



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**MARCOS TÚLIO FERNANDES GONÇALVES**

**APLICAÇÃO DO PERFIL DE PERDAS NA REDUÇÃO DE PARADAS  
INESPERADAS DOS FILTROS PRENSA NO SETOR DE FILTRAGEM  
DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO: O CASO DE UMA EMPRESA  
MINERADORA**

**OURO PRETO - MG**  
**2024**

**MARCOS TÚLIO FERNANDES GONÇALVES**  
**tuliofernandes270@gmail.com**

**APLICAÇÃO DO PERFIL DE PERDAS NA REDUÇÃO DE PARADAS  
INESPERADAS DOS FILTROS PRENSA NO SETOR DE FILTRAGEM  
DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO: O CASO DE UMA EMPRESA  
MINERADORA**

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:** Sávio Sade Tayer

**OURO PRETO - MG**  
**2024**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G635a Gonçalves, Marcos Túlio Fernandes.

Aplicação do perfil de perdas na redução de paradas inesperadas dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de Minério de Ferro [manuscrito]: o caso de uma empresa mineradora. / Marcos Túlio Fernandes Gonçalves. Marcos Túlio Fernandes Gonçalves. - 2024. 56 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Me. Sávio Sade Tayer.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Fábricas - Manutenção. 2. Administração da produção - Metodologia - Perfil de Perdas. 3. Equipamentos industriais - Filtro Prensa. 4. Rejeitos (Metalurgia) - Filtragem. 5. Minas e recursos minerais. I. Gonçalves, Marcos Túlio Fernandes. II. Tayer, Sávio Sade. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

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



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Marcos Túlio Fernandes Gonçalves**

**Aplicação do perfil de perdas na redução de paradas inesperadas dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro: o caso de uma empresa mineradora.**

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

Aprovada em 29 de setembro de 2024.

### Membros da banca

MSc Sávio Sade Tayer- Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
DSc Washington Luis Vieira da Silva - Universidade Federal de Ouro Preto  
DSc Diogo Antonio de Sousa -Universidade Federal de Ouro Preto

Sávio Sade Tayer, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 09/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Sávio Sade Tayer, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/10/2024, às 09:35, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0792650** e o código CRC **C61BCA29**.

À Deus dedico mais esta etapa vencida,  
meus pais, pelo apoio.

Aos meus pais, minha irmã, toda minha  
família, namorada e amigos pelo carinho  
e amor.

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais, minha irmã e minha namorada por todo o amor, companheirismo, apoio e por me proporcionar essa oportunidade.

Ao meu orientador Sávio Tayer, pelo incentivo, orientação neste trabalho e durante todo o curso por estar sempre disposto a ajudar.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

Ao professor Diogo e Washington pela contribuição e aceitarem ser examinadores deste trabalho.

À empresa pesquisada e aos colaboradores que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

À vida republicana de Ouro Preto.

Aos amigos da mecânica.

*“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 presente trabalho aborda a aplicação do perfil de perdas no setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro para reduzir paradas inesperadas nos filtros prensa de uma empresa mineradora. O problema investigado envolve a alta frequência de manutenções corretivas nos filtros, impactando a produção e a eficiência operacional. A justificativa para o estudo baseia-se na necessidade de aumentar a confiabilidade dos equipamentos e otimizar os processos de manutenção. O objetivo principal é aplicar o perfil de perdas para identificar as principais falhas e modos de falha que ocasionam as paradas inesperadas, permitindo o desenvolvimento de ações preventivas para minimizar o impacto dessas falhas. A metodologia emprega análise de dados obtidos via sistema MES (Manufacturing Execution System), gráficos de Pareto para priorização de falhas e reuniões com equipes de manutenção para identificar causas raízes das falhas. Os principais resultados indicam que a unidade hidráulica do filtro 4 foi responsável por 57,8% das paradas inesperadas durante o período analisado, sendo a falta de manutenção adequada a causa principal. O estudo conclui que a aplicação do perfil de perdas não apenas reduz a necessidade de manutenções corretivas, mas também permite que a equipe de manutenção planeje suas intervenções de forma mais eficiente, programando-as para momentos de menor impacto na produção.

**Palavras-chave:** Manutenção; Perfil de Perdas; Filtro Prensa; Filtragem de Rejeitos; Mineração.

## ABSTRACT

*The present work addresses the application of the loss profiling in the filtration sector of iron ore tailings to reduce unexpected stoppages in the filter presses of a mining company. The problem investigated involves the high frequency of corrective maintenance on the filters, which impacts both production and operational efficiency. The justification for the study is based on the need to enhance equipment reliability and optimize maintenance processes. The main objective is to apply the loss profile to identify key failures and failure modes that lead to unexpected stoppages, thereby enabling the development of preventive actions to minimize the impact of these failures. The methodology involves data analysis obtained through the Manufacturing Execution System (MES), the use of Pareto charts for failure prioritization, and meetings with maintenance teams to identify the root causes of the failures. The main results indicate that the hydraulic unit of filter 4 was responsible for 57.8% of the unexpected stoppages during the analyzed period, with inadequate maintenance being the primary cause. The study concludes that the application of loss profile not only reduces the need for corrective maintenance but also enables the maintenance team to plan their interventions more efficiently, scheduling them during periods with lower production impact.*

*Keywords: Maintenance; Loss Profile; Filter Press; Tailings Filtration; Mining.*

**LISTA DE SIGLAS**

DF – Disponibilidade Física

MES – *Manufacturing Execution System*

MTBF – *Mean Time Between Failure*

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Tempo Médio Entre Falhas.....	12
Figura 2: Círculo Vicioso de Falhas.....	13
Figura 3: Fluxograma do Procedimento.....	18
Figura 4: Organograma Organizacional do Setor de Manutenção de Equipamentos da Filtragem de Rejeitos da Empresa Mineradora.....	22
Figura 5: Filtro Prensa.....	24
Figura 6: Esquema de um filtro prensa de placas (Adaptado de Bomax, 2014).....	24
Figura 7: Desenho Esquemático dos Sensores.....	25
Figura 8: Cabeça Móvel, Sensores, Barra TT, Sistema TT, Placas, Tortas, Tecidos Filtrante e Canaleta.....	26
Figura 9: Cabeça Fixa, Válvula de Alimentação, Válvula de Retorno e Bomba de Duplo Estágio.....	26
Figura 10: Horas em Corretiva por Filtro Prensa.....	30
Figura 11: Horas em Corretiva por Modos de Falha do Filtro 4.....	31
Figura 12: Identificação da Causa Fundamental da Falha da Unidade Hidráulica.....	33

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Variáveis e Indicadores .....	19
Tabela 2 - Sistema MES .....	20
Tabela 3 - Dados Iniciais do Sistema MES .....	28
Tabela 4 - Horas em Corretiva Agrupados .....	29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Geral .....	4
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho .....	5
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
2.1	Manutenção .....	6
2.2	Importância da Manutenção .....	6
2.3	Vantagens da Manutenção.....	7
2.4	Tipos de Manutenção.....	8
2.4.1	Manutenção Corretiva .....	8
2.4.2	Manutenção Preventiva .....	9
2.4.3	Manutenção Preditiva.....	9
2.5	Confiabilidade e Conceitos Relacionados .....	10
2.6	Conceitos Relacionados à Confiabilidade .....	10
2.7	Tempo Médio Entre Falha (MTBF) .....	12
2.8	Sistema de Tratamento de Falhas .....	12
2.9	Método dos Porquês .....	13
2.10	Diagrama de Pareto .....	14
2.11	Perfil de Perdas .....	15
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
3.1	Tipo de Pesquisa.....	16
3.2	Materiais e Métodos .....	17
3.3	Variáveis e Indicadores .....	19
3.4	Instrumento de Coleta de Dados.....	19
3.5	Tabulação de Dados.....	20
3.6	Considerações Finais do Capítulo .....	20
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>21</b>
4.1	Apresentação da Empresa.....	21

4.2	Setor de Manutenção de Equipamento da Filtragem de Rejeitos .....	21
4.3	Descrição do Filtro Prensa de Placas .....	23
4.4	Descrição do Problema .....	27
4.5	Aplicação do Perfil de Perdas na Redução de Paradas Inesperadas dos Filtros Prensa 35	
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>38</b>
5.1	Conclusão .....	38
5.2	Recomendações .....	39
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Após os acidentes com barragens de rejeito como os ocorridos nas cidades de Mariana e Brumadinho, ambas em Minas Gerais, empresas mineradoras buscaram formas mais seguras de disposição de rejeitos de minério ferro, com a finalidade de reduzir os riscos ambientais e a aumentar a segurança operacional. Uma das formas de redução desses riscos, é a utilização de sistemas de filtragem de rejeitos e empilhamento a seco, conhecido como *Dry Stacking* (STELA; DUARTE; PEREIRA, 2020).

Esse tipo de processamento permite a retirada de água do rejeito utilizando filtros prensa por meio a compressão da lama mineral para extrair o máximo de líquido possível. A lama é primeiramente bombeada para dentro do filtro prensa, onde placas filtrantes revestidas com tecido filtrante comprimem o material sob alta pressão. À medida que a pressão aumenta, a água é forçada a passar através do tecido filtrante, deixando os sólidos retidos entre as placas. Essa água então é coletada e reutilizada, enquanto os sólidos desidratados formam uma "torta" compacta. O resultado é um resíduo muito mais seco, estável e de fácil manuseio e armazenamento, reduzindo a necessidade de barragens de contenção e diminuindo os riscos ambientais associados (GUIMARÃES, 2011).

Diante da necessidade de utilizar filtros prensa para reduzir a umidade de rejeitos na mineração, as organizações se viram compelidas a modernizar tanto seus processos de produção quanto suas atividades de manutenção, a fim de permanecerem competitivas no mercado. Devido a essas transformações, as organizações tiveram que repensar suas práticas de manutenção, deixando de tratá-las apenas como uma ação corretiva em caso de falhas. Em vez disso, passaram a buscar métodos para prevenir falhas e preservar seus ativos, reconhecendo a gestão da manutenção como uma ferramenta estratégica para o crescimento sustentável da organização.

Assim, segundo NBR 5462 (1994, p.06), manutenção é "a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida". Para Xenos (1998, p.18), "as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso".

Dessa forma, os conceitos de manutenção evoluíram ao longo do tempo, adaptando-se constantemente às necessidades de cada época. Com a crescente mecanização e automação dos equipamentos, tornou-se essencial priorizar e aprimorar a confiabilidade dos equipamentos, garantindo a produtividade e a disponibilidade das linhas de produção.

A manutenção desempenha um papel crucial ao garantir a confiabilidade dos equipamentos e sistemas dentro de uma organização. Ao focar na melhoria da confiabilidade, as empresas podem prevenir falhas potenciais e assegurar o funcionamento consistente e eficiente dos equipamentos. Isso não apenas reduz o tempo de inatividade e interrupções na produção, mas também prolonga a vida útil dos ativos, resultando em maior produtividade e redução de custos operacionais. Utilizar a confiabilidade como base para a gestão da manutenção não só promove melhorias na disponibilidade e segurança dos equipamentos, mas também otimiza as atividades de manutenção, tornando-se uma estratégia essencial para o crescimento sustentável e a competitividade da organização no mercado.

A confiabilidade de equipamentos é definida como a probabilidade de um item desempenhar sua função requerida sob condições especificadas e durante um período de tempo especificado. Essa definição destaca a capacidade dos equipamentos de funcionar de forma consistente e sem falhas durante sua vida útil operacional (MOUBRAY, 1997).

Há diversas abordagens para monitorar, aprimorar e assegurar que os equipamentos mantenham um alto grau de confiabilidade. Uma dessas estratégias é através do perfil de perdas. Almeida *apud* Bravim *et al* (2007), salienta que perfil de perdas refere-se à análise das perdas dentro do processo de produção utilizando gráficos de Pareto, visando identificar as principais áreas de oportunidade para melhorias, destacando onde estão concentrados os maiores potenciais de ganho.

