



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

FERNANDA TERESA SILVA SOUSA

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONFIABILIDADE DE
UMA MÁQUINA RECUPERADORA DO TIPO PONTE: UM ESTUDO DE CASO EM
UMA EMPRESA DO RAMO DE MINERAÇÃO**

**TERESINA
2022**

FERNANDA TERESA SILVA SOUSA

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONFIABILIDADE DE
UMA MÁQUINA RECUPERADORA DO TIPO PONTE: UM ESTUDO DE CASO EM
UMA EMPRESA DO RAMO DE MINERAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de Bacharelado em
Engenharia Mecânica, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí,
Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Valdivino
Rocha Lima

TERESINA-PIAUI
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Sousa, Fernanda Teresa Silva

S725p Proposta de implementação de um sistema de confiabilidade de uma máquina recuperadora do tipo ponte : um estudo de caso em uma empresa do ramo de manutenção / Fernanda Teresa Silva Sousa. - 2022.

52 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2022.

Orientador : Prof Dr. Francisco Valdivino Rocha Lima.

1. MCC. 2. Manutenção preventiva. 3. Recuperação. I. Título.

CDD -

FERNANDA TERESA SILVA SOUSA

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONFIABILIDADE DE
UMA MÁQUINA RECUPERADORA DO TIPO PONTE: UM ESTUDO DE CASO EM
UMA EMPRESA DO RAMO DE MINERAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de Bacharelado em
Engenharia Mecânica, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí,
Campus Teresina Central.

Orientador: Dr. Francisco Valdivino Rocha
Lima

Data de aprovação: 09/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Francisco Valdivino Rocha Lima (IFPI)
(Presidente/Orientador)

Dr. Ayrton de Sá Brandim (IFPI)
Membro Interno

Me. Fabrício Carvalho da Silva (IFPI)
Membro Interno

Dedico esse trabalho aos meus amigos que estiveram comigo nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

É com muita gratidão e com o coração apertado como se fosse véspera de prova do Ricardo que eu digo: MUITO OBRIGADA, AMIGOS! Muito obrigada, aos meus amigos de curso e de vida: Sávio, Hemilly, Hévelin, Thielson e Maria Beatriz. Vocês foram essenciais, caminharam comigo e me trouxeram até aqui. Vocês seguraram minha mão para que caminhássemos lado a lado, me fizeram mais forte e acreditaram em mim quando nem eu acreditei.

Agradeço também a minha família que me deu apoio, aos meus pais Fernando e Flávia, à minha irmã Luana, ao meu cachorro Gato, aos meus avós Aderbal, Nazareth e Raimunda e aos meus tios e tias.

Obrigada, mãe-IFPI, por me proporcionar essa aventura e escalar grandes guerreiros para trilhar essa jornada ao meu lado. Foi traumatizante, fico feliz que chegou ao fim.

Obrigada também aos professores que me inspiraram e me motivaram, vocês foram importantes.

Por fim, queria me agradecer por ser tão resiliente e não ter desistido, não foi em vão! Obrigada.

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes”

Isaac Newton.

RESUMO

O cenário industrial, de maneira geral, tem o desafio de manter a alta performance e a produtividade para satisfazer o mercado. Para que isso ocorra é necessário que haja uma produção de qualidade, com poucas falhas e paradas não programadas durante o processo e a manutenção industrial é uma ferramenta fundamental. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo o estudo da aplicação de ferramentas utilizadas na Manutenção centrada na confiabilidade (MCC), foram utilizados dados de análises de perdas e efeitos de falhas colhidos do programa Sistemas, Aplicativos e Produtos (SAP) para processamento de dados levantados a partir de registros da operação. Para esse estudo utilizou-se algumas ferramentas como o PDCA (Plan, Do, Check e Act), buscando analisar e desenvolver estratégias para reduzir ou mitigar as falhas já mapeadas, visando reduzir o tempo de intervenções corretivas. Além dela, o estudo também utilizou a *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* para mapear possíveis falhas e suas causas, direcionando as decisões para a maior manutenabilidade dos ativos em condições normais de operação, diminuindo o tempo de manutenção e aumentando a disponibilidade do equipamento para produção. A aplicação das metodologias permitiu a otimização do tempo e recursos da empresa. Portanto, a proposta do trabalho foi o desenvolvimento e análise de planos de manutenção baseados em matriz de criticidade, análise PDCA e FMEA das falhas de uma recuperadora do tipo ponte de uma mineradora com o intuito de aumentar a confiabilidade do processo de produção, reduzir custos com a manutenção e aumentar a disponibilidade do ativo.

Palavras-Chave: MCC. Manutenção preventiva. Recuperadora.

ABSTRACT

The industrial scenario, in general, has the challenge of maintaining high performance and productivity to satisfy the market. For this to happen, there must be a quality production, with few failures and unscheduled stops during the process and industrial maintenance is a fundamental tool. In this context, the present work aims to study the application of tools used in Reliability Centered Maintenance (MCC), data from loss analysis and failure effects collected from the Systems, Applications and Products (SAP) program were used to process data. data collected from transaction records. For this study, some tools such as the PDCA (Plan, Do, Check and Act) were used, seeking to analyze and develop strategies to reduce or mitigate the failures already mapped, aiming to reduce the time of corrective interventions. In addition, the study also used the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to map possible failures and their causes, directing decisions towards greater asset maintainability under normal operating conditions, reducing maintenance time and increasing equipment availability. for production. The application of the methodologies allowed the optimization of the company's time and resources. Therefore, the purpose of this work was the development and analysis of maintenance plans based on a criticality matrix, PDCA and FMEA analysis of failures of a bridge-type reclaimer of a mining company to increase the reliability of the production process, reduce costs maintenance and increase asset availability.

Keywords: MCC. Preventive maintenance. Reclaimer.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Distribuição do TMEF e o TMPR na Operação
- Figura 2 - Diagrama de Ishikawa
- Figura 3 - Ensaio por líquido penetrante em uma trinca na recuperadora
- Figura 4 - Abordagem Ágil
- Figura 5 – Fluxograma do projeto
- Figura 6 – Pátio de regularização
- Figura 7 - Recuperadora do tipo Ponte
- Figura 8 - Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Quebra do Suporte Cortinado
- Figura 9 – Desenho técnico do balancinho presente na roda de caçamba
- Figura 10 - Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Folga no Balancinho
- Figura 11 – Movimentos de uma máquina recuperadora do tipo ponte
- Figura 12 - Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Falha sobre o avanço na máquina
- Figura 13 - Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Desalinhamento da Translação

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Setores de parada

Gráfico 2 – Causas de parada

Gráfico 3 – PARETO: Quantidade de paradas

Gráfico 4 – PARETO: Tempo Total Gasto

Gráfico 5 – Projeção das horas paradas para manutenção

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas MASP/PDCA

Tabela 2 – Efeitos de Falha

Tabela 3 – Perfil de perdas

Tabela 4 – Método Lacuna

Tabela 5 – Comprovação de Causas fundamentais – Quebra do Suporte cortinado

Tabela 6 – Comprovação de Causas fundamentais – Folga no balancinho

Tabela 7 – Comprovação de Causas fundamentais – Falha sobre o avanço na máquina

Tabela 8 – Comprovação de Causas fundamentais – Desalinhamento da Translação

Tabela 9 – Matriz de viabilidade – Quebra do Suporte Cortinado

Tabela 10 – Matriz de viabilidade – Folga no balancinho

Tabela 11 – Matriz de viabilidade – Falha sobre avanço na máquina

Tabela 12 – Matriz de viabilidade – Desalinhamento da translação

Tabela 13- Plano de Ação – Quebra do Suporte Cortinado

Tabela 14- Plano de Ação – Folga no balancinho

Tabela 15 – Plano de Ação – Falha sobre avanço na máquina

Tabela 16 – Plano de Ação – Desalinhamento da translação

LISA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SAP - Sistemas, Aplicativos e Produtos para processamento de dados / Systems Applications and Products

MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis

PDCA – Plan, DO, Check e Act

TMEF – Tempo Médio Entre Falhas

TMPR – Tempo Médio Para Reparação

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE TABELAS	11
LISA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	12
SUMÁRIO.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Confiabilidade	18
2.2 Pilares da manutenção centrada na confiabilidade	19
2.2.1 Manutenção corretiva	19
2.2.2 Manutenção preventiva.....	19
2.2.3 Manutenção preditiva	20
2.3 Análise de falhas.....	21
2.4 Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA).....	23
2.4.1 Diagrama de Ishikawa	24
2.4.2 Método dos 5 Porquês	25
2.4.3 Comprovação de Causas fundamentais	25
2.5 Ensaio não destrutivo (END).....	25
3 MATERIAL E MÉTODO	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Descrição do sistema de produção.....	29
5 CONCLUSÃO.....	48
5.1 Recomendações para trabalhos futuros	49

1 INTRODUÇÃO

Com a Revolução Industrial e o desenvolvimento da tecnologia, as máquinas se tornaram peças fundamentais, acelerando processos, aumentando a produtividade e, conseqüentemente, trazendo novos desafios para empresas. Tendo a sua primeira aparição na aeronáutica na década de 1970, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) surge com a proposta de fazer o necessário para manter um ativo disponível e confiável para operação (TELES, JHONATA 2019).

