estudo do impacto da implementação de estratégias de MCC na redução de custos operacionais em equipamentos de mineração;
- Análise do Impacto da Manutenção Centrada na Confiabilidade no aumento da vida útil de equipamentos em operações na mineração;
- Aplicação de técnicas de manutenção preditiva baseadas em análise de MCC para prevenção de falhas em uma mina.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, Paulo Samuel D. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. SRV Editora LTDA, 2015.

AVELAR, W. Monografia – **Utilização de ferramentas da qualidade objetivando melhorias no processo produtivo** - Universidade Católica de Petrópolis – Petrópolis – 2008.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GLOBAL BELT. **Correia transportadora para mineração: eficiência e durabilidade**. Disponível em: <https://globalbelt.com.br/correia-transportadora-para-mineracao-eficiencia-e-durabilidade/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção - Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2015.

Limeira, Erika, P. et al. **Controle da Qualidade - Princípios, Inspeção e Ferramentas de Apoio na Produção de Vestuário**. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2015.

LINS, I. A. **Ferramentas básicas da qualidade**. Ciência da Informação, v. 22, n. 1, 1993. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/502/502>. Acesso em: 1 out. 2024.

METSO. **Lokotrack: a linha de plantas móveis de britagem e peneiramento**. Disponível em: <https://www.metso.com/pt/portfolio/lokotrack/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

PAULISTA, Paulo; ALVES, Raphaelly. **Ferramentas da qualidade: uma revisão bibliográfica e análise de publicações no ENEGEP**. 2015.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SANTOS, Eduardo. **5 principais indicadores de manutenção com MTBF e MTTR**. 2017.

SILVA, D. C. **Metodologia de análise e solução de problemas: curso de especialização em qualidade total e marketing**. Florianópolis: Fundação CERTI, 1995.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

XENOS, Harilaus Georgius D'Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade.** 2 ed. Nova Lima: Falconi, 2014.

ANEXO