Neste trabalho é a aplicação do perfil de perdas das linhas de filtro prensa no setor de filtragem de rejeitos na mineração. A mineração é uma atividade econômica que abrange a pesquisa, exploração, extração e processamento de minerais e recursos naturais encontrados no solo e no subsolo. Esse processo envolve várias fases, começando pela identificação e avaliação dos depósitos minerais, seguida pela extração dos minérios, que pode ser realizada por métodos como a mineração a céu aberto ou subterrânea. Após a extração, os minerais são beneficiados, passando por processos de separação e purificação para obter o material desejado em sua forma mais útil e valiosa.

O processo de filtragem de rejeitos é uma etapa crucial para o gerenciamento e disposição segura dos resíduos gerados durante a extração e beneficiamento de minerais. Os rejeitos são os materiais que sobram após a separação dos minerais valiosos do minério extraído. A filtragem de rejeitos visa reduzir a quantidade de água nesses resíduos, tornando-os mais seguros e estáveis para armazenamento.

De acordo com Sutherland *et al* (2011), os filtros prensa são dispositivos mecânicos utilizados na separação de sólidos e líquidos. O seu princípio de funcionamento baseia-se na compressão de uma mistura entre placas filtrantes, forçando o líquido a passar através de um meio filtrante que retém os sólidos, formando uma torta. Compostos por placas, quadros e um sistema de bombeamento que aplica pressão, os filtros prensa realizam um processo em ciclos, que envolve a alimentação da mistura, a filtragem, a compressão das placas para reduzir o conteúdo líquido na torta e a descarga dos sólidos.

Cada linha dos filtros prensa apresenta um número significativo de falhas. A partir do perfil de perdas é possível identificar quais linhas têm a maior quantidade de horas de parada devido à manutenção corretiva e os modos de falha associados. Com essas informações, podem ser desenvolvidas contramedidas para prevenir a recorrência dessas falhas. Portanto, este estudo propõe aplicar o perfil de perdas para reduzir paradas não programadas das linhas dos filtros prensa.

Diante disso, surge a problemática:

**Como a aplicação perfil de perdas na manutenção de filtros prensa de rejeito pode reduzir paradas inesperadas dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de uma empresa mineradora?**

## **1.2 Justificativa**

A manutenção bem planejada e executada não só previne falhas inesperadas, mas também otimiza o desempenho dos equipamentos, reduz custos operacionais e prolonga a vida útil dos ativos. A manutenção de equipamentos é um componente vital para garantir a continuidade e a eficiência das operações industriais (XENOS, 1998).

A utilização do perfil de perdas para analisar as paradas por manutenções corretivas de filtro prensa é essencial para a gestão eficiente e a melhoria contínua dos processos produtivos. Identificar e quantificar as perdas associadas às manutenções corretivas permite que as empresas entendam melhor as causas e os impactos das interrupções inesperadas.

A análise de perdas é fundamental para implementar estratégias eficazes de Total Productive Maintenance (TPM), focando na eliminação de desperdícios e na maximização da eficiência operacional. O Diagrama de Pareto, uma ferramenta amplamente utilizada nesta análise, ajuda a priorizar as causas principais das paradas (LIKER, 2004).

A abordagem sistemática para o tratamento de perdas visa principalmente aumentar a eficiência da manutenção e proporcionar uma análise mais detalhada dos problemas na área, resultando em melhorias na qualidade, segurança, produtividade e confiabilidade. Além disso, essa metodologia envolve os funcionários da empresa, promovendo o aprendizado e disseminando a cultura de gerenciamento da manutenção por meio da melhoria contínua e da busca pela excelência (NETO *et al*, 2012).

Portanto, a implementação do perfil de perdas pode levar a um aumento na Disponibilidade Física (DF) e impactar diretamente na produtividade. Ao padronizar o tratamento das falhas, é possível identificar perdas recorrentes, linhas de produção que falham com maior frequência e o tempo em que permanecem em manutenção corretiva, bem como os itens, conjuntos e sistemas mais afetados. Dessa forma, é viável planejar e executar ações que resultem em diminuição de paradas por manutenção corretiva.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Aplicar o perfil de perdas para reduzir paradas inesperadas dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro de uma empresa mineradora.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar o estudo teórico sobre: manutenção, perfil de perdas, tratamento de falhas e confiabilidade;
- Elaborar um procedimento para determinar as influências do perfil de perdas do caso estudado;
- Analisar os dados obtidos em comparação com a fundamentação teórica;

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

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

No segundo capítulo, são abordadas as bases teóricas dos conceitos relacionados à manutenção, assim como perfil de perdas, confiabilidade e sistema de tratamento de falhas.

O terceiro capítulo é relativo à metodologia para a elaboração de um procedimento metodológico, que inclui principalmente os materiais e métodos utilizados para determinar as influências do perfil de perdas no caso estudado.

O quarto capítulo apresentará a estrutura organizacional da empresa, a explanação do filtro prensa e os dados perfil de perda para reduzir manutenções corretivas.

Por fim, o quinto capítulo revela as conclusões obtidas, bem como as sugestões de trabalhos futuros e as considerações finais sobre esse estudo de caso.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Manutenção**

Fogliatto *et al* (2009) explica que a manutenção se tornou um elemento indispensável nas indústrias com o advento da produção em série. As empresas passaram a investir em manutenção como uma maneira de reparar seus ativos de forma mais rápida, garantindo a eficácia dos sistemas com custos reduzidos.

A manutenção é uma disciplina essencial que se concentra em garantir a confiabilidade e disponibilidade dos ativos, prevenindo falhas e assegurando que os equipamentos operem de maneira eficiente e segura. A manutenção envolve práticas preventivas, preditivas e corretivas com o objetivo de não apenas prolongar a vida útil dos ativos, mas também otimizar o desempenho operacional, reduzir custos e minimizar paradas não planejadas. Essa abordagem abrangente inclui inspeções regulares, ajustes, substituições e reparos, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência das operações industriais (MOUBRAY, 2000).

Kardec *et al* (2012), define a manutenção como combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. O autor complementa que a missão da manutenção é assegurar que os equipamentos e instalações estejam sempre funcionais, de modo a atender aos processos ou serviços da forma mais adequada e confiável possível.

### **2.2 Importância da Manutenção**

A importância da manutenção é amplamente reconhecida na engenharia e gestão de operações industriais devido aos seus impactos diretos na confiabilidade, disponibilidade e eficiência dos equipamentos. Através de práticas de manutenção adequadas, as organizações conseguem prolongar a vida útil dos ativos, reduzir custos operacionais e minimizar o risco de paradas não programadas que podem impactar negativamente a produção e os resultados financeiros.

A manutenção desempenha um papel crucial na segurança operacional, garantindo que os equipamentos estejam em condições seguras de operação para os trabalhadores. Além disso, a implementação de estratégias de manutenção preventiva e preditiva permite às

empresas antecipar problemas potenciais e tomar medidas proativas para evitar falhas críticas, melhorando assim a confiabilidade dos processos industriais (RAUSAND & HOYLAND *et al*, 2004).

Moro (2007) ressalta que equipamentos inativos ou com falhas acarretam uma série de danos às empresas, incluindo redução ou interrupção da produção, atrasos em entregas, perdas financeiras, aumento dos custos operacionais, insatisfação dos clientes e perda de participação de mercado. Esses aspectos destacam a relevância da manutenção, especialmente num contexto globalizado onde há uma busca constante por qualidade total em serviços, produtos e gestão ambiental por parte das organizações.

Assim, a manutenção visa assegurar que equipamentos e máquinas estejam operacionais para manter a produção regular e a qualidade dos produtos, além de prevenir possíveis falhas ou quebras dos componentes das máquinas (MORO, 2007).

### **2.3 Vantagens da Manutenção**

Segundo Filho *et al* (2008), a manutenção é fundamental para o bom funcionamento e a sustentabilidade das operações industriais. A implementação de práticas eficazes de manutenção permite não apenas a conservação dos ativos físicos, mas também a maximização da disponibilidade operacional dos equipamentos, reduzindo assim o tempo de inatividade não planejado e os custos associados a reparos emergenciais. Além disso, a manutenção preventiva e preditiva contribui para aumentar a confiabilidade dos sistemas, prevenindo falhas antes que elas ocorram por meio de inspeções regulares e monitoramento contínuo das condições dos equipamentos.

A gestão eficiente da manutenção também promove a segurança no ambiente de trabalho, ao garantir que os equipamentos estejam em condições seguras de operação para os trabalhadores. Essa abordagem não apenas minimiza os riscos de acidentes, mas também melhora o clima organizacional ao promover um ambiente de trabalho mais seguro e confiável. Além dos aspectos operacionais, a manutenção desempenha um papel estratégico na gestão de ativos, ao proporcionar uma gestão mais eficiente dos recursos, otimizando investimentos e prolongando a vida útil dos equipamentos (SANTOS, 2018).

## 2.4 Tipos de Manutenção

A manutenção dos equipamentos pode ser realizada por diferentes abordagens, sendo cada tipo de intervenção caracterizado como um método de manutenção. De acordo com Xenos (2004), esses métodos são organizados em várias categorias, incluindo: manutenção preventiva, preditiva, corretiva, melhoria dos equipamentos e prevenção da necessidade de manutenção. Em complemento, Pinto e Xavier (2001) classificam os tipos de manutenção com base na forma como as intervenções são realizadas nos equipamentos ou instalações, sendo as mais frequentes conhecidas como corretiva, preventiva e preditiva.

### 2.4.1 Manutenção Corretiva

Conforme a NBR 5462 (1994, p.07), manutenção corretiva é a “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. Já para Xenos (2014), a manutenção corretiva consiste em um conjunto de ações realizadas de forma imediata para atender às necessidades da produção quando uma máquina ou equipamento sofre uma parada inesperada. A equipe de manutenção intervém rapidamente com o objetivo de restaurar o funcionamento do equipamento no menor tempo possível.

No que diz respeito aos custos de manutenção, a manutenção corretiva tende a ser mais barata em comparação com ações preventivas. Entretanto, essa abordagem pode gerar perdas significativas devido às paradas na produção (XENOS, 2014).

Conforme Slack *et al* (2002), a manutenção corretiva é caracterizada pelo funcionamento contínuo dos equipamentos até que ocorra uma falha, seja esta decidida por um planejamento previamente estabelecido ou devido a uma ocorrência acidental. Essa abordagem implica deixar as instalações operarem até quebrarem, o que pode resultar em paradas não programadas e impactos adversos na produção.

Nunes (2001, p. 12) define a manutenção corretiva "como todo trabalho de manutenção realizado após a falha do equipamento, visando restabelecê-lo à sua função requerida, eliminando o estado de falha".

Filho (2008) distingue dois tipos de manutenção corretiva: a planejada, onde o reparo é agendado para uma data posterior à falha identificada, e a não planejada ou de emergência, que ocorre imediatamente após a falha. O autor reforça que a manutenção corretiva não

planejada é uma forma reativa de manutenção, atuando após a ocorrência de falhas para restaurar as capacidades operacionais dos equipamentos ou sistemas afetados.

A decisão de utilizar a manutenção corretiva deve considerar fatores econômicos avaliando se é mais vantajoso corrigir uma falha imprevista ou aplicar medidas preventivas. Mesmo quando a opção corretiva é viável, é crucial identificar com precisão as causas fundamentais das falhas e tratá-las adequadamente para evitar reincidências, promovendo assim uma gestão mais eficiente dos ativos industriais (XENOS, 2004).

#### **2.4.2 Manutenção Preventiva**

Segundo a NBR 5462 (1994, p.07), manutenção preventiva é a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. Já para Xenos (1998, p.18), "as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso”.

Xenos (2004) argumenta que a manutenção preventiva representa o método primário de gestão de manutenção em qualquer empresa, envolvendo atividades sistemáticas como inspeções, reformas e substituições de componentes. Comparada à manutenção corretiva, a preventiva é mais dispendiosa, pois implica na substituição de peças e na reforma de componentes antes que atinjam seu limite de vida útil.