No século XIX, com a automação da indústria surge a necessidade de reparar os equipamentos. Até então a manutenção não era considerada uma importância primária e tinham seus reparos executados pelo mesmo efetivo de operação. Com o aumento da produção, as fábricas passaram a sentir a necessidade de equipes que pudessem atuar nos reparos em máquinas operatrizes em menos tempo e assim surgiu a manutenção corretiva (TAVARES, LOURIVAL, 1998).

Com o desenvolvimento acelerado e alta competitividade, as indústrias sentiram a necessidade de buscar novos meios que trouxessem aumento de produtividade e redução de custos sem que isso comprometesse a qualidade dos produtos ou a segurança de seus funcionários e, quando a MCC surgiu, tinha o objetivo claro de que sua necessidade era de aumentar a disponibilidade dos ativos e reduzir custos, sendo possível mapear processos e planejar manutenções. Por volta dos anos 2000, iniciava-se uma nova geração da manutenção e trouxe com ela uma nova proposta: a manutenibilidade – “fazer menos, com menos”. Esse novo conceito foi incluso à manutenção e atualmente segue sendo fundamental para que haja resultados satisfatórios. A confiabilidade aumentada e aplicação exata dos recursos para atingi-la é um forte componente para a sobrevivência sustentável do negócio (MORTELARI, 2022).

A manutenção tem o papel de manter os ativos em condições que os permitam continuar exercendo suas funções pelo período planejado, dessa maneira, abriu no mercado industrial uma nova área de atuação, onde seriam direcionados estudos, análises e planejamentos alinhados aos objetivos do mercado (MOUBRAY, 1997).

As falhas sempre existirão e o controle e administração delas têm um impacto significativo e direto nos índices de produção. Além disso, as falhas emergenciais, que são as falhas que precisam de reparo imediato por influenciarem na disponibilidade dos ativos, quando há um planejamento e essas falhas podem ser mitigadas através da prevenção ou

planejamento de manutenção corretivas, com isso é gerada a redução de custos e esse é um ponto de interesse das indústrias.

Nas empresas de mineração é comum o aparecimento de falhas estruturais em máquinas do tipo recuperadora. Na empresa “X”, o objeto da presente pesquisa, observou-se a alteração de parâmetros de funcionamento causado pelo ajuste necessário para adaptação às condições climáticas, reduzindo a pilha de material e diminuindo a disponibilidade do equipamento causado pelas paradas para manutenção corretiva, afetando os índices de produção. Foram constatadas 267 paradas e com duração de 689,8 horas em um ano, onde as manutenções corretivas possuem uma posição importante na quantidade de paradas e que poderiam ter sido substituídas por medidas preventivas, minimizando ou até mitigando o tempo de produção perdido.

Em face do exposto, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o perfil de perdas de uma máquina recuperadora do tipo ponte em uma empresa do ramo de mineração e aplicar conceitos derivados da Manutenção centrada na confiabilidade, analisando possibilidades mapeadas através de ferramentas como PDCA, buscando encontrar o plano de manutenção que melhor se enquadra a situação, aumentando a confiabilidade do sistema e gerando o menor impacto no tempo de disponibilidade do equipamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A norma NBR 5462 (1994), segundo a Associação Brasileira de normas técnicas (ABNT), define confiabilidade como a “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. Buscando atender a esse conceito, são definidos pilares que embasam e divide as ações para que sejam mais bem visualizadas e possam ser definidas prioridades no momento da execução.

Os ativos são os itens ou entidades que têm valor real ou potencial para uma organização. Este valor pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro, e inclui a consideração de riscos e passivos. Ele pode ser positivo ou negativo, em diferentes estágios da vida do ativo. Os ativos físicos geralmente referem-se a equipamentos, estoques e propriedades de posse da organização. Os ativos físicos são o oposto de ativos intangíveis, que são ativos não físicos, como contratos, marcas, ativos digitais, direitos de uso, licenças, direitos de propriedade intelectual, reputação ou acordos. O agrupamento de ativos referidos como um sistema de ativo também pode ser considerado como um ativo (ABNT NBR ISO 55000).

A falha é o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. Depois da falha o item tem uma pane. A “falha” é um evento; diferente de pane que é um estado. Este conceito como definido, não se aplica a itens compostos somente por software (NBR 5462, 1994).

2.1 Confiabilidade

A confiabilidade, segundo Garcia (2005), é a probabilidade de um ativo ou sistema forneça o que se espera dele durante um período certo, considerando também as condições a que eles são expostos. Um parâmetro muito utilizado é o tempo médio entre falhas (TMEF).

Henrique Corrêa (2007) diz que, normalmente, o TMEF é obtido através da quantidade de falhas ocorridas em um determinado período de operação, obtendo a taxa de falhas através da seguinte expressão:

$$Taxa\ de\ falhas = \frac{Quantidade\ de\ falhas}{(Unidades\ x\ horas\ em\ operação)}$$

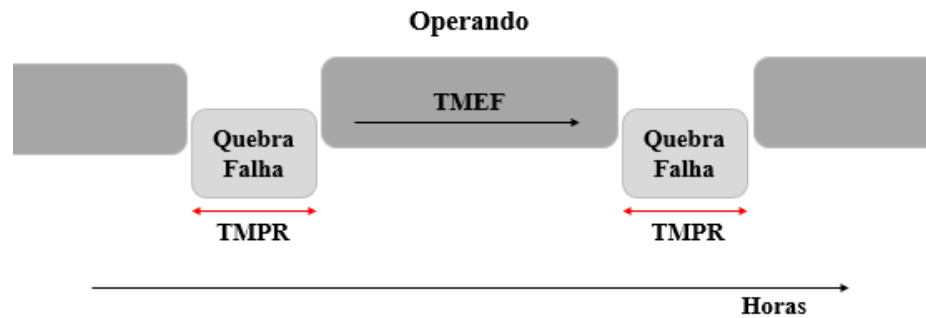
E, a partir dela, obtemos o TMEF:

$$TMEF = \frac{1}{(Taxa\ de\ falhas)}$$

Outro indicador que também pode ser calculado é o Tempo médio para reparação (TMPR), esse tempo é consumido na reparação de uma falha ou durante uma parada para manutenção, impactando na disponibilidade de um ativo. A disponibilidade de um ativo é o tempo entre duas falhas sucessivas, dessa forma ela pode ser definida pela seguinte expressão:

$$Disponibilidade = \frac{TMEF}{(TMEF + TMPR)}$$

Figura 1 – Distribuição do TMEF e o TMRP na Operação



Fonte: Autor (2022)

Em suma, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é uma estratégia que associada a outros conceitos e traz às indústrias a capacidade de maior produção e redução de custos. Através dela também é possível analisar dados e prever falhas, manter um equipamento com a sua disponibilidade máxima, facilitar processos, aumentar a segurança da equipe envolvida nos processos de execução dos projetos em que a MCC é aplicada e projetar ações futura baseadas em dados que foram colhidos durante esse processo (MOUBRAY, 1997).

2.2 Pilares da manutenção centrada na confiabilidade

A MCC possui quatro pilares que são divididos de acordo com sua necessidade e grau de prioridade para a aplicação da manutenção, são elas: Manutenção corretiva, Manutenção preventiva, Manutenção preditiva e a Manutenção Programada (TELES, 2019).

2.2.1 Manutenção corretiva

2.2.2 Manutenção preventiva

A NBR 5462 diz que a Manutenção Preventiva é a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, objetivando diminuir a probabilidade de falhas potencial ou por degradação do funcionamento de um item. Além disso, ela é utilizada para monitorar as condições de funcionamento e encontrar a falha ainda em estado inicial, evitando longos períodos de indisponibilidade do ativo, porém ainda não é a opção mais barata de manutenção porque ela não é aplicável na maioria dos casos.

As principais consequências desse modelo se mostram no custo, devido as peças serem substituídas mesmo sem sinais de não conformidades, provocando uma parada não obrigatória. Desta maneira, é imprescindível a análise minuciosa de modo que não haja paradas desnecessárias (TELES, 2019).

Sobre essa abordagem, Slack (2018) fala que seu objetivo é reduzir ou eliminar as possibilidades de falhas por manutenção, isso inclui a limpeza, substituição, lubrificação e verificação do ativo. Dessa maneira, destacam-se três principais pontos para que seja feita a análise para esse tipo de manutenção e estão listados a seguir:

- intervalos predeterminados;
- critérios específicos;
- redução da probabilidade de falhas.

O gatilho é um momento específico em que ocorre um evento determinado e que se faz necessário o início de uma ação de manutenção (TELES, 2019). Existem basicamente quatro tipos de gatilhos, sendo eles:

1. Tempo – Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 6 meses”;
2. Horas de Funcionamento – Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 1200 horas”;
3. Produtividade - Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 1500 peças produzidas.”
4. Gatilho Misto - Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 6 meses, 1200 horas de funcionamento ou 1500 peças produzidas. O que acontecer primeiro, entre duas condições”.

2.2.3 Manutenção preditiva

Slack (2018) explica que a Manutenção Preditiva é a abordagem que visa realizar a manutenção apenas quando as instalações necessitarem. Para isso, é importante o monitoramento da operação para determinar a manutenção, garantindo a qualidade de serviço desejada com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva. Ela tem como principais objetivos:

1. Determinar antecipadamente a necessidade de serviços de manutenção numa peça ou componente específico de uma máquina ou equipamento;
2. Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
3. Aumentar o tempo de disponibilidade das máquinas e equipamentos;

4. Reduzir as intervenções de corretiva;
5. Impedir o aumento dos danos;
6. Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;
7. Aumentar o grau de confiabilidade das máquinas e equipamentos.

Um plano de manutenção tem o máximo aproveitamento da vida útil dos componentes como sua maior vantagem, diminui também o número de intervenções no sistema e reduz os reparos de emergência. Como desvantagem, esse modelo de manutenção exige maior acompanhamento e número de inspeções periódicas, necessitando de equipe técnica de manutenção especializada e acarretando um aumento de custos (RAPOSO, 2004).

2.3 Análise de falhas

A análise de falhas consiste em identificar e analisar de forma lógica um item que falhou e as não conformidades do mecanismo, a causa e as consequências da falha, e então encontrar a causa raiz para o devido tratamento. As análises de falhas podem ser realizadas sem um processo prévio de priorização, para uma falha crítica, ou de forma sistematizada, como etapa complementar ao processo de perfil de perdas. Para sistematizar as análises de falhas é essencial estabelecer um gerenciamento das informações sobre as falhas e ações subsequentes (PETRÔNIO, 2005).

A metodologia segue sete etapas:

Fase 1: a especificação do problema é feita a partir de sete (7) questionamentos:

- O que falhou?
- Qual é a falha?
- Onde ocorreu a falha?
- Quando ocorreu a falha?
- Como ocorreu a falha?
- Qual é a magnitude da falha?
- O que é e o que não pe característico da falha?

Fase 2: Geração de hipótese de causa de falhas;

Fase 3: Verificação e investigação da hipótese que justifica a falha;

Fase 4: Análise dos controles existentes para evitar as falhas;

Fase 5: Avaliação dos índices de ocorrência e criticidade das falhas;

Fase 6: Desenvolvimento de ações preventivas e corretivas, buscando resolver ou atuar sobre os problemas, diminuindo seus efeitos;

Fase 7: Monitoramento das ações selecionadas.

Essa análise pode ser feita através do Método de análise e solução de problemas (MASP) que é baseado na metodologia PDCA -Plan-Do-Check-Act., em tradução direta: Planejar-Fazer-Checar-Agir. O PDCA é um método de gestão que visa a melhoria contínua de um processo e foi desenvolvido pelo estatístico Walter A. Shewhart, grande estudioso do controle de qualidade industrial (FALCONI, 1999).

No desenvolvimento desse trabalho, foram enumeradas oito etapas para o desenvolvimento dessa análise, exemplificadas na tabela a seguir:

Tabela 1 - Etapas MASP/PDCA

Método de solução de problemas			
PDCA	FLUXOGRAMA	ETAPA	OBJETIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais
	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais
D	5	Execução	Bloquear as causas fundamentais
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo
	?	Bloqueio efetivo?	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema
	8	Conclusão	Recapturar todo o processo de solução do problema para trabalho futuro

Fonte: Autor (2022)

2.4 Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA)

A *Failure Modes And Effects Analysis (FMEA)* é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de pane que podem existir para cada subitem, e a determinação dos efeitos de cada modo de pane sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item (NBR 5462, 1994).

Essa ferramenta é reconhecida como uma função essencial, é um processo sistemático para identificar possíveis falhas de projeto e processo antes que eles aconteçam, objetivando minimizar ou mitigar as falhas. Esse processo possui seus procedimentos baseados nos padrões da engenharia de confiabilidade industrial, militar e comercial. Seu objetivo é constatar que as falhas não excedam as declaradas no esboço de desenvolvimento do produto,

desenvolvendo um sistema de tolerância de falhas, para que sejam identificadas e mitigadas antes de acontecerem, reduzindo custos, prejuízos e perdas (TELES, JHONATA 2019).

O FMEA é uma das técnicas mais eficientes para prevenção de falhas e identificação de soluções e com ótimo custo/benefício, além de fornecer uma abordagem estruturada para análise, avaliação, condução e atualização do desenvolvimento de processos e projetos (ESTORILIO, 2011).

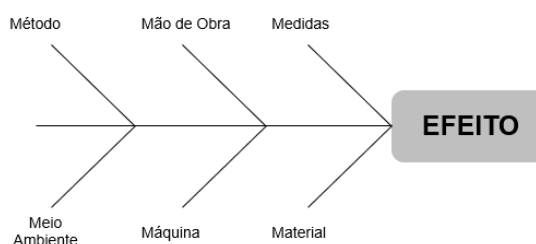
Após a identificação de falhas, são identificados seus efeitos. Dentre eles, “promover treinamento da equipe envolvida nos processos para garantir que haja ciclos de limpeza eficazes” são os mais recorrentes nesse projeto, visto que a sujeira é uma causa de parada inevitável e impacta diretamente nas paradas de produção e na manutenção dos ativos.

2.4.1 Diagrama de Ishikawa

Entre as diversas ferramentas de confiabilidade e qualidade, está o diagrama de Ishikawa ou diagrama espinha de peixe, como também é conhecido. O diagrama permite identificar as principais causas de problemas, indicando suas sub-causas de forma a indicar os fatores que podem ser comuns entre si. Não indica, necessariamente, a sua causa raiz, mas auxilia no foco para a organização das possíveis causas do problema (ANTÓNIO; TEIXEIRA; ROSA, 2016).

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta que permite organizar o raciocínio e discutir de maneira objetiva as causas da falha, visualizando os aspectos que influenciam essa falha e os seus efeitos decorrentes. “[...] foi desenvolvida através da ideia de fazer as pessoas pensarem sobre as causas e possíveis razões que fazem com que um problema ocorra” (ENGETREF, 2017). A ferramenta foi selecionada devido a sua simplicidade e fácil aplicação, proporcionando a análise das causas de não conformidade nos processos de produção.

Figura 3 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Moubray (2000)

2.4.2 Método dos 5 Porquês

O método dos 5 Porquês é uma abordagem utilizada pelo sistema Toyota de Produção, seu objetivo é chegar à verdadeira causa raiz do problema. É uma ferramenta de simples resolução de problemas desenvolvida por Taiichi Ono e consiste em formular a pergunta “Por quê” cinco vezes para ter entendimento da causa da falha e chegar a sua raiz. Não é obrigatório que sejam feitos os cinco por quês, é possível que se chegue à raiz do problema com menos perguntas, esse parâmetro varia de acordo com a necessidade específica do problema (OHNO, 1997).

2.4.3 Comprovação de Causas fundamentais

A comprovação de causas fundamentais nada mais é que associar a causa provável a uma justificativa e verificar a sua validade. Tendo suas causas mapeadas nas etapas anteriores, a ação dessa atividade é afirmar que a justificativa dada através das análises é plausível (FALCONI, 1999).

O desenvolvimento das contramedidas está associado ao planejamento das ações para bloquear as causas e eliminar o problema. Elas são feitas com auxílio da matriz de viabilidades, gerando um plano de ação para resolução do problema. O plano de ação é um documento no qual são registradas informações sobre as tarefas a serem feitas onde o objetivo é a padronização do trabalho de maneira a se criar uma rotina para os colaboradores. A literatura aponta que os elementos principais de um plano para manutenção de um ativo são: i) a estratégia de manutenção para cada sistema ou equipamento e ii) o intervalo de tempo entre manutenções (BLOOM, 2006; RAUSAND, 1998).

2.5 Ensaios não destrutivos (END)

Os Ensaios não destrutivos são um conjunto de técnicas e testes que não destroem ou alteram de forma permanente as propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais dos objetos e equipamentos utilizados nos ensaios, onde seus resultados são utilizados para avaliar as propriedades de um material, componentes ou sistema na indústria (Equipe Técnica SGS, 2018)

A ISO 17020 é uma das normas regulamentadoras que abrangem métodos de END, dando maior credibilidade e segurança para os resultados das análises, da mesma maneira que exige que os testes sejam feitos por profissionais qualificados.

Alguns dos testes mais comuns são:

- Ensaio por inspeção visual;
- Ensaio por líquido penetrante;
- Ensaio por ultrassom;

Figura 3 – Ensaio por líquido penetrante em uma trinca na recuperadora



Fonte: Acervo da Empresa “X” (2020)

3 MATERIAL E MÉTODO

Essa pesquisa é um estudo de caso de um sistema de manutenção centrada na confiabilidade com base em um banco de dados de perfil de perdas e efeitos de falhas de uma empresa “X” de mineração.

Foi utilizado o método PDCA para mapear as causas fundamentais através de ferramentas de gestão de problemas, começando pela seleção dos problemas através da análise do perfil de perdas associado a um *brainstorming*, em tradução direta: “Chuva de ideias”. O passo seguinte foi a utilização dos dados colhidos na primeira etapa para desenvolver gráficos de Pareto e matrizes de priorização, dando a visibilidade aos principais setores e causas de falhas. Após mapeadas, utilizou-se o histórico das falhas para definir a meta a ser alcançada com o trabalho, aplicando o método de lacunas para projetar quantitativamente as horas reduzidas no processo. Após determinadas as metas, foi feita a comprovação as causas do problema com o auxílio dos métodos de Ishikawa e os Cinco Porquês para definir a causa raiz em paralelo às comprovações de causas, reiterando as informações já colhidas. Finalizando o primeiro pilar da metodologia PDCA referente ao planejamento, foram desenvolvidas as contramedidas em formato de planos de ação,

juntamente às matrizes de viabilidades, sinalizando que os problemas mapeados são passíveis de aperfeiçoamento.