No entanto, a aplicação da manutenção preventiva resulta em uma redução significativa da ocorrência de falhas, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo interrupções não programadas na produção. Desse modo, considerando o custo total, a manutenção preventiva se torna mais econômica do que a corretiva, devido à redução das paradas imprevistas dos equipamentos (XENOS, 2004).

#### **2.4.3 Manutenção Preditiva**

Segundo a NBR 5462 (1994, p.07), manutenção preditiva é a “manutenção que permite garantir uma 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”.

De acordo com Filho *et al* (2008), a manutenção preditiva envolve a supervisão ou o monitoramento das condições dos equipamentos, observando seu desgaste ou desempenho

operacional, por meio de medições ou inspeções que não impactam o funcionamento do sistema.

Marçal (2000) acrescenta que, quando o monitoramento é feito de forma adequada, é possível prever o estado futuro da máquina, o que facilita o planejamento e a programação de ações corretivas.

## **2.5 Confiabilidade e Conceitos Relacionados**

De acordo com a NBR 5462 (1994, p.03), confiabilidade é a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Já para, Kardec *et al* (2009), a confiabilidade refere-se à probabilidade de um item realizar sua função esperada dentro das condições e do tempo previamente estabelecidos. O autor acrescenta que, sendo uma probabilidade, a confiabilidade de um equipamento é representada por um valor numérico que varia de 0 a 1, ou de 0 a 100%, refletindo a relação entre o número de casos favoráveis e o total de casos possíveis em um intervalo de tempo  $t$ .

Para Rausand & Hoyland *et al* (2004), a confiabilidade é essencial para garantir a eficácia operacional e minimizar os custos associados a falhas e reparos. Eles definem confiabilidade como "a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições específicas, por um período de tempo estabelecido". Os autores destacam que a confiabilidade é crucial para a gestão de ativos e manutenção, pois influencia diretamente a disponibilidade e segurança dos equipamentos.

Conforme Moubray *et al* (1997), um item pode ser um componente único, como um motor ou uma válvula, ou um sistema mais complexo, como um conjunto de máquinas interconectadas. Eles definem um item como "uma entidade que pode ser individualmente considerada em termos de desempenho e confiabilidade". Os autores também mencionam que itens podem ser tanto partes físicas tangíveis quanto unidades funcionais, destacando sua relevância na análise de manutenção centrada na confiabilidade.

## **2.6 Conceitos Relacionados à Confiabilidade**

Os principais conceitos relacionados à confiabilidade incluem: segurança, qualidade, disponibilidade, manutenibilidade, confiança, desempenho, falhas e taxa de falhas. Esses conceitos serão detalhados a seguir.

- Segurança

Fogliatto *et al* (2011) define segurança como a ausência ou um nível aceitável de risco de condições que podem resultar em perda de vidas, danos ou doenças ocupacionais, bem como em danos ou perdas de equipamentos. Já para Reason (2016), segurança é definida como a capacidade de um sistema evitar falhas e acidentes, apesar da presença de condições adversas. Reason enfatiza a importância de uma abordagem sistêmica para a gestão de segurança, com foco em identificar falhas latentes que podem contribuir para acidentes em grandes sistemas organizacionais.

- Qualidade

Segundo Slack *et al* (2018), a qualidade é definida como a capacidade de um produto ou serviço de atender às expectativas dos clientes, assegurando que suas características satisfaçam tanto as necessidades explícitas quanto implícitas. No contexto de operações e gestão de processos, qualidade está diretamente relacionada à conformidade com as especificações, à consistência no desempenho e à redução de variações no processo produtivo. Em complemento, o autor enfatiza que a qualidade não apenas afeta a satisfação do cliente, mas também tem impacto direto na eficiência operacional e na redução de custos.

- Disponibilidade Física (DF)

De acordo com a NBR 5462 (1994, p.02), disponibilidade é a “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados”.

A disponibilidade física é calculada considerando o tempo em que o equipamento está em perfeito funcionamento, excluindo os períodos de manutenção planejada e não planejada. A disponibilidade física é definida como "o percentual de tempo em que um equipamento está realmente disponível para operação, considerando todas as interrupções devidas a falhas e manutenções". O autor destaca que a disponibilidade física é um indicador crucial na gestão de manutenção, pois reflete diretamente na produtividade e eficiência operacional das empresas (KARDEC, 2009).

- Manutenibilidade

Segundo a norma NBR 5462 (1994, p.12), manutenibilidade é a “probabilidade de uma dada ação de manutenção efetiva, para um item sob dadas condições de uso, poder ser

efetuada dentro de um intervalo de tempo determinado, quando a manutenção é feita sob condições estabelecidas e usando procedimentos e recursos prescritos.”

## 2.7 Tempo Médio Entre Falha (MTBF)

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), tempo médio entre falha, do inglês Mean Time Between Failure, é a métrica que indica o período médio em que o sistema, conjunto ou componente funciona de acordo com as especificações antes de apresentar uma falha, conforme pode ser visto na figura 1.

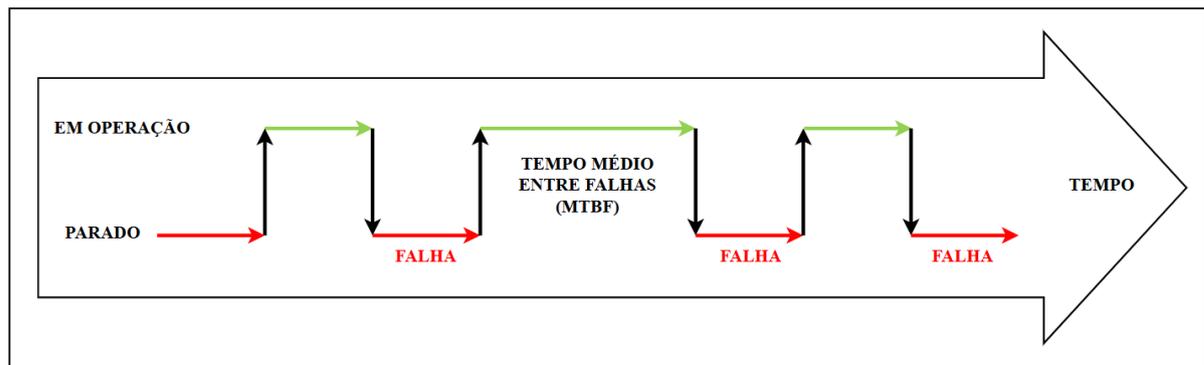


Figura 1: Tempo Médio Entre Falhas.

Fonte: Adaptado de Xenos (1998)

## 2.8 Sistema de Tratamento de Falhas

De acordo com Xenos (2004, p. 84), "um sistema de tratamento de falhas é, essencialmente, uma estrutura formal de gerenciamento de informações sobre falhas e das ações subsequentes". O autor acrescenta que este sistema é usado para romper um círculo vicioso de falhas que é mostrado na figura 2.

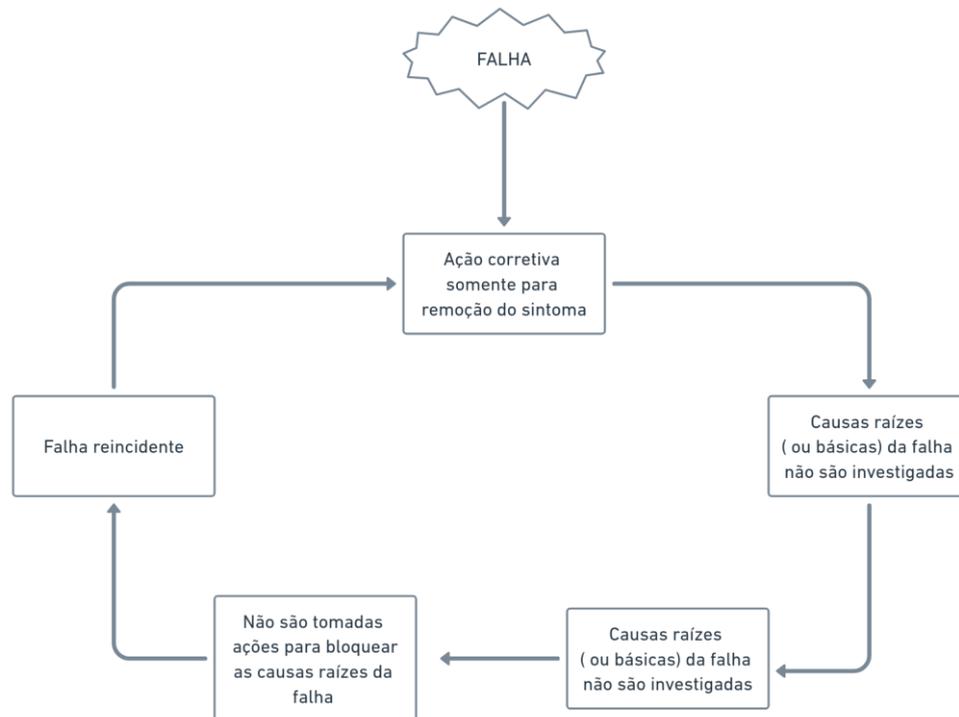


Figura 2: Círculo Vicioso de Falhas.

Fonte: Adaptado de Xenos (1998)

A figura 2 ilustra que, quando ocorre uma falha, não basta apenas implementar ações corretivas para solucioná-la. É essencial também investigar e abordar as causas fundamentais. Sem a mitigação das causas raízes, a falha tende a se repetir, iniciando um ciclo vicioso de falhas.

Há três conjuntos principais de atividades para o tratamento de falhas, que são correção, investigação e a prevenção. A correção foca em resolver o problema imediato, restaurando a operação normal através de reparos ou ajustes. A investigação busca identificar as causas subjacentes da falha, utilizando ferramentas como o "Método dos Por quês" e o "Princípio dos 3 Gen" para uma análise detalhada. Por fim, a prevenção envolve a implementação de ações para evitar a reincidência da falha, com base nas descobertas da investigação, e inclui a revisão contínua e a melhoria dos processos (XENOS, 2004).

## 2.9 Método dos Porquês

De acordo com Napoleão (2019), a técnica dos 5 Porquês é uma ferramenta que envolve questionar repetidamente o motivo pelo qual um problema ou falha ocorreu, geralmente cinco vezes, com o objetivo de identificar sua verdadeira origem, ou seja, a causa raiz. Um ponto importante a destacar é que, na prática, pode não ser necessário perguntar

exatamente cinco vezes "por quê", ou pode ser preciso fazer mais de cinco perguntas para chegar à causa principal. Não há uma regra rígida para isso, e embora o criador da metodologia sugira que cinco seja o número ideal de questionamentos, isso pode variar de acordo com o contexto e as características de cada situação ou organização. Sendo uma abordagem interativa, seu objetivo principal é revelar a causa raiz do problema, o que é essencial para garantir que as ações corretivas tomadas sejam realmente eficazes.

O autor complementa que, os 5 Porquês podem ser aplicados em qualquer situação onde haja a necessidade de investigar um problema e buscar uma solução eficaz. Por exemplo, pode ser útil quando um processo não está funcionando corretamente, quando há defeitos em um produto, ou até mesmo para analisar a causa de uma não conformidade. Além disso, os 5 Porquês podem ser aplicados em problemas pessoais, tornando-se uma ferramenta útil no cotidiano.

Quando é necessária uma investigação mais detalhada, os 5 Porquês podem ser combinados com outras ferramentas de análise de causa, como o Diagrama de Ishikawa. Nesse caso, recomenda-se usar primeiro o Diagrama de Ishikawa para identificar os diversos fatores que podem ter contribuído para o problema. Em seguida, os 5 Porquês são aplicados para explorar mais a fundo as possíveis causas dentro dos fatores identificados pelo Ishikawa (NAPOLEÃO, 2019).