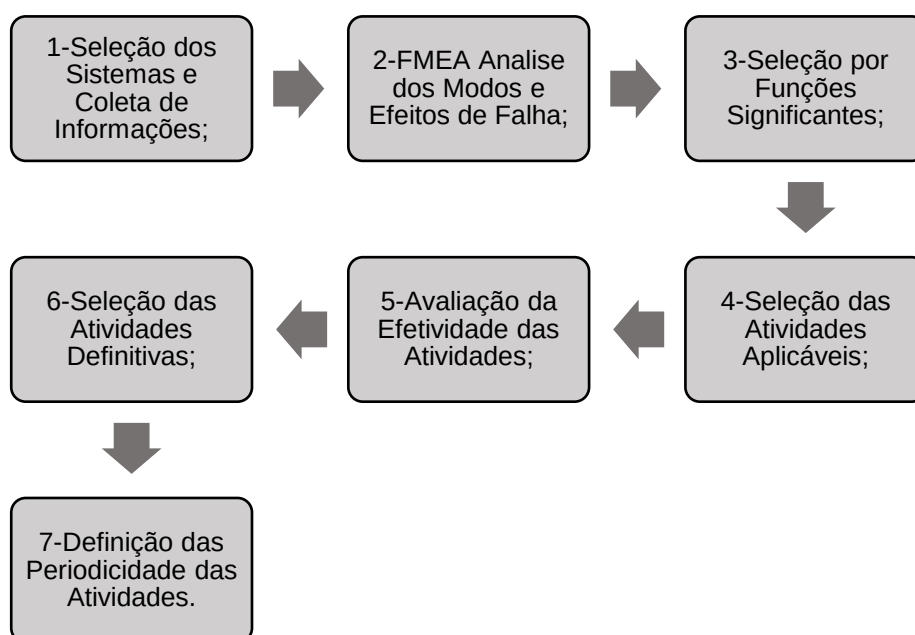
Para a implementação da ação é utilizada a ferramenta 5W2H, foram descritas as ações levando em consideração a viabilidade, prazos, responsáveis e custos para que seja possível minimizar o tempo gasto nas manutenções corretivas.

A MCC auxilia no desenvolvimento de um programa de manutenção eficaz, combinando ferramentas e técnicas em uma metodologia estruturada para mapeamento de ações de manutenção, priorizando as necessidades do processo de produção, buscando evitar ou reduzir as ocorrências, as consequências e efeitos significantes de uma falha e os custos (BARAN, 2011).

Moubray (2000) sintetiza os resultados esperados com a implantação da MCC em: redução das atividades de manutenção, otimização do planejamento da manutenção, aumento da produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, redução dos custos com manutenção, materiais e operação e redução dos riscos

Ressalta-se que o presente trabalho é direcionado a Manutenção Centrada na confiabilidade, busca apresentar soluções para o aumento da produtividade da empresa utilizando uma abordagem ágil e que tem como base normas e padrões de implementação, dessa maneira, estará alinhado com a NBR-5462 e IEC60300-3-11 e seguindo o seguinte escopo:

Figura 4 – Abordagem Ágil.

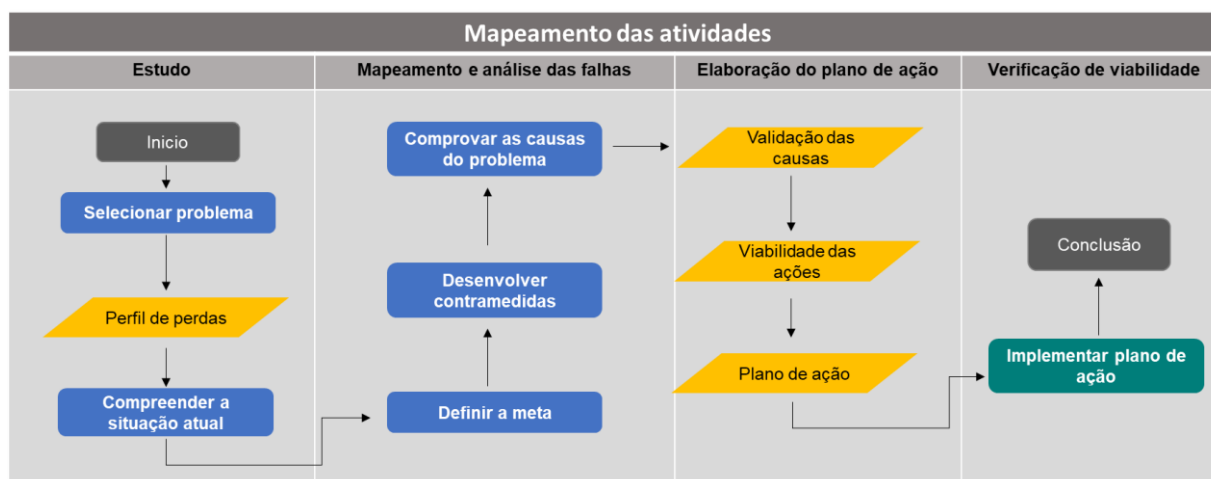


Fonte: Moubray (2000)

A normas não definem uma sequência obrigatória, mas será seguida uma sequência lógica de acordo com o desenvolvimento do projeto. Moubray (2000) afirma que ao executar bem essas sete etapas, documentá-las e reuni-las em um único documento, haverá uma política de manutenção centrada bem desenhada, restando apenas colocá-las em prática.

Seguindo essa metodologia, o desenvolvimento do presente trabalho foi dividido em quatro vertentes: estudo, mapeamento e análise das falhas, elaboração do plano de ação e verificação de viabilidade, como exemplificado no fluxograma a seguir:

Figura 5 – Fluxograma do projeto



Fonte: Autor (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição do sistema de produção

O processo de produção estudado nesse trabalho passa pela etapa de lavra do minério, pelo transporte via correias e é levado para o Pátio de regularização, ilustrado na figura 5, para depois seguir para o pátio de produto. A máquina recuperadora do tipo ponte, ilustrada na figura 6, está presente na etapa de beneficiamento, quando o minério já passou pela britagem secundária e peneiramento primário, é enviado para o pátio de regularização, onde a recuperadora recebe o material e é responsável pelo processo de homogeneização do minério. As pilhas alocadas têm sua composição química e granulometria regularizada, visado a maior produtividade das etapas posteriores.

Em um pátio com uma recuperadora a capacidade é de duas pilhas de minério, comportando 320.000 t. É um processo que consome bastante da durabilidade dos equipamentos e o desgaste é intenso, por isso depende de um bom plano de manutenção para garantir o seu funcionamento.

Figura 6 – Pátio de regularização



Fonte: Autor (2022)

Figura 7 – Recuperadora do tipo Ponte



Fonte: Autor (2022)

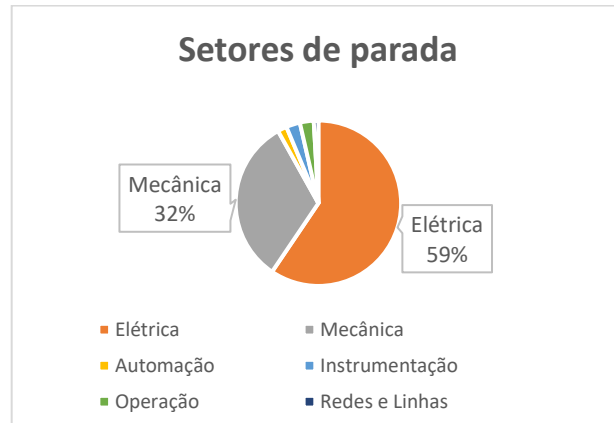
4.2 Seleção de problemas

Com o objetivo de potencializar a produção, diminuindo paradas para manutenções corretivas do equipamento, é feita a avaliação das falhas, a definição clara do problema e reconhecimento da sua importância, são feitas análises de perda do equipamento. Em uma situação ideal, a existência de planos de manutenção e inspeções garantem o funcionamento mais produtivo possível do equipamento, mas a quantidade de paradas e tempo para manutenção elevados para realização de manutenções corretivas apontam oportunidade de melhoria.

Através da análise de falhas pelo perfil de perdas levantados pelos dados disponibilizados no SAP, foram mapeados os setores com maior índice de falhas e as

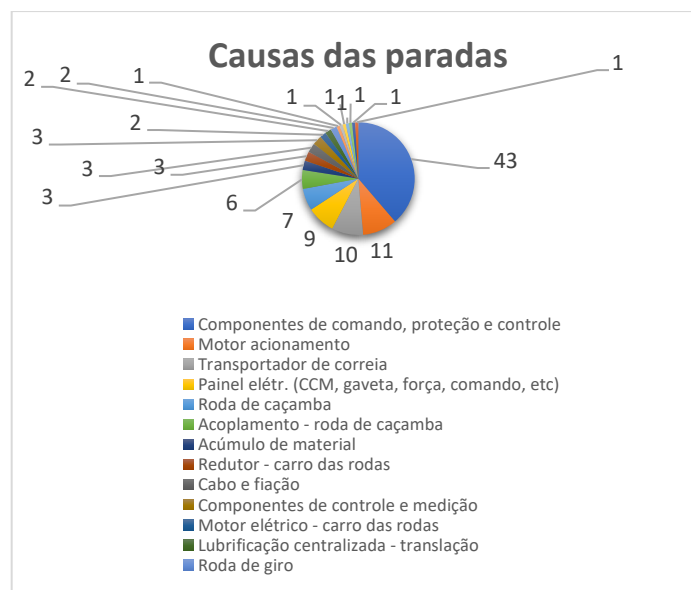
principais causas das paradas, apresentadas a seguir através dos gráficos 1 e 2, respectivamente:

Gráfico 1 – Setores de parada



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 2 – Causas das paradas



Fonte: Autor (2022)

Baseado nos resultados obtidos pela análise e priorizando as falhas através dos riscos, frequência de reincidência e tempo de parada, foram levantadas as quatro principais falhas para serem analisadas, como apresentada na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Efeitos de Falha

FALHA	ATIVO	MODO DE FALHA	EFEITO DE FALHA	QUANTIDADE DE PARADAS	TEMPO GASTO (Horas)
1	Motor Elétrico – Carro de Rodas	Falha nas fixações	Quebra do suporte cortinado	8	11,88
2	Roda de caçamba	Defeito ou falha no rolamento	Folga no balancinho da roda 02, troca da roda 01 do balancinho 03.	1	23,43
3	Transformador de corrente	Falha nos componentes de comando, proteção e controle	Falha sobre avanço na máquina.	7	7,37
4	Correia	Falha nos componentes de comando, proteção e controle	Desalinhamento da translação.	20	6,98

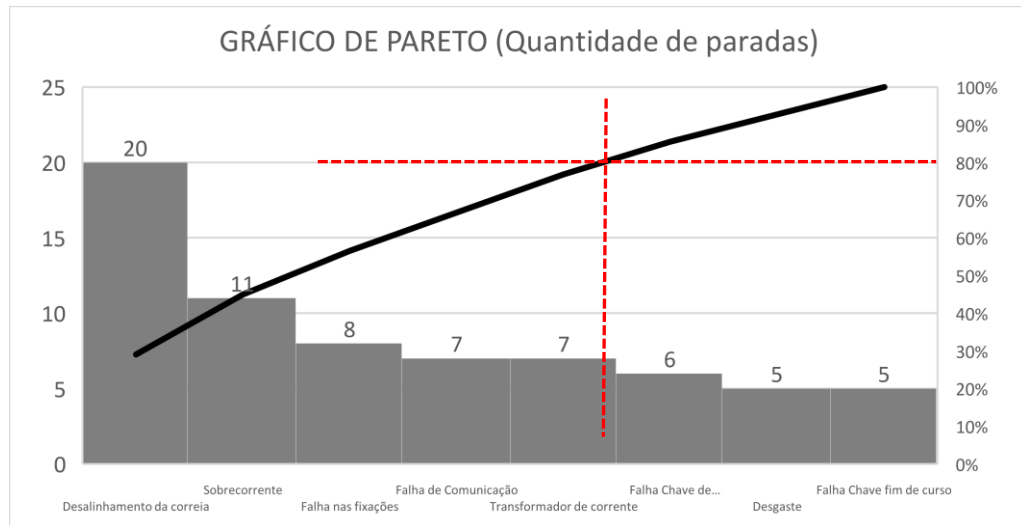
Fonte: Autor (2022)

4.3 Compreender a situação atual e definir meta

Para investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista, foi utilizado o gráfico de Pareto, apontando as causas e falhas com maior impacto na produtividade do ativo através da regra “80/20” e assim foram definidos os componentes que participaram da análise FMEA e prioritária:

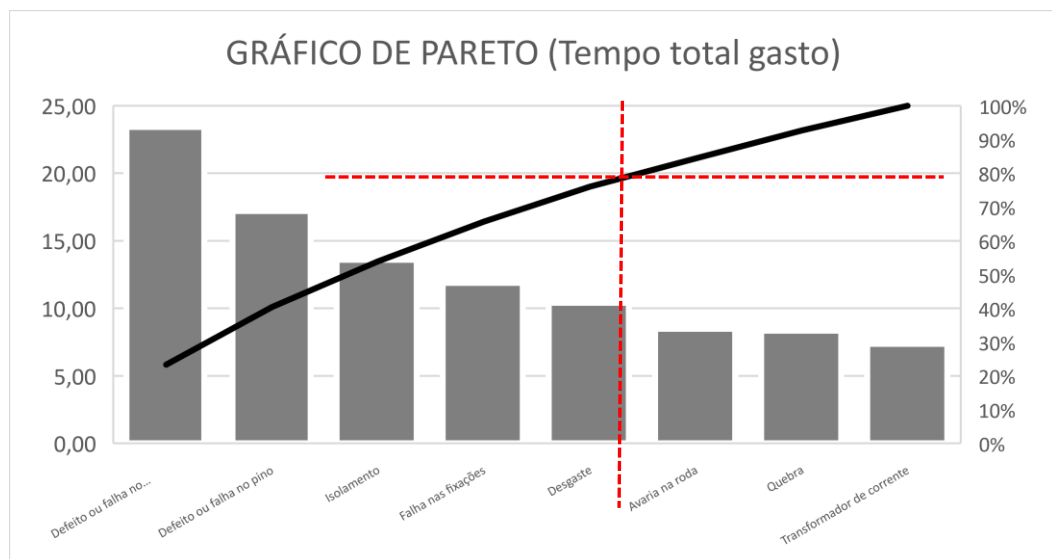
- Quantidade de paradas:
 - ✓ Desalinhamento de correia;
 - ✓ Sobrecorrente;
 - ✓ Falha nas fixações;
 - ✓ Falha na comunicação;
 - ✓ Transformador de corrente;
- Tempo de parada:
 - ✓ Defeito ou falha no balancinho;
 - ✓ Defeito ou falha no pino;
 - ✓ Isolamento;
 - ✓ Falha nas fixações;
 - ✓ Desgaste.

Gráfico 3 – PARETO: Quantidade de paradas



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 4 – PARETO: Tempo Total Gasto



Fonte: Autor (2022)

Utilizando os dados mapeados pelos gráficos de Pareto, foram selecionadas as falhas cujo tempo e a frequência foram mais significativos, ou seja, que impactou de maneira relevante na disponibilidade do ativo, buscando assim encontrar as falhas para poder investigar as suas causas e diminuir esse impacto das paradas na produção. As falhas do banco de dados do perfil de perdas filtradas pelo gráfico de Pareto que possuíam essas características foram selecionadas para a análise, classificadas entre falhas mecânicas e elétricas e listadas na tabela a seguir:

Tabela 3 – Perfil de perdas

FALHA	ATIVO	MODO DE FALHA	EFEITO DE FALHA	QUANTIDADE DE PARADAS	TEMPO GASTO (Horas)
01	Motor Elétrico – Carro de Rodas	Falha nas fixações	Quebra do suporte cortinado	8	11,88
02	Roda de caçamba	Defeito ou falha no rolamento	Folga no balancinho da roda 02, troca da roda 01 do balancinho 03.	1	23,43
03	Transformador de corrente	Falha nos componentes de comando, proteção e controle	Falha sobre avanço na máquina.	7	7,37
04	Correia	Falha nos componentes de comando, proteção e controle	Desalinhamento da translação.	20	6,98

Setores



Fonte: Autor (2022)

A partir do mapeamento feito baseado no histórico dos efeitos de falha, é definida a meta a ser alcançada. Para este trabalho, a meta foi definida utilizando a metodologia SMART, que é um acrônimo para: Simples, Mensurável, Alcançável, Relevante e Temporizável (DORAN 1981). Para detalhar e tornar a meta específica foi utilizado o método da lacuna um método simples para definição de metas assertivas como apresentado na Tabela 4.

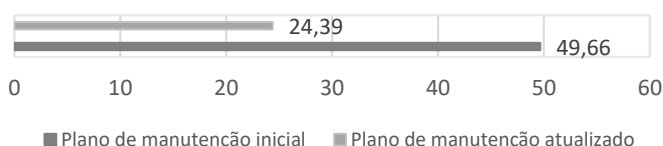
Tabela 4 – Método Lacuna

	Tempo atual	Benchmark (Mínimo)	Lacuna (Media-mínimo)	50% da Lacuna	Valor da Meta
Falha 1	11,88	0,55	11,33	5,665	5,665
Falha 2	23,43	0,13	23,3	11,65	11,65
Falha 3	7,37	0,12	7,25	3,625	3,625
Falha 4	6,98	0,08	6,9	3,45	3,45
Total	49,66	0,88	48,78	24,39	24,39

Fonte: Autor (2022)

Portanto, a meta ficou definida como: reduzir o tempo de intervenções corretivas com falhas relacionadas ao setor de elétrica e mecânica. Saindo de uma média de 49,66 horas por ano para um valor de 24,39 horas por ano após a implementação das ações, uma redução equivalente a aproximadamente 49%.

Gráfico 5 – Projeção das horas paradas para manutenção em um ano



Fonte: Autor (2022)

4.4 Comprovação das causas problema

Uma vez que os modos de falha tenham sido priorizados, as causas potenciais geradoras do problema são identificadas a partir do desenvolvimento de diagramas de Causa e Efeito (Ishikawa/Espinha de Peixe), da técnica dos por quês e da comprovação das causas fundamentais, metodologia aplicada para as quatro (4) falhas mapeadas na Tabela 3.