## **2.10 Diagrama de Pareto**

Juran (1992), que popularizou o uso do Diagrama de Pareto e o associou ao princípio de Pareto, ou regra 80/20, define o diagrama como uma representação gráfica que ajuda a identificar as "poucas causas vitais" que são responsáveis pela maioria dos problemas, diferenciando-as das "muitas causas triviais". O autor complementa que o objetivo do Diagrama de Pareto é direcionar os esforços de melhoria para as causas que têm o maior impacto, de forma a resolver os problemas mais significativos primeiro e aumentar a eficiência do processo de melhoria.

Ishikawa (1986) descreve o Diagrama de Pareto como uma ferramenta que facilita a visualização e organização de dados em categorias, destacando as áreas mais problemáticas. Segundo Ishikawa, o diagrama é utilizado para identificar e priorizar problemas ou causas em processos industriais e de serviços, com o objetivo de destacar as áreas que necessitam de atenção urgente, permitindo uma alocação mais eficaz dos recursos disponíveis.

## 2.11 Perfil de Perdas

O Perfil de Perdas é desenvolvido com a finalidade de determinar onde os recursos de manutenção devem ser priorizados. O conceito de perfil de perdas utilizando o gráfico de Pareto envolve a análise das falhas e perdas operacionais de um sistema produtivo, identificando as áreas que causam maior impacto negativo. O perfil de perdas utiliza o princípio de Pareto, que sugere que aproximadamente 80% das consequências advêm de 20% das causas. O autor afirma que ao aplicar o gráfico de Pareto, é possível visualizar e priorizar os principais problemas, direcionando os esforços de manutenção para as áreas mais críticas (CAMPOS, 2004).

O autor complementa que o perfil de perdas, quando combinado com o gráfico de Pareto, facilita a identificação das causas principais das falhas recorrentes. Sendo assim, Campos destaca que essa ferramenta permite não apenas a priorização das ações de manutenção, mas também a alocação eficiente dos recursos disponíveis.

Já para Almeida *apud* Bravim *et al* (2007), o perfil de perdas é uma ferramenta que permite o mapeamento das principais falhas ocorridas em um sistema, facilitando a identificação dos componentes que apresentam maior frequência de problemas e possibilitando a implementação de ações corretivas e preventivas. Os autores destacam que, o objetivo do perfil de perdas é reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos e aumentar a eficiência operacional.

De acordo com Vilaça (2014), em situações onde projetos de melhoria são necessários devido a falhas que não podem ser corrigidas por meio de manutenção preventiva ou preditiva, o perfil de perdas torna-se essencial. Vilaça acrescenta que o perfil de perdas oferece dados para quantificar as perdas, permite a priorização das ações sobre os ativos e facilita a resolução dos modos de falha.

Por fim, Bravim (2007) conclui que o perfil de perdas permite identificar as causas principais das perdas e priorizar o tratamento das falhas mais significativas, "que quando bem analisadas e tratadas, podem resultar em aumentos na disponibilidade física das usinas e, conseqüentemente, em ganhos de produtividade e incremento no faturamento da empresa".

Neste capítulo, foram apresentados os tópicos e conceitos essenciais para o desenvolvimento e entendimento do trabalho proposto, servindo como alicerce teórico para o estudo de caso.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia adotada para a condução e execução deste estudo. Serão discutidos o tipo de pesquisa, os materiais e métodos utilizados, variáveis e indicadores, o instrumento de coleta de dados e a tabulação de dados.

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

Para iniciar a pesquisa, é essencial classificá-la de acordo com o problema a ser estudado que é a aplicação do perfil de perdas para reduzir paradas inesperadas dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro de uma empresa mineradora. Segundo Gil (2008), cada tipo de pesquisa apresenta suas particularidades, no entanto, pode-se agrupá-las em três grandes grupos: pesquisas exploratórias, pesquisas descritivas e pesquisas explicativas.

Este estudo tem como objetivo uma pesquisa exploratória, com o objetivo de registrar fatos e ideias sobre o problema analisado e torna-lo explícito. Essa abordagem consiste na aplicação de procedimentos organizados para a análise de informações. O pesquisador define critérios e métodos para desenvolver e ajustar conceitos ao longo da pesquisa. De acordo com Gil (2008, p.27), “as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. Em complemento, pesquisa pode ser definida como um procedimento formal e sistemático que utiliza métodos científicos para coletar, organizar, descrever, analisar e interpretar dados. Essa abordagem tem o objetivo de responder a questões específicas, solucionar problemas ou investigar fenômenos, seguindo princípios racionais e rigorosos para obter resultados confiáveis e verificáveis, (LAKATOS *et al*, 2003).

A pesquisa é classificada como qualitativa de acordo com o método de abordagem utilizado. Uma técnica qualitativa é aquela onde o pesquisador fundamenta suas alegações de conhecimento principalmente em perspectivas construtivistas (isto é, múltiplos significados das experiências individuais, significados social e historicamente construídos, visando desenvolver uma teoria ou padrão) ou em perspectivas reivindicatórias/participativas (isto é, políticas, orientadas por questões ou colaborativas, voltadas para a mudança) ou em ambas. Além disso, ela emprega estratégias de investigação como narrativas, fenomenologias, etnografias, estudos baseados em teoria ou estudos de teoria fundamentada. O pesquisador

coleta dados emergentes de forma aberta com o objetivo principal de desenvolver temas a partir desses dados (CRESWELL, 2007).

Portanto, a pesquisa é classificada como qualitativa, uma vez que investigará o comportamento da aplicação do perfil de perdas no setor de filtragem de rejeitos na mineração, permitindo que a opinião do pesquisador esteja agregada ao estudo.

Conforme os procedimentos técnicos, a pesquisa é caracterizada como bibliográfica e como estudo de caso. A pesquisa bibliográfica tem como objetivo recolher, selecionar e analisar contribuições teóricas existentes sobre um determinado assunto, possibilitando ao pesquisador uma compreensão aprofundada e contextualizada do tema investigado (LAKATOS *et al*, 2003).

Por sua vez, o estudo de caso, conforme Gil (2008), permite uma análise holística dos eventos, possibilitando a investigação de características singulares e contextuais que seriam difíceis de captar por meio de outros métodos. Gil argumenta que, ao focar em um número limitado de casos, essa abordagem proporciona uma riqueza de detalhes e uma compreensão mais completa do objeto de pesquisa.

Portanto, a pesquisa é considerada bibliográfica e como estudo de caso. Inicialmente, é realizado um levantamento das referências teóricas sobre manutenção, confiabilidade e perfil de perdas. Em seguida, é conduzido um estudo de caso para obter os resultados relacionados à questão central do trabalho.

### **3.2 Materiais e Métodos**

O fluxograma representado na figura 3 ilustra o método empregado para obter a solução para o problema abordado na pesquisa.

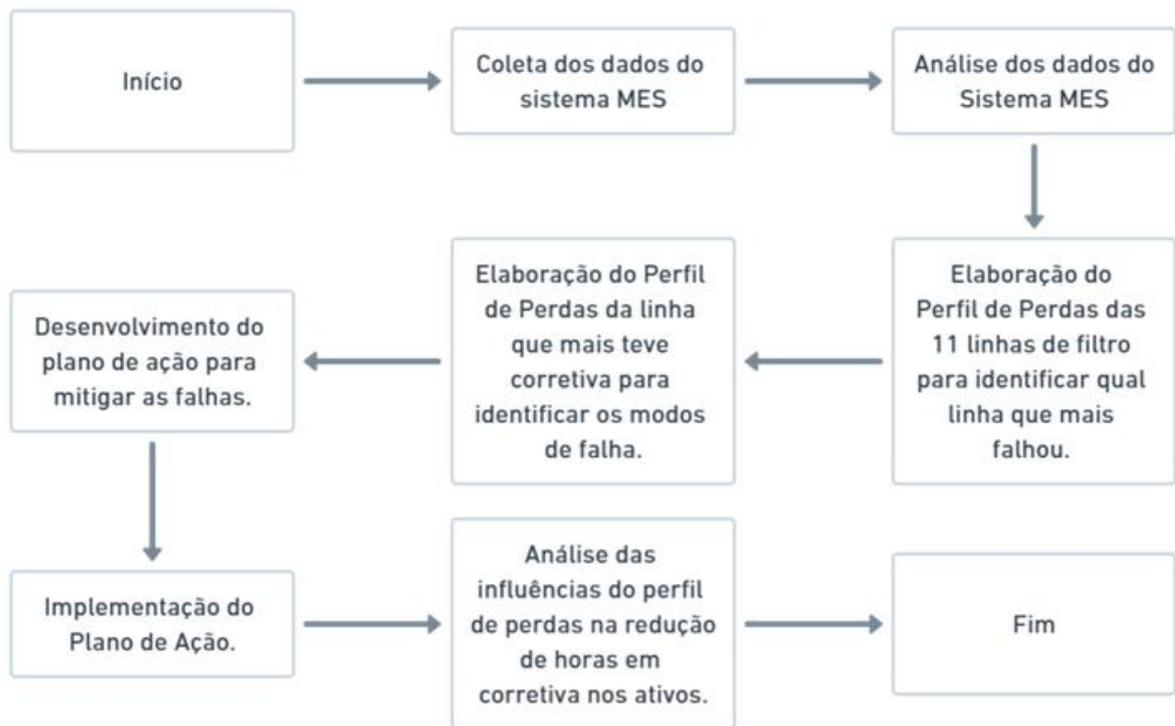


Figura 3: Fluxograma do Procedimento.

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

Para identificar as características do objeto de estudo, é necessário examinar os dados de paradas por manutenção corretiva extraídos do software de gerenciamento MES (Manufacturing Execution System). Este software recebe dados dos operadores acerca das ocorrências nas linhas de produção e organiza-os em um banco de dados, disponibilizando informações de todas as paradas em forma de relatório contendo: processo, subprocesso, conceito, responsável, evento, equipamento, data, horário e descrição da ocorrência.

Depois da coleta de dados, foi gerado um perfil de perdas contendo as onze linhas de filtro prensa, para identificar qual linha de filtro teve maior quantidade de horas paradas por corretiva. Após a identificação da linha com maior quantidade de horas de parada por manutenção corretiva, foi realizado um novo perfil de perdas com a finalidade de identificar quais modos de falha eram responsáveis pela maior quantidade de paradas para manutenção corretiva. Os gráficos foram elaborados com o auxílio do Microsoft Excel para uma melhor visualização.

Após identificar quais modos de falha foram responsáveis pela maior quantidade de paradas, foi desenvolvido e implementado um plano de ação com a participação da equipe de manutenção responsável pelos filtros. A equipe era composta por gerente de manutenção,

engenheiro de manutenção, programador de manutenção, inspetor de mecânica, e um estagiário de engenharia de mecânica.

### 3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Lakatos *et al* (2003), uma variável pode ser definida como uma categoria ou medida, uma quantidade que pode sofrer alterações, um conceito operacional que abrange valores, além de um aspecto, característica ou fator que serve como objeto de estudo e que pode ser quantificado. Os valores que são associados a um conceito para transformá-lo em uma variável são denominados indicadores.

Um indicador pode ser definido como uma medida quantitativa ou qualitativa que fornece informações relevantes e objetivas sobre um processo, atividade ou resultado específico. Os indicadores são utilizados para avaliar o desempenho, monitorar o progresso em relação a metas ou objetivos, identificar tendências e fornecer conhecimentos valiosos para a tomada de decisões (MONTEIRO, 2013).

Tendo em vista os conceitos acima, pode-se afirmar que este estudo contém uma variável. E os indicadores está apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Perfil de Perdas	Horas em manutenção corretiva; Equipamento que parou; Modo de falha.

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

### 3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Para obtenção dos dados foi utilizado o *Manufacturing Execution Systems* (MES). A tabela 2 ilustra o instrumento de coleta de dados.