O primeiro efeito de falha a ser analisado é a quebra do suporte cortinado. O suporte cortinado é um equipamento que tem a função de prender os cabos do ativo e mantê-lo organizados e protegidos. A quebra desse suporte expõe os cabos e os deixa vulneráveis, podendo gerar acidentes e perdas, têm-se como necessária, então, a parada do equipamento e a aplicação da manutenção corretiva. Visando o aperfeiçoamento desse processo, foi realizada a seguinte análise:

Figura 8- Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Quebra do Suporte Cortinado



Fonte: Autor (2022)

Com as primeiras possíveis causas já pontuadas, é verificado se há justificativa para as possíveis causas e a partir disso é dada a validação da possível causa, metodologia replicada nas quatro (4) falhas a seguir:

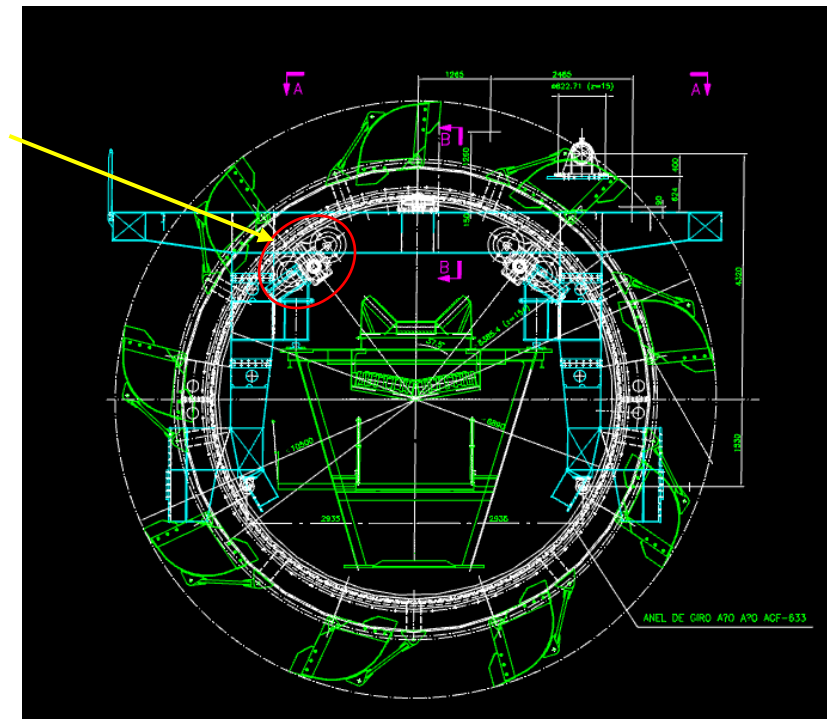
Tabela 5 – Comprovação de Causas fundamentais – Quebra do Suporte cortinado

Comprovação das causas fundamentais - Quebra do Suporte Cortinado		
Causa Provável	Validada?	Justificativa
Dificuldade de identificar falhas	SIM	Falta de planos de manutenção preventiva
Não tinha rota de inspeção para essa parte da máquina	SIM	Falta de acesso à máquina
Sujidade	SIM	Vazamento ou acúmulo de material
Sobrecarga da peça	SIM	Abertura do suporte cortinado
Carrinho subdimensionado	NÃO	Desalinhamento da correia

Fonte: Autor (2022)

O balancinho é um rolamento que está localizado na roda de caçamba da recuperadora, a folga desse rolamento pode causar falhas mecânicas, quebra de equipamentos, desgaste acelerado do ativo e mau funcionamento do equipamento, o seu tempo de manutenção é alto e por isso foi feito o mapeamento das suas possíveis causas, exposto a seguir na Figura 9.

Figura 9 – Desenho técnico do balancinho presente na roda de caçamba



Fonte: Thyssenkrupp (2020)

Figura 10 - Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Folga no Balancinho



Fonte: Autor (2022)

Tabela 6 – Comprovação de Causas fundamentais – Folga no Balancinho

Comprovação das causas fundamentais - Folga no Balancinho		
Causa Provável	Validada?	Justificativa
Inexistência de sistemática de limpeza	SIM	Falta de planos de manutenção preventiva
Má formação de pilhas	SIM	Falta de acesso à máquina
Falta de lubrificação	SIM	Vazamento ou acúmulo de material
Material de baixa durabilidade	SIM	Abertura do suporte cortinado
Longo período sem operar	SIM	Desalinhamento da correia
Falta de ciclo de limpeza	SIM	Sujidade do equipamento

Fonte: Autor (2022)

O avanço de uma recuperadora se dá quando a máquina faz o movimento de translação no pátio, a falha elétrica pode conculcar em uma parada, afinal a máquina não alcançará as pilhas de minério, atrasando o processo e causando perdas à produção. Tendo isso em vista, foi necessário o mapeamento da falha.

Figura 11 – Movimentos de uma máquina recuperadora do tipo ponte



Fonte: Jomar Oliveira (2020)

Figura 12 - Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Falha sobre o avanço na máquina



Fonte: Autor (2022)

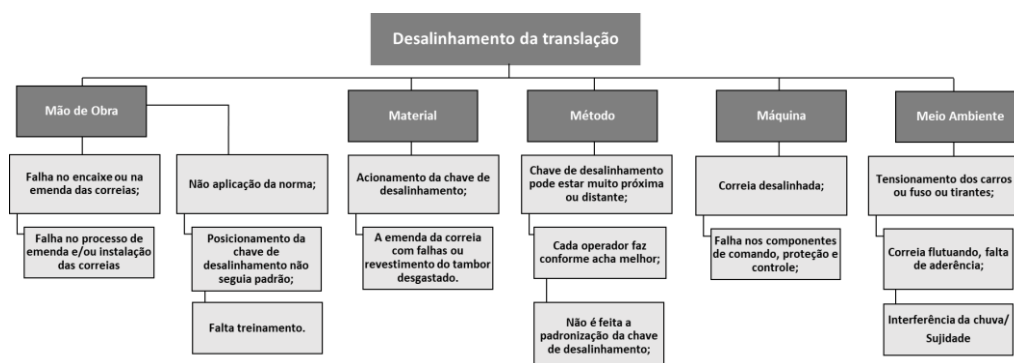
Tabela 7 – Comprovação de Causas fundamentais – Falha sobre o avanço na máquina

Comprovação das causas fundamentais - Falha sobre o avanço na máquina		
Causa Provável	Validada?	Justificativa
Falha de fabricação	NÃO	Equipamento não funcionando como previsto
Material frágil	NÃO	Falha dos componentes
Máquina não foi setada corretamente	SIM	Falha nos componentes de comando, proteção e controle
Sobrecarga do motor	SIM	Deslocamento da pilha ou algum componente mecânico travando.
Sobrecarga da concha	NÃO	Chuva ou outras condições pode ter gerado o deslocamento da pilha

Fonte: Autor (2022)

A empresa “X” possui um sistema chamado *Truckless*, sua tradução direta significa sem caminhão, ela utiliza o transporte via correias de longas distancias (TCLD) para fazer o transporte do minério, desde a larva na mina até o processo de beneficiamento na usina e distribuição do produto para a ferrovia. Essas correias alcançam um comprimento de até 8,9km e o rompimento das correias ou o seu desalinhamento pode causar impactos significativos na produção e, baseado nos dados colhidos, a frequência com que é necessária a parada para manutenção torna essa uma falha importante a ser analisada.

Figura 13 - Diagrama de Ishikawa + 5 porquês – Desalinhamento da Translação



Fonte: Autor (2022)

Tabela 8 – Comprovação de Causas fundamentais – Desalinhamento da Translação

Comprovação das causas fundamentais - Desalinhamento da Translação		
Causa Provável	Validada?	Justificativa
Falha no encaixe ou na emenda das correias	NÃO	Equipamento não funcionando como previsto
Não aplicação da norma	NÃO	Falha dos componentes
A emenda da correia com falhas ou revestimento do tambor desgastado	NÃO	Falha nos componentes de comando, proteção e controle
Chave de desalinhamento pode estar muito próxima ou distante	SIM	Deslocamento da pilha ou algum componente mecânico travando.
Falha nos componentes de comando, proteção e controle	SIM	Chuva ou outras condições pode ter gerado o deslocamento da pilha
Tensionamento dos carros ou fuso ou tirantes	NÃO	Interferência da chuva/Sujidade

Fonte: Autor (2022)

4.5 Desenvolvimento de contramedidas

Para o desenvolvimento das contramedidas, é necessário o planejamento das ações para bloquear as causas e eliminar o problema, para isso foi criada uma contramedida para cada causa fundamental de causa enfeite de falha.

Para garantir que as contramedidas sejam aplicáveis, uma matriz de viabilidade foi desenvolvida para cada falha analisada, listando sete (7) vertentes de viabilidade: segurança, qualidade, lead time, que pela tradução direta significa tempo de espera e é o tempo que um produto leva para chegar ao consumidor, desde o momento do pedido, passando por produção, despacho e entrega. Ou seja, lead time é o tempo gasto pelo sistema de produção para que a matéria-prima se transforme em item finalizado, pronto para entrega. Além dele, também as vertentes de custo, meio ambiente, autonomia e geral (GARCIA; ESTENDER 2017).