Tabela 2 - Sistema MES

SubProcesso	Linha	Conceito	Responsa	Evento	Equipamen	Início	Fim		Desc
FILTRO PRENSA 08	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	AGUARDANDO BLOQUEIO	84-FP-08	01/06/2024 04:53	01/06/2024 05:25	0,53	AGUARDANDO BLOQUEIO
FILTRO PRENSA 01	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-01	02/06/2024 00:00	02/06/2024 00:30	0,50	AGUARDANDO TEMPO DE CURA
FILTRO PRENSA 10	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO COREBLOW	84-FP-10	02/06/2024 09:53	02/06/2024 11:15	1,37	VAZAMENTO NA TUBULAÇÃO DO CORE BLOW.
FILTRO PRENSA 08	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO SISTEMA DE SELAGEM	84-BP-27	02/06/2024 13:07	02/06/2024 13:25	0,30	DEFEITO DE SELAGEM.
FILTRO PRENSA 10	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	VAZAMENTO	84-FP-10	02/06/2024 14:30	02/06/2024 14:50	0,33	SOLDA NA VÁLVULA DO COREBLOW.
FILTRO PRENSA 10	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-10	02/06/2024 14:50	02/06/2024 15:25	0,58	SOLDA NO BRAÇO PLACA ARRASTE, SETOR 17.
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-09	02/06/2024 17:39	02/06/2024 18:00	0,35	SOLDA NO BRAÇO PLACA ARRASTE, SETOR 14.
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-09	02/06/2024 18:00	02/06/2024 18:03	0,05	SOLDA NO BRAÇO PLACA ARRASTE, SETOR 14.
FILTRO PRENSA 11	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-11	02/06/2024 21:05	02/06/2024 21:30	0,42	QUEBRA DO CILINDRO DO TT
FILTRO PRENSA 11	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-11	02/06/2024 22:35	02/06/2024 23:16	0,68	QUEBRA DO CILINDRO DO TT
FILTRO PRENSA 07	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-07	02/06/2024 23:20	02/06/2024 23:51	0,52	QUEBRA DO CILINDRO DO TT
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-09	03/06/2024 04:30	03/06/2024 05:12	0,70	SOLDA BRAÇO PLACA ARRASTE
FILTRO PRENSA 11	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-11	03/06/2024 06:04	03/06/2024 07:00	0,93	AJUSTE NO PISTÃO DO TT.
FILTRO PRENSA 11	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-11	03/06/2024 07:24	03/06/2024 08:21	0,95	REPARO NO PISTÃO DO TT.
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-09	03/06/2024 07:46	03/06/2024 08:10	0,40	DESALINHAMENTO DE PLACAS.
FILTRO PRENSA 08	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO SISTEMA DE SELAGEM	84-BP-27	03/06/2024 07:55	03/06/2024 08:06	0,18	DEFEITO DE SELAGEM.
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-09	03/06/2024 09:21	03/06/2024 09:46	0,42	DESALINHAMENTO DE PLACAS.
FILTRO PRENSA 11	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-11	03/06/2024 09:40	03/06/2024 10:19	0,65	TROCA DO PISTÃO DO TT.
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-09	03/06/2024 11:11	03/06/2024 11:28	0,28	DESALINHAMENTO DE PLACAS.
FILTRO PRENSA 05	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	VAZAMENTO	84-BP-23	03/06/2024 11:15	03/06/2024 12:00	0,75	TROCA DA JUNTA VELUMOIDE.
FILTRO PRENSA 05	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	VAZAMENTO	84-BP-23	03/06/2024 12:00	03/06/2024 13:27	1,45	TROCA DA JUNTA VELUMOIDE.
FILTRO PRENSA 08	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	VAZAMENTO	84-FP-08	03/06/2024 13:30	03/06/2024 14:14	0,73	SOLDA NA VÁLVULA DE ALIMENTAÇÃO.

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

A tabela 2 contém um recorte dos registros de todas as manutenções corretivas, separadas de acordo com cada filtro prensa, com data de início, data final, a somatória de horas de acordo com cada parada inesperada, o nome do evento e a descrição do evento.

### 3.5 Tabulação de Dados

A tabulação dos dados foi realizada por meio do *software Excel*, onde os dados foram filtrados, compilados e analisados. O *Excel* também foi utilizado para a elaboração dos gráficos e diagramas presentes no estudo.

### 3.6 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas informações como os tipos de pesquisas utilizadas neste trabalho, bem como os materiais, métodos, variáveis, indicadores, instrumento de coleta de dados e o a técnica de tabulação dos dados.

No capítulo seguinte, será apresentado o estudo de caso, a descrição do equipamento, a descrição do problema e o plano de contingência, levando em consideração a base teórica e os procedimentos metodológicos utilizados ao longo do estudo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Apresentação da Empresa**

A empresa analisada é um grupo multinacional com atividades em cinco principais setores: siderurgia, mineração, logística, cimento e energia. Atualmente, entre seus ativos, a empresa conta com uma usina siderúrgica integrada; cinco unidades industriais, sendo duas delas no exterior; minas de minério de ferro, calcário, dolomita e estanho; uma distribuidora de aços planos; terminais portuários; participações em ferrovias; e participação em quatro usinas hidrelétricas, oferecendo uma vasta gama de produtos e serviços. A organização opera com uma estrutura bem definida para cada área industrial, incluindo a gestão de manutenção, que desempenha um papel crítico na continuidade das operações produtivas.

### **4.2 Setor de Manutenção de Equipamento da Filtragem de Rejeitos**

O setor de manutenção dos equipamentos da filtragem de rejeitos é encarregado de assegurar a disponibilidade física, o bom funcionamento e a preservação dos ativos da empresa. A equipe de manutenção é composta por diferentes funções, incluindo gerentes, coordenadores, engenheiros, técnicos de planejamento e programação, inspetores e técnicos de campo. A estrutura bem definida é crucial para garantir a execução eficiente das manutenções preventivas, corretivas e preditivas. A colaboração entre essas equipes é vital para reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos e maximizar a produtividade da empresa.

Para que as atividades sejam realizadas de forma eficiente por cada equipe, é necessário alocar pessoas em funções organizacionais específicas, conforme ilustrado na figura 4.

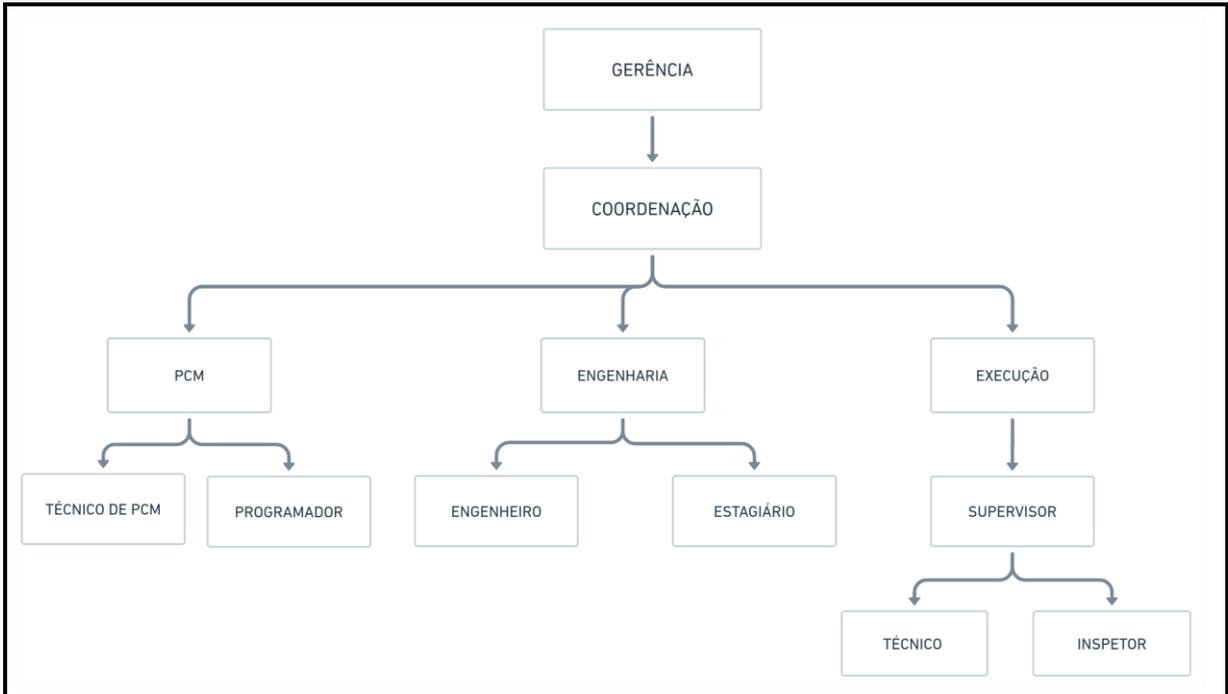


Figura 4: Organograma Organizacional do Setor de Manutenção de Equipamentos da Filtragem de Rejeitos da Empresa Mineradora.

Fonte: Empresa Pesquisada (2024)

A figura 4 ilustra a divisão da função organizacional das pessoas dentro do setor. O gerente é responsável pela gestão global do setor de manutenção, incluindo a definição de estratégias, o planejamento de longo prazo, a alocação de recursos e o controle orçamentário. Ele garante que os objetivos de disponibilidade física, confiabilidade e eficiência dos equipamentos sejam atingidos. Além disso, o gerente lidera a equipe, promove a melhoria contínua e assegura a conformidade com normas e regulamentações. Já o coordenador atua como um elo entre o gerente e as equipes operacionais, sendo responsável por coordenar as atividades diárias de manutenção, garantindo que os planos sejam executados conforme as prioridades estabelecidas. Além disso, o coordenador supervisiona a implementação das manutenções preventivas, corretivas e melhorias, e assegura que os recursos e materiais necessários estejam disponíveis.

A equipe de engenharia é composta por um engenheiro e um estagiário. O engenheiro tem como função desenvolver e otimizar os processos de manutenção, criando planos de manutenção preventiva e preditiva baseados em análise de falhas e confiabilidade dos equipamentos. Ele também trabalha em projetos de melhoria contínua, realiza análises técnicas para resolver problemas complexos e colabora no desenvolvimento de novas estratégias e tecnologias para aumentar a eficiência operacional. Já o estagiário, apoia as atividades do engenheiro, auxiliando em tarefas como a organização de documentação

técnica, suporte na elaboração de relatórios, acompanhamento de inspeções e execução de tarefas supervisionadas. O estagiário também pode executar pequenos projetos sob orientação do engenheiro.

A equipe de PCM é formada por um técnico e um programador. O técnico de programação é responsável por planejar e agendar as atividades de manutenção, organizar as ordens de serviço, coordenar a disponibilidade de peças e materiais, e garantir que os recursos humanos sejam alocados de maneira eficiente. O programador de manutenção tem como função planejar e programar as intervenções de manutenção, determinando as melhores datas e horários para as paradas de equipamentos, considerando a disponibilidade de recursos e a urgência das intervenções. Ele trabalha em estreita colaboração com os supervisores e técnicos para garantir que as atividades sejam executadas conforme o plano e sem interrupções desnecessárias.

A equipe de execução é a que realiza a manutenção propriamente dita. O supervisor gerencia diretamente as equipes de manutenção no campo, coordenando as atividades diárias e garantindo que as manutenções sejam realizadas conforme o cronograma e os padrões de qualidade. O técnico de manutenção é responsável por executar atividades de manutenção corretiva, preventiva e preditiva nos equipamentos, garantindo que eles operem de maneira segura e eficiente. Já o inspetor, realiza inspeções regulares nos equipamentos para identificar anomalias, desgastes ou sinais de falhas iminentes, documenta suas observações e recomenda ações corretivas e preventivas para garantir que os problemas identificados sejam resolvidos antes que causem paradas inesperadas nos equipamentos.

### **4.3 Descrição do Filtro Prensa de Placas**

O filtro prensa de placas é um dispositivo fundamental para o processo de separação de sólidos e líquidos. No setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro, o filtro prensa é responsável por reduzir significativamente a quantidade de água nos rejeitos, o que facilita o manejo e armazenamento seguro do resíduo. O filtro tem a função de separar a água do rejeito sólido, onde a água é captada no processo de filtragem e reutilizada nos processos de beneficiamento da usina e o rejeito parcialmente seco possa ser empilhado, dispensando a necessidade de barragens de rejeito. A figura 5 ilustra um exemplo de um filtro prensa de placas.