Tabela 9 – Matriz de viabilidade – Quebra do Suporte Cortinado

6 Ms	Causa fundamental	Contramedidas (Possíveis Soluções)	Viabilidade							Comentários
			Segurança	Qualidade	Lead Time	Custo	Meio Ambiente	Autonomia	Geral	
Método	Não havia planos para execução da manutenção preventiva.	Elaborar procedimentos e planos de manutenção preventiva visando a realização de inspeções regulares para que seja feito o acompanhamento do funcionamento das máquinas nesse setor.								
Mão de obra	Falta de planejamento de manutenção preventiva	Promover treinamento da equipe envolvida nos processos para garantir que haja planos de manutenção preventiva.								
Meio Ambiente	Sujidade e acesso restrito;	Implantação de sistemática de limpeza e solicitação mudança para que haja acesso ao equipamento e as inspeções possam ser realizadas;								
Máquina	Carrinho frágil	Repotenciamento do carrinho e ajuste da inclinação da monovia para facilitar o retorno do material.								
Material	Fragilidade da peça	Consultar fornecedores para aquisição de material mais resistente e verificar especificações e tempo de troca dos materiais;								



Sugestões coletadas em entrevistas

Sugestões próprias



Viável

Precisa ser analisado

Não é viável

Fonte: Autor (2022)

Tabela 10 – Matriz de viabilidade – Folga no balancinho

6 Ms	Causa fundamental	Contramedidas (Possíveis Soluções)	Viabilidade							Comentários
			Segurança	Qualidade	Lead Time	Custo	Meio Ambiente	Autonomia	Geral	
Método	Não há sistemática preventiva de inspeção.	Fazer o planejamento, acompanhamento e manutenção preventiva do rolamento.								
Mão de obra	Falta de sistemática de limpeza	Promover treinamento da equipe envolvida nos processos para garantir que haja ciclos de limpeza eficazes.								Verificar se é necessária a contratação de equipe
Meio Ambiente	Falta de ciclo de limpeza;	Gerir ciclos de limpeza do equipamento.								
Máquina	Faceamento da superfície do rolamento	Consultar fornecedores para aquisição de material mais resistente e verificar especificações e tempo de troca dos materiais;								
Material	Condições do Minério	Verificar a formação da pilha e a sua umidade em processos anteriores, para que sejam feitos reajustes e evite a falha do equipamento.								
	Falhas de lubrificação	- Revisar o desenho da roda; - Melhorar a quantidade de lubrificação; - Sugerir novas opções de graxa no S11D, graxas mais específicas para cada equipamento.								

 Sugestões coletadas em entrevistas
 Sugestões próprias

 Viável
 Precisa ser analisado
 Não é viável

Fonte: Autor (2022)

Tabela 11 – Matriz de viabilidade – Falha sobre avanço na máquina

6 Ms	Causa fundamental	Contramedidas (Possíveis Soluções)	Viabilidade							Comentários
			Segurança	Qualidade	Lead Time	Custo	Meio Ambiente	Autonomia	Geral	
Método	Falha na programação	Monitoramento especializado da atribuição de valores na programação para garantir que o equipamento funcione corretamente.								
Meio Ambiente	Chuva ou outras condições pode ter gerado o deslocamento da pilha;	- Manter a equipe de manutenção corretiva em alerta nos dias chuvosos e aplicação de procedimentos padrão; - Redução das pilhas; - Máquinas com passo menor; - Proteção elétrica para evitar sobrecarga.								
Máquina	Deslocamento da pilha ou algum componente mecânico travando.	Ações corretivas devem ser aplicadas, seja o realinhamento das pilhas ou a remoção de componentes que estejam interferindo no funcionamento do equipamento.								
Material	Material frágil.	Consultar fornecedores para avaliação dos materiais utilizados e possível aquisição de materiais mais resistentes;								

 Sugestões coletadas em entrevistas
 Sugestões próprias

 Viável
 Precisa ser analisado
 Não é viável

Tabela 12 – Matriz de viabilidade – Desalinhamento da translação

6 Ms	Causa fundamental	Contramedidas (Possíveis Soluções)	Viabilidade							Comentários
			Segurança	Qualidade	Lead Time	Custo	Meio Ambiente	Autonomia	Geral	
Método	Não há alinhamento efetivo de normas com os empregados envolvidos no processo.	Necessidade de revisão do plano de manutenção alinhado com as normas já definidas e treinamento dos empregados envolvidos.								
Mão de obra	Falta treinamento	- Promover treinamento da equipe envolvida nos processos de emenda e manutenção das correias. - Treinamento da equipe voltado para os parâmetros de configuração das chaves de desalinhamento e normas da empresa, para que haja conhecimento e aplicação em todos os processos envolvidos.								
Meio Ambiente	Interferência da chuva e sujeira;	Manter a equipe de manutenção corretiva em alerta nos dias chuvosos e garantir que a tensão do carro esteja de acordo com a que a correia precisa seguindo os padrões do fabricante. Programar sistemática de limpeza para garantir o funcionamento eficaz do equipamento.								

Material	A emenda da correia com falhas ou revestimento do tambor desgastado.	Consultar fornecedores para aquisição de material mais resistente e verificar especificações e tempo de troca dos materiais;								
-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

	Sugestões coletadas em entrevistas		Viável
	Sugestões próprias		Precisa ser analisado
			Não é viável

Fonte: Autor (2022)

4.6 Proposição do plano de ação

Com base nas saídas da análise FMEA, foi proposta a implantação para execução de planos de ação para garantir a aplicação das ações planejadas. Um plano de ação é um documento no qual são registradas informações sobre as tarefas a serem feitas. O objetivo é padronizar o trabalho de maneira a se criar uma rotina para os colaboradores. Portanto, foi aplicada a ferramenta 5W2H onde foram descritas as ações levando em consideração a viabilidade, prazos, responsáveis e custos para que seja possível minimizar o tempo gasto nas manutenções corretivas.

Tabela 13 - Plano de Ação – Quebra do Suporte Cortinado

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Como?
Elaborar procedimentos e planos de manutenção preventiva para realização de inspeções regulares para que seja feito o acompanhamento do funcionamento das máquinas nesse setor.	Não havia planos para execução da manutenção preventiva.	Motor Elétrico – Carro de Rodas	Engenharia de Manutenção	Fazer levantamento de documentos e manuais dos equipamentos para a elaboração dos planos
Promover treinamento da equipe envolvida nos processos para garantir que haja planos de manutenção preventiva.	Falta de planejamento de manutenção preventiva	Motor Elétrico – Carro de Rodas	Equipe de Prontidão Operacional	Realizar levantamento de funcionários para o treinamento e sinalizar a necessidade para os pontos focais responsáveis por

				treinamento
Implantação de sistemática de limpeza e solicitação mudança para que haja acesso ao equipamento e as inspeções possam ser realizadas;	Sujidade e acesso restrito;	Motor Elétrico – Carro de Rodas	Equipe de Projeto	Desenvolver plano de limpeza e acionamento da engenharia de projeto para gerenciamento de mudança.
Repotenciamento do carrinho e ajuste da inclinação da monovia para facilitar o retorno do material.	Carrinho frágil	Motor Elétrico – Carro de Rodas	Engenharia de Manutenção e Operação	Realizar levantamento de documentos e manuais do equipamento e solicitar mudança
Consultar fornecedores para aquisição de material mais resistente e verificar especificações e tempo de troca dos materiais;	Fragilidade da peça	Motor Elétrico – Carro de Rodas	Equipe de Projeto	Realizar levantamento e análise de documentos e manuais do equipamento.

Fonte: Autor (2022)

Tabela 14 - Plano de Ação – Folga no Balancinho

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Como?
Fazer o planejamento, acompanhamento e manutenção preventiva do rolamento.	Não há sistemática preventiva de inspeção.	Roda de Caçamba	Equipe de Projeto	Elaborar um novo plano de manutenção e aplicar a sistemática de inspeção.
Promover treinamento da equipe envolvida nos processos para garantir que haja ciclos de limpeza eficazes.	Falta de sistemática de limpeza	Roda de Caçamba	Equipe de Projeto	Fornecendo o treinamento e a mão de obra necessária para o processo
Gerir ciclos de limpeza do equipamento.	Falta de ciclo de limpeza;	Roda de Caçamba	Equipe de Projeto	Desenvolver sistemática para o ciclo de limpeza e acompanhar a sua aplicação
Consultar fornecedores para aquisição de material mais resistente e verificar especificações e tempo de troca dos materiais;	Faceamento da superfície do rolamento	Roda de Caçamba	Equipe de projeto e fornecedor	Fazer o levantamento do material sugerido e comparar a eficiência.

Verificar a formação da pilha e a sua umidade em processos anteriores, para que sejam feitos reajustes e evite a falha do equipamento.	Condições do Minério	Roda de Caçamba	Equipe de Operação	Acompanhar o funcionamento do ativo, mapear irregularidades e tratar com a manutenção.
Revisar o desenho da roda; Melhorar a quantidade de lubrificação; Sugerir novas opções de graxa, graxas mais específicas para cada equipamento.	Falhas de lubrificação	Roda de Caçamba	Equipe de Engenharia, Projeto e fornecedor	Verificar a estrutura do equipamento, as conduções de lubrificação e a possibilidade de aquisição de novos produtos para lubrificação.