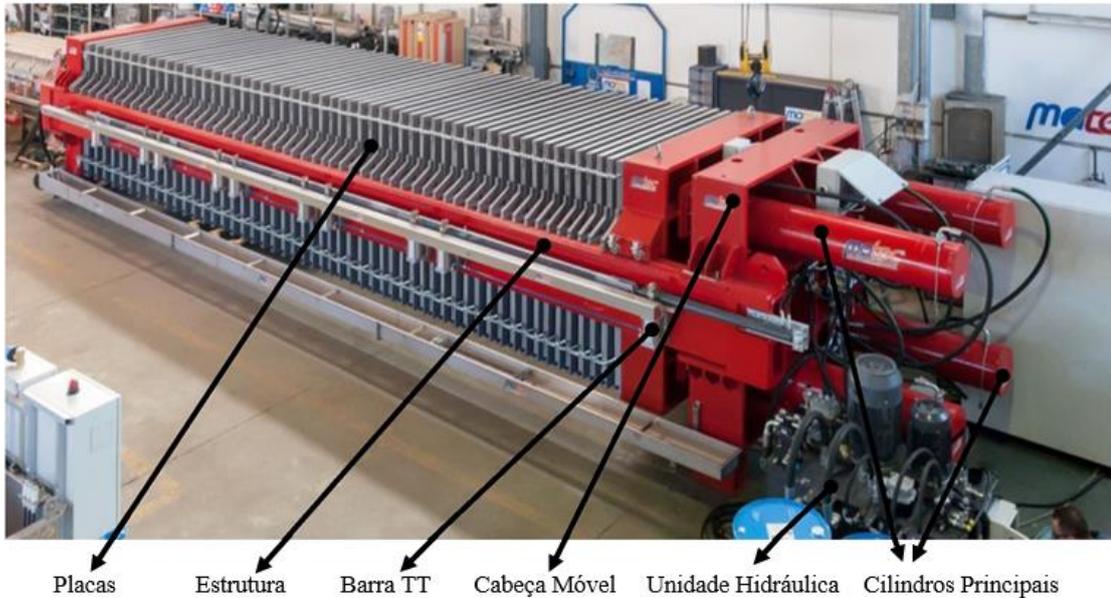


Figura 5: Filtro Prensa.

Fonte: Matecindustries (2024)

O equipamento utilizado na empresa é composto por um conjunto de 190 placas divididas em 19 setores iguais de 10 placas que, quando estão em contato umas com as outras, formam câmaras entre as placas adjacentes. Cada placa tem um furo passante no centro de sua face e é revestida por um tecido filtrante. Sob alta pressão, a polpa de rejeito é bombeada para essas câmaras, onde as partículas sólidas são separadas, formando tortas compactas. Cada filtro tem 30000mm de comprimento por 4000mm de largura e 3500mm de altura. Cada placa tem 2000mm de largura por 2000mm de altura e 90mm de espessura. Cada ciclo de trabalho tem duração média de 25 minutos. O esquema de um filtro prensa está ilustrado na figura 6.

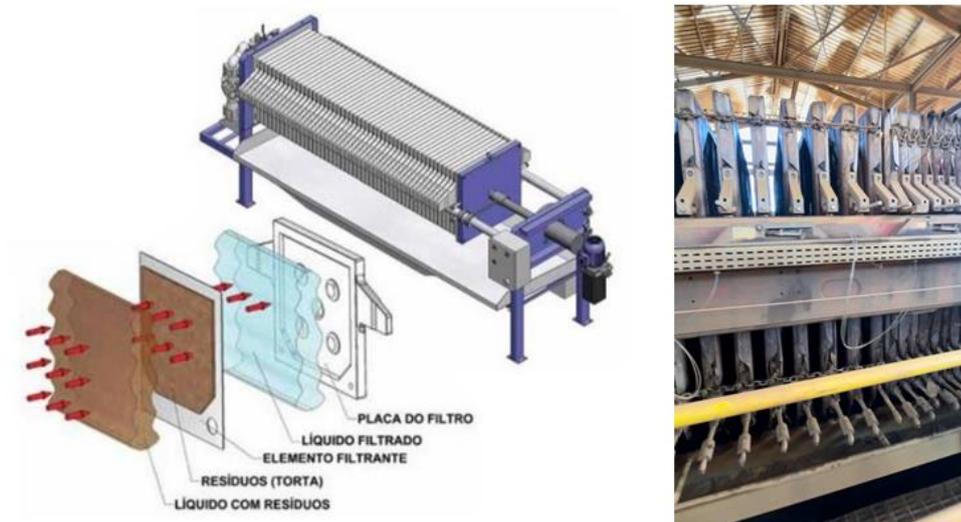


Figura 6: Esquema de um filtro prensa de placas (Adaptado de Bomax, 2014).

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

O ciclo de trabalho é iniciado quando as placas são pressionadas através do avanço dos quatro cilindros principais da placa móvel contra a cabeça fixa do filtro até os cilindros atingirem a pressão de 250 bar. Atingida a pressão de 250 bar nos quatro cilindros principais, a válvula de retorno é fechada e a válvula de alimentação é aberta. Então, a bomba de duplo estágio alimenta o filtro pela tubulação de alimentação com cerca de 71 toneladas de polpa de rejeito a uma pressão entre 6 e 15 bar por um tempo pré-determinado, preenchendo as câmaras. Com isso, o material sólido é desidratado pela pressão e compacto enquanto obtém a forma da placa, a água passa pelos interstícios do tecido filtrante e flui para o interior das placas até saírem pelos dutos nas laterais das placas, sendo captadas pelas canaletas. Finalizado a etapa de alimentação, as placas são despressurizadas no momento em que os quatro cilindros principais retornam. Posteriormente, inicia-se a etapa de descarga das placas, onde, a Barra TT avança e recua uma vez para cada setor através do acionamento dos cilindros do TT. Nessa etapa, as placas são afastadas umas das outras, proporcionando a queda da torta compactada na correia transportadora localizada abaixo do filtro, finalizando então o ciclo. Das 71 toneladas alimentadas, o filtro produz 60 toneladas de rejeito seco (torta compactada) com meta de umidade de 16% e 11m<sup>3</sup> de água.

As figuras 7, 8 e 9 ilustram os componentes do filtro prensa.

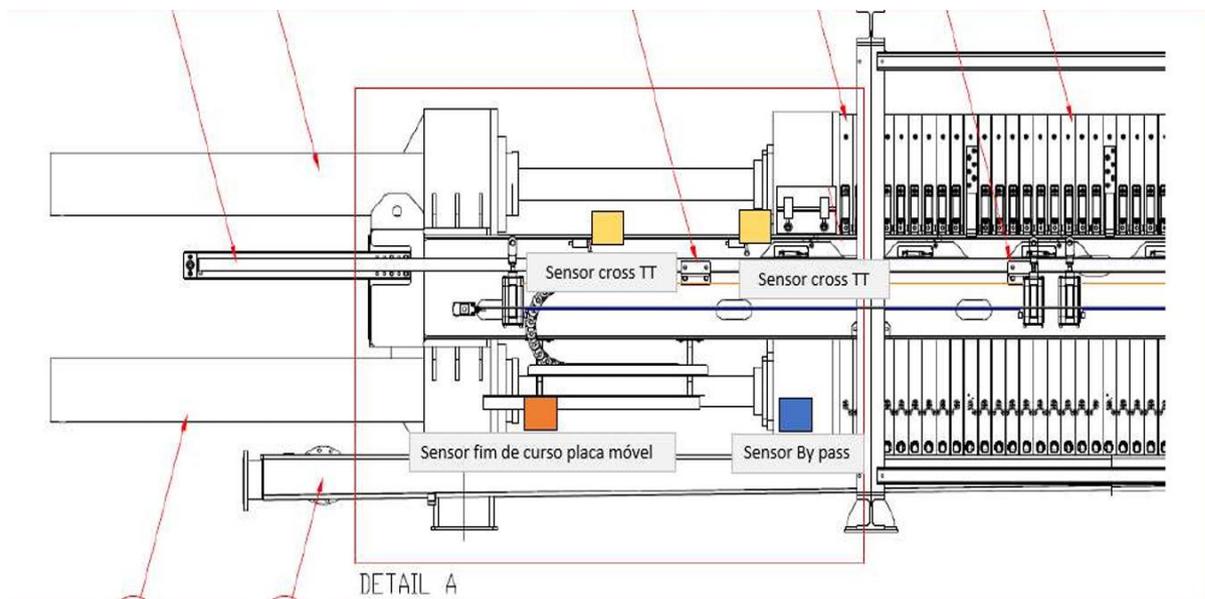


Figura 7: Desenho Esquemático dos Sensores.

Fonte: Arquivo Próprio (2024)

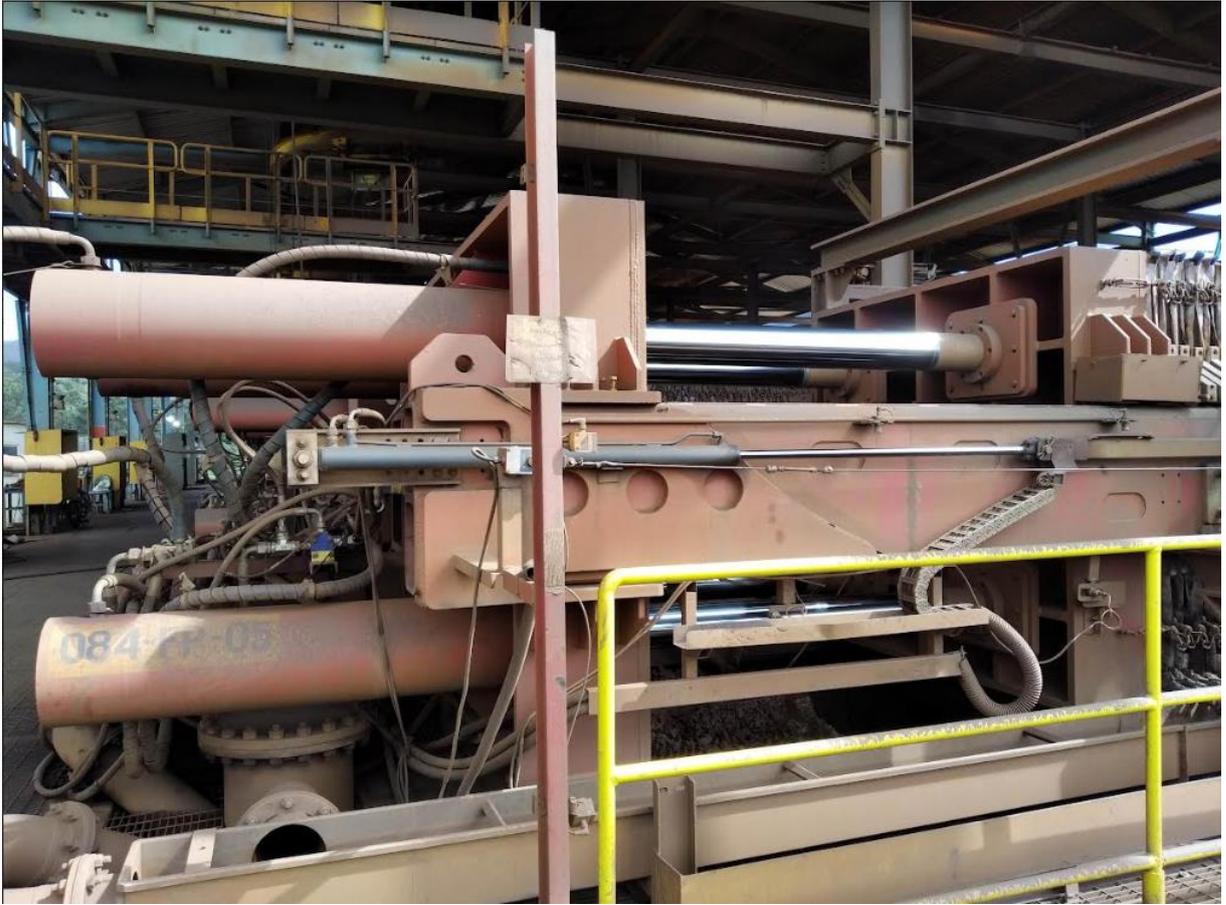


Figura 8: Cabeça Móvel, Sensores, Barra TT, Sistema TT, Placas, Tortas, Tecidos Filtrante e Canaleta.

Fonte: Empresa Pesquisada (2024)



Figura 9: Cabeça Fixa, Válvula de Alimentação, Válvula de Retorno e Bomba de Duplo Estágio.

Fonte: Empresa Pesquisada (2024)

O filtro prensa de placas é formado pelos componentes:

- Bomba de Duplo Estágio;
- Tubulações;
- Válvula de Alimentação;
- Válvula de Retorno;
- Cabeça Móvel;
- Cabeça Fixa;
- Roldanas;
- Placas;
- Sistema TT;
- Barra TT;
- Cilindro do TT;
- Tilt Sensor;
- Cilindros Principais;
- Unidade Hidráulica;
- Pressostato;
- Fluxostato;
- Sensor By Pass.

Para assegurar o correto funcionamento de cada filtro prensa, é indispensável que todos os componentes mencionados estejam operando adequadamente. Cada um dos componentes desempenha um papel único no equipamento e a falha de um único componente ocasiona a parada do equipamento e, conseqüentemente, a parada da produção. Portanto, é fundamental mitigar falhas inesperadas e evitar paradas corretivas.

#### **4.4 Descrição do Problema**

Na análise dos indicadores da gerência de manutenção, observa-se que o tempo gasto com manutenções corretivas tem influência direta na produtividade da empresa, uma vez que a parada de algum dos 11 filtros implica na redução de alimentação da usina e,

consequentemente, redução da produção da empresa. Dessa forma, surge a necessidade de realizar o perfil de perdas para permitir que cada equipe responsável por um sistema específico possa avaliar se suas práticas de manutenção estão sendo eficazes e eficientes, e se estão gerando impactos positivos ou negativos na produtividade do sistema.

O período de avaliação utilizado na pesquisa foi do dia 1 ao dia 30 de junho de 2024, totalizando 30 dias, tendo em vista que esse período oferece várias vantagens estratégicas e operacionais. Esse período permite um equilíbrio entre a coleta frequente de dados e a capacidade de gerar *insights* acionáveis sem sobrecarregar os processos de análise. Ao avaliar mensalmente, é possível identificar desvios e tendências anormais em estágios iniciais, permitindo a correção antes que ocorram falhas mais graves no equipamento. Além disso, o período de 30 dias se alinha com os ciclos de planejamento e execução de grande parte das operações de manutenção. Isso facilita a colaboração entre o planejamento das intervenções preventivas e corretivas, a análise dos indicadores e a execução das ações. Esse período de avaliação também facilita a integração com relatórios financeiros da empresa, garantindo uma visão consolidada e periódica do desempenho da manutenção, sendo útil para tomada de decisões estratégicas e orçamentárias.

Com todas as informações de cada parada para manutenção registrada pelo Sistema MES, os dados foram coletados e organizados utilizando o *software Excel*. A tabela 3 ilustra como os dados iniciais são obtidos do Sistema MES.

Tabela 3 - Dados Iniciais do Sistema MES

SubProcesso	Linht	Conceit	Responsá	Evento	Equipam	Início	Fim	Descrição
FILTRO PRENSA 04	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-04	10/06/2024 18:00	10/06/2024 19:58	1,97 NÃO ESTA ATINGINDO PRESSÃO DE FECHAMENTO
FILTRO PRENSA 05	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO SISTEMA DE SELAGEM	84-BP-23	08/06/2024 20:09	08/06/2024 20:20	0,18 DEFEITO DE SELAGEM
FILTRO PRENSA 04	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-04	11/06/2024 06:00	11/06/2024 06:30	0,50 BAIXA PRESSÃO PLACA MÓVEL
FILTRO PRENSA 04	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-04	14/06/2024 13:21	14/06/2024 18:00	4,65 TROCA DA VÁLVULA DIRECIONAL
LINHA SUMP 01	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO SISTEMA DE SELAGEM	84-BP-54	09/06/2024 00:06	09/06/2024 00:30	0,40 DEFEITO DE SELAGEM
FILTRO PRENSA 07	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NO COREBLOW	84-FP-07	09/06/2024 05:40	09/06/2024 06:00	0,33 PRESSAO BAIXA NO COREBLOW.
FILTRO PRENSA 07	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NO COREBLOW	84-FP-07	09/06/2024 06:00	09/06/2024 06:40	0,67 PRESSAO BAIXA NO COREBLOW.
FILTRO PRENSA 01	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NAS PLACAS	84-FP-01	09/06/2024 09:45	09/06/2024 10:10	0,42 REPOSICIONAMENTO TIRANTE
LINHA ADENSAMENTO 02	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	VAZAMENTO	84-BP-44	09/06/2024 10:06	09/06/2024 11:18	1,20 MONTAGEM DE ANDAIME.
FILTRO PRENSA 11	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NO PRESSOSTATO	84-FP-11	09/06/2024 10:50	09/06/2024 11:02	0,20 DEFEITO PRESSOSTATO OU FIM DE CURSO BARRA TT
ESPESADOR-008-GERAL	Singelo	CORRETIVA	ELÉTRICA	FALTA DE ENERGIA - INTERNA		09/06/2024 11:14	09/06/2024 11:29	0,25 DESARME FASE 03
FILTRO PRENSA 02	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-02	09/06/2024 13:54	09/06/2024 15:05	1,18 NÃO ESTÁ ATINGINDO PRESSÃO DE FECHAMENTO
FILTRO PRENSA 04	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-04	14/06/2024 18:00	14/06/2024 22:00	4,00 TROCA DA BOMBA
FILTRO PRENSA 04	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-04	14/06/2024 22:00	15/06/2024 00:00	2,00 TROCA DA BOMBA
FILTRO PRENSA 08	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NO FLUXOSTATO	84-BP-27	09/06/2024 21:25	09/06/2024 21:31	0,10 DEFEITO DE SELAGEM
FILTRO PRENSA 04	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-04	15/06/2024 00:00	15/06/2024 06:00	6,00 TROCA DA BOMBA
FILTRO PRENSA 04	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	84-FP-04	15/06/2024 06:00	15/06/2024 12:00	6,00 TROCA DA BOMBA
FILTRO PRENSA 10	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-10	09/06/2024 23:21	09/06/2024 23:45	0,40 SOLDA CILINDRO DO TT E TIRANTE
FILTRO PRENSA 07	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA VÁLVULA	84-BP-28	10/06/2024 00:07	10/06/2024 00:47	0,67 FV424:DEFEITO POSIÇÃO.
FILTRO PRENSA 05	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA CHAVE DE EMERGÊNCI	84-FP-05	10/06/2024 00:52	10/06/2024 01:18	0,43 EMERGÊNCIA DE CORDA ATUADO
FILTRO PRENSA 05	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA CHAVE DE EMERGÊNCI	84-FP-05	10/06/2024 01:42	10/06/2024 02:04	0,37 EMERGÊNCIA DE CORDA ATUADO
FILTRO PRENSA 07	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA VÁLVULA	84-BP-28	10/06/2024 02:37	10/06/2024 02:48	0,18 FV424:DEFEITO POSIÇÃO.
FILTRO PRENSA 05	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA CHAVE DE EMERGÊNCI	84-FP-05	10/06/2024 03:12	10/06/2024 03:20	0,13 EMERGÊNCIA DE CORDA ATUADO
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO NA TALHA	84-FP-09	10/06/2024 03:26	10/06/2024 05:09	1,72 TOMADA COM MAL CONTATO.
LINHA ADENSAMENTO 02	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO SISTEMA DE SELAGEM	84-BP-44	10/06/2024 03:58	10/06/2024 04:15	0,28 DEFEITO DE SELAGEM
FILTRO PRENSA 01	Linha	CORRETIVA	MECÂNICA	DEFEITO NO TT	84-FP-01	10/06/2024 04:04	10/06/2024 04:42	0,63 PARAFUSO DO PISTÃO DO TT SOLTTO.
FILTRO PRENSA 09	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	AGUARDANDO BLOQUEIO	84-FP-09	10/06/2024 06:03	10/06/2024 06:23	0,33 AGUARDANDO RETIRADA DE BLOQUEIO.
FILTRO PRENSA 10	Linha	CORRETIVA	ELÉTRICA	DEFEITO SENSOR BY PASS	84-FP-10	10/06/2024 08:30	10/06/2024 08:58	0,47 DEFEITO DE SENSOR DE BY PASS

Fonte: Empresa Pesquisada (2024)

A tabela 3 ilustra como os dados são obtidos do MES. Nota-se que, somente com essa planilha, não é possível identificar qual dos 11 filtros prensa obteve maior somatória de horas

em manutenção corretiva e quais foram os respectivos modos de falha, tendo em vista o volume de dados. Sendo assim, foi necessário realizar duas etapas no Excel antes de elaborar os gráficos.

A primeira etapa, a partir dos dados coletados, foi realizar a filtragem dos dados através da utilização de um filtro no *Excel*, selecionando na coluna de subprocesso somente os filtros prensa e na coluna conceito a seleção de somente corretiva, excluindo todos os outros equipamentos e tipos de manutenção realizadas no setor de filtragem de rejeitos.

A segunda etapa, consistiu em agrupar todas as horas de paradas inesperadas durante o mês de acordo com a respectiva falha, organizando os dados na planilha por meio de uma tabela dinâmica, para permitir a elaboração de gráficos. A tabela com os dados agrupados é representada pela tabela 4.

Tabela 4 - Horas em Corretiva Agrupados

Rótulos de Linha	Soma de Duração
<b>FILTRO PRENSA 04</b>	<b>78,9</b>
AGUARDANDO BLOQUEIO	2,2
DEFEITO DE POSIÇÃO	3,2
DEFEITO INVERSOR	0,2
DEFEITO NA CHAVE DE EMERGÊNCIA	1,1
DEFEITO NA TALHA	3,0
DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	45,6
DEFEITO NAS PLACAS	2,7
DEFEITO NO PRESSOSTATO	0,5
DEFEITO NO SISTEMA DE SELAGEM	0,7
DEFEITO NO SWITCH	1,5
DEFEITO NO TT	4,0
DEFEITO SENSOR BY PASS	0,3
DEFEITO SISTEMA DE DIÁLISE	1,2
DEFEITO TILT SENSOR	5,8
TROCA DE BOMBA	4,7
VAZAMENTO	2,5
<b>FILTRO PRENSA 05</b>	<b>55,9</b>
AGUARDANDO BLOQUEIO	1,1
DEFEITO INVERSOR	0,7
DEFEITO NA CHAVE DE EMERGÊNCIA	0,9
DEFEITO NA ESTRUTURA	0,8
DEFEITO NA UNIDADE HIDRÁULICA	0,1
DEFEITO NA VÁLVULA	0,1
DEFEITO NAS PLACAS	9,4
DEFEITO NAS TORNEIRAS FILTRADO	0,5
DEFEITO NO BATOQUES	3,2
DEFEITO NO PRESSOSTATO	0,3

A tabela 4 representa um recorte da planilha da somatória de horas em corretiva agrupadas de acordo com os respectivos modos de falha de cada filtro prensa. A partir dessa tabela, foi possível iniciar a análise elaborando gráficos.

Dessa forma, foi elaborado um Gráfico de Pareto global com as horas em corretiva dos 11 filtros, com o objetivo de identificar qual filtro teve a maior somatória de horas de paradas inesperadas. A figura 10 ilustra o gráfico global das paradas inesperadas dos filtros prensa.