Fonte: Autor (2022)

Tabela 15 - Plano de Ação – Falha sobre avanço na máquina

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Como?
Monitoramento especializado da atribuição de valores na programação para garantir que o equipamento funcione corretamente.	Falha na programação	Transformador de corrente	Equipe de engenharia	Fornecendo treinamento e monitoramento por funcionários especializados
Manter a equipe de manutenção corretiva em alerta nos dias chuvosos e aplicação de procedimentos padrão: Redução das pilhas; Máquinas com passo menor; Proteção elétrica para evitar sobrecarga.	Chuva ou outras condições pode ter gerado o deslocamento da pilha;	Transformador de corrente	Equipe de Engenharia, Manutenção, Operação e meio ambiente	Programar a operação alinhado com a equipe de meio ambiente, mapear as condições climáticas através do radar meteorológico e garantir a programação apropriada e acompanhamento das atividades durante os períodos chuvosos.
Ações corretivas devem ser aplicadas, seja o realinhamento das pilhas ou a remoção de componentes que estejam interferindo no funcionamento do equipamento.	Deslocamento da pilha ou algum componente mecânico travando.	Transformador de corrente - RC01	Equipe de Manutenção	Calibrar equipamentos e garantir que haja uma equipe de manutenção preparada e disponível para lidar com falhas não previstas.
Consultar fornecedores para avaliação dos materiais utilizados e possível aquisição de materiais mais resistentes;	Material frágil.	Transformador de corrente	Equipe de projetos e fornecedores	Fazer levantamento de documentos e manuais dos equipamentos para análise e possível aquisição

Fonte: Autor (2022)

Tabela 16 - Plano de Ação – Desalinhamento da translação

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Como?
Necessidade de revisão do plano de manutenção alinhado com as normas já definidas e treinamento dos empregados envolvidos.	Não há alinhamento efetivo de normas com os empregados envolvidos no processo.	Correia	Equipe de manutenção e Operação	Fazer o levantamento da documentação e monitoramento do cumprimento do escopo definido e promover treinamento.
- Promover treinamento da equipe envolvida nos processos de emenda e manutenção das correias. - Treinamento da equipe voltado para os parâmetros de configuração das chaves de desalinhamento e normas da empresa, para que haja conhecimento e aplicação em todos os processos envolvidos.	Falta treinamento	Correia	Equipe de projeto e Prontidão Operacional	Realizar levantamento de funcionários para o treinamento e sinalizar a necessidade para os pontos focais responsáveis por treinamento
Manter a equipe de manutenção corretiva em alerta nos dias chuvosos e garantir que a tensão do carro esteja de acordo com a que a correia precisa seguindo os padrões do fabricante. Programar sistemática de limpeza para garantir o funcionamento eficaz do equipamento.	Interferência da chuva e sujeidade	Correia	Equipe de manutenção, engenharia e meio Ambiente	Colocar em prática a sistemática de limpeza, monitoramento do radar meteorológico e ajustar através da manutenção preventiva as possíveis falhas por desgaste.
Consultar fornecedores para aquisição de material mais resistente e verificar especificações e tempo de troca dos materiais;	A emenda da correia com falhas ou revestimento do tambor desgastado	Correia	Equipe de projetos e Prontidão Operacional.	Fazer levantamento de documentos e manuais dos equipamentos para análise e possível aquisição

Fonte: Autor (2022)

Com a implantação dos planos de ação será possível observar a redução no número de paradas elétricas e mecânicas e no tempo gasto para cada uma delas durante o período de produção.

Além dos gastos emergenciais sofrerem uma redução, será projetada uma maior disponibilidade do ativo, aumento da segurança dos colaboradores envolvidos. Dando maior visibilidade dos custos de manutenção, tornando o processo mais produtivo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho conseguiu expor uma análise de confiabilidade desenvolvida com a metodologia MCC a partir da aplicação da ferramenta FMEA na análise de perdas de uma recuperadora do tipo ponte em uma mineradora. A MCC se mostrou aplicável ao sistema de produção apresentado, atendendo aos critérios propostos, tendo suas causas raiz expostas e concluindo o mapeamento dos problemas e soluções.

Conclui-se que a manutenção corretiva foi a com maior índice de presença durante o estudo, mostrando que a implementação de planos de ação voltados para a manutenção preventiva produziria maior disponibilidade dos ativos, menor desperdício de tempo e mão de obra.

A MCC permite visualizar de maneira abrangente o processo de produção e suas falhas, permitindo o mapeamento por priorização e viabilidade. Apesar de ser uma análise com falhas e dados reais, o produto do trabalho não foi aplicada ao sistema de produção, impedindo que os resultados das propostas pudessem ser quantificados para concluir as etapas finais do processo em que é verificado se os planos de ação foram eficazes, se os problemas foram eliminados e a partir disso ser realizada a padronização, evitando que esses problemas se repitam no futuro.

Como resultado, pode-se avaliar a projeção da redução de 49% das horas com a implementação dos planos de manutenção sugeridos, mostrando que a utilização da MCC como ferramenta é eficaz no aumento da disponibilidade do ativo, reduzindo os modos de falha específicos de um sistema de manutenção.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

Apesar de ser um trabalho voltado para a aplicação das metodologias de qualidade e mesmo com as análises feitas, sem a aplicação dos planos sugeridos no processo é difícil medir a eficácia das soluções propostas. Por isso é interessante a aplicação em ativos que permitam realizar todo o processo ou que tenham um histórico semelhante para que possam ser feitas projeções por similaridade e permitir a obtenção de resultados mais próximos dos valores reais.

Além disso, outros fatores e variáveis também podem influenciar no tempo de manutenção dos equipamentos, um dos fatores é a prioridade do ativo dentro do processo de produção da empresa. Uma vez que as equipes de manutenção atuam em diversos ativos e levam em consideração com o grau de prioridade, a necessidade e as demandas da empresa de acordo com o período de funcionamento dos equipamentos, o tempo líquido de manutenção não é exatamente o tempo mapeado no sistema, é interessante considerar o tempo de espera para a atuação da manutenção porque essa a variação de tempo pode impactar de maneira relevante na disponibilidade final do ativo analisado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 55000: Gestão de Ativos – Visão Geral, Princípios e Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014;

ANTÔNIO, N. S.; TEIXEIRA, A.; ROSA, A. Gestão da qualidade - de Deming ao Modelo de Excelência da EFQM. 2. ed. rev. e aum. Lisboa: Sílabo, 2016.

BARAN, Leandro Roberto. Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada na Redução de Falhas: um estudo de caso. 2011. 102 fls. Monografia (Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.

BLOOM, N. B. Reliability Centered Maintenance: implementation made simple. New York, McGraw-Hill, 2006.

CAMPOS, VICENTE FALCONI. Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). Belo Horizonte: DG Editors, 1999.

CORRÊA, Henrique; CORRÊA, Carlos A. Administração de Produção e operações: Manufatura e serviços: Uma abordagem estratégica – 2. Ed reimpr. – São Paulo. Atlas, 2007.

CUNHA, Marina Garcia da; ESTENDER, Antônio Carlos. O Lead Time Como Aliado Da Vantagem Competitiva. Curso de Administração de Empresas, Universidade de Guarulhos – Campus Centro - Revista Científica do ITPAC, Araguaína, v.10, n.1, Pub.1, fevereiro, 2017.

DORAN, G. T. There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management's Goals and Objectives. Management Review, 1981.

ENGETREF. Diagrama de Ishikawa. Nov. 2017. Disponível em: <https://www.engetref.com.br/diagrama-de-ishikawa/> . Acesso em 20 out. 2022.

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS - Uma Discussão Inicial Sobre Os Ensaios Não Destrutivos E Suas Aplicações Diretas. Equipe Técnica SGS Função - INDUSTRIAL, SGS. ABRIL/2018

ESTORILIO, Carla C. A.; SOUZA, Vitor M.; MAZO, Sara Z. & BALAU, Adriano P. Melhoria do projeto de um aplicador de cola com apoio dos métodos AV, DFMA e FMEA. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2011.

FILHO, G. B. A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção. 1ª ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P.. Administração da Produção. 2ª edição, Revista, aumentada e atualizada. Editora Saraiva. São Paulo, 2005.

MORTELARI, Denis; SIQUEIRA, Kleber; PIZZATI, Nei. O RCM na Quarta Geração da Manutenção - A Moderna Gestão de Ativos – 4ª ed., 2022.

MOUBRAY, John. Reliability-centred Maintenance: Manutenção Centrada em Confiabilidade. 2. ed. Lutterworth: Aladon Ltd, 2000. 448 p. Edição Brasileira.

OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 4, 2008.

RAPOSO, José L. O. Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

RAUSAND, M. Reliability Centered Maintenance. Reliability Engineering and System Safety, 1998.

SANTOS, Luís Márcio Alves. Et al. A Importância da manutenção industrial e seus indicadores. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. Administração da Produção. Ed – 8. São Paulo. Atlas, 2018.

S. Isniah, H. Hardi Purba, e F. Debora, “Método Plan do check action (PDCA): revisão de literatura e questões de pesquisa”, j. irmã. manaj. ind. , vol. 4, não. 1, pp. 72-81, julho de 2020.

TAVARES, Lourival. Administração Moderna de Manutenção. Novo Pólo Editora – New York, 1998.

TELES, Jhonata. Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0 – Brasília: ENGETELES Editora, 2019.

VIANA, H. R. G. Planejamento e controle da manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2002.