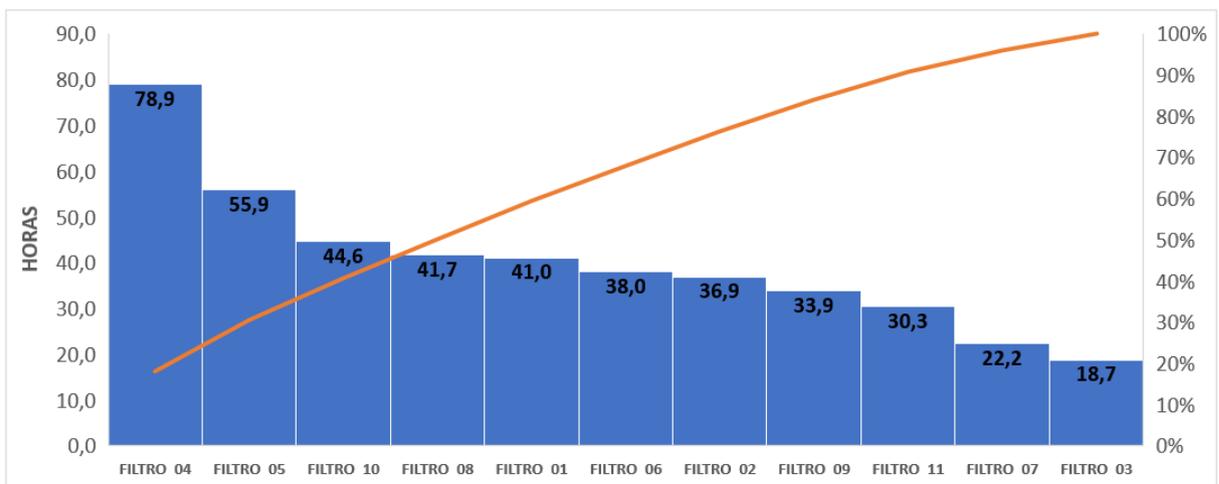


Figura 10: Horas em Corretiva por Filtro Prensa

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

A figura 10 representa o Gráfico de Pareto global desenvolvido a partir dos dados da planilha de paradas inesperadas de cada filtro prensa. Na figura é evidenciado que, no período analisado, o filtro 4 foi o equipamento responsável pela maior somatória de horas em paradas corretivas. Dessa forma, é importante aprofundar a análise do filtro 4 para analisar os modos de falha responsáveis pelas paradas inesperadas.

Para identificar os modos de falha responsáveis pelas maiores paradas inesperadas do filtro prensa 4, foi necessário realizar um novo Gráfico de Pareto, com os modos de falha ocorridos e a soma de duração das manutenções corretivas de acordo com cada evento. A figura 11 representa o gráfico de Pareto dos modos de falha do filtro 4.

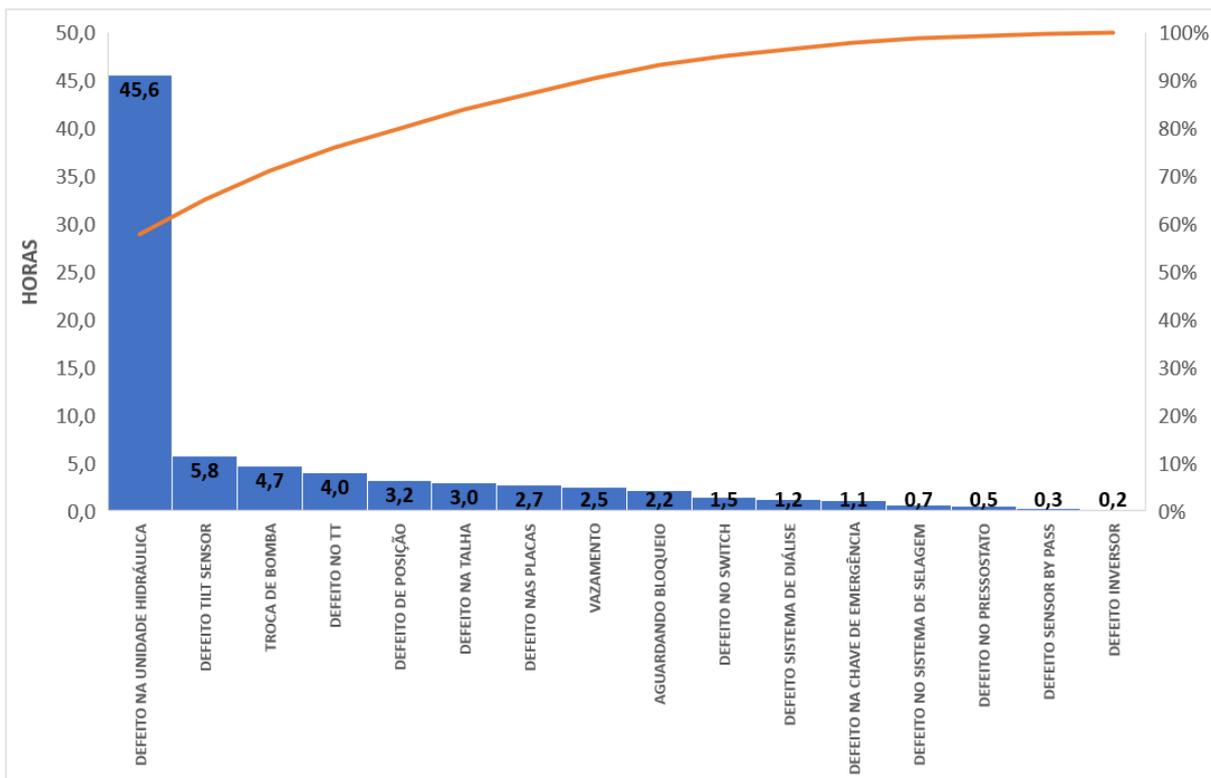


Figura 11: Horas em Corretiva por Modos de Falha do Filtro 4.

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

A figura 11 ilustra o gráfico dos modos de falha do filtro 4. A partir da figura é possível visualizar de forma clara as horas em corretiva de acordo com as respectivas falhas de cada componente que compõe o filtro prensa e é indicado pelos números no interior de cada coluna. O gráfico também revelou que a falha de mais impacto produtivo do filtro 4 foi causada por problemas na unidade hidráulica. Dessa forma, pode-se concluir que, no mês de junho de 2024 ocorreram um total de 45,6 horas de manutenções corretivas devido à defeito na unidade hidráulica, representando o equivalente a 57,8% do total das paradas inesperadas do filtro 4.

Além do defeito na unidade hidráulica, ocorreram outras paradas inesperadas, como defeito no tilt sensor e troca de bomba. Essas falhas, embora menos impactantes que os problemas na unidade hidráulica no período analisado, também impactaram diretamente o desempenho do filtro e resultaram em períodos prolongados de manutenção corretiva. Entretanto, considerando que as horas em corretiva por defeito da unidade hidráulica foram mais de 700% maiores que defeito no tilt sensor, que é a segunda maior falha, a análise foi realizada somente na falha de maior somatória de horas de paradas inesperadas do filtro com maior quantidade de horas em manutenção corretiva.

A unidade hidráulica é responsável por prover a pressão hidráulica necessária para o funcionamento dos 4 cilindros principais da cabeça móvel e nos cilindros do TT em cada ciclo de trabalho. Quando essa unidade falha, todo o ciclo é interrompido, causando a parada de produção do filtro. Dessa forma, é essencial identificar as causas raízes do defeito na unidade hidráulica, bem como implementar medidas de contingências, com o objetivo de reduzir sua ocorrência e impedir a recorrência do defeito.

Uma vez identificada a falha principal do filtro com maior quantidade de horas em manutenção corretiva, a próxima etapa foi determinar suas causas raízes. Para isso, os dados foram discutidos em reuniões com as equipes de manutenção, gerência e engenharia. Utilizando o “Método dos Porquês”, foi possível identificar a causa fundamental da falha, representada na figura 12.

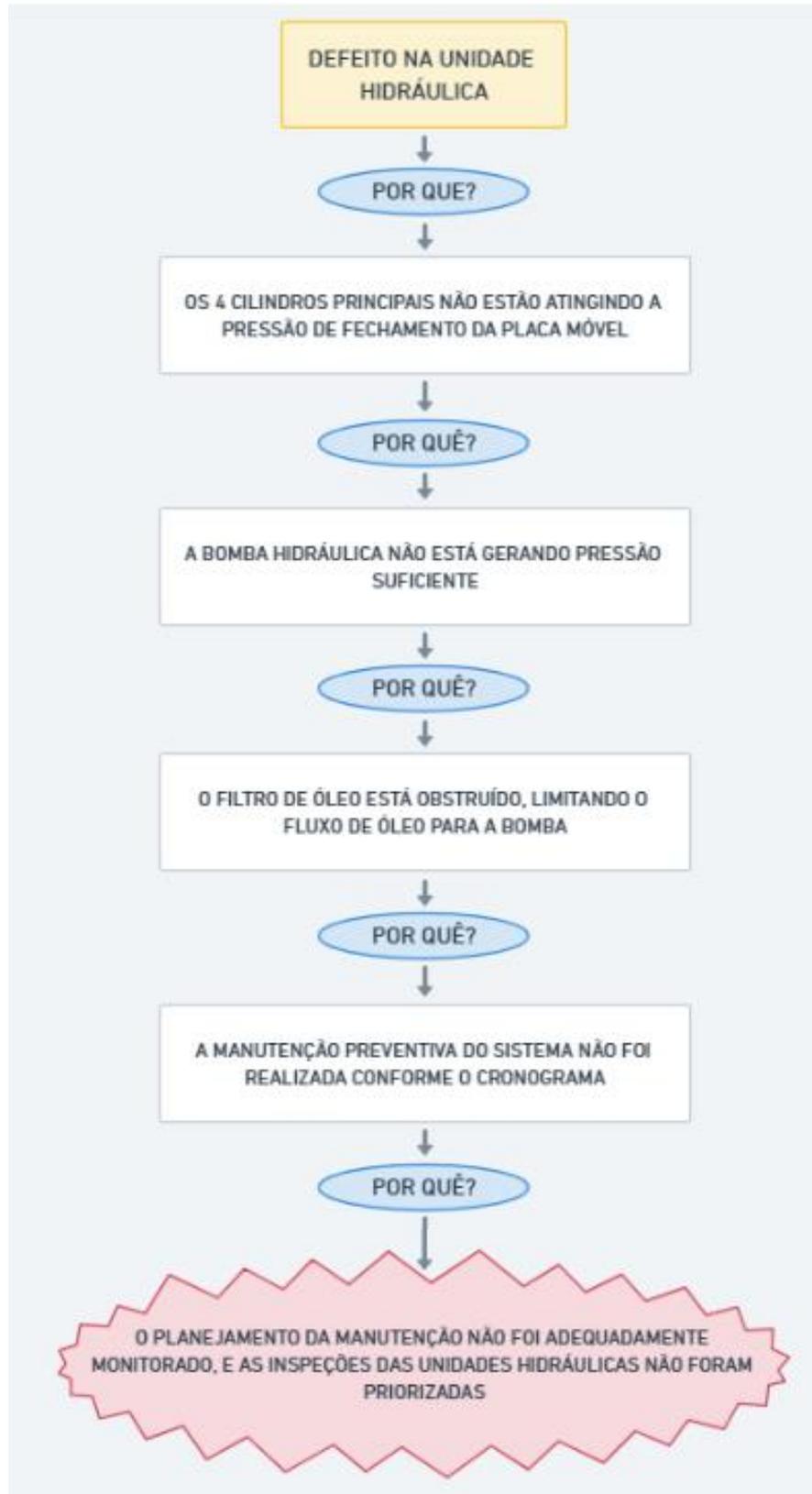


Figura 12: Identificação da Causa Fundamental da Falha da Unidade Hidráulica.

Fonte: Arquivo Próprio (2024)

Com base na figura 12, pode-se concluir que a causa raiz identificada para a falha na unidade hidráulica está relacionada à falta de monitoramento e execução adequada da manutenção preventiva, em especial a inspeção e a substituição do filtro de óleo. A obstrução do filtro de óleo é o ponto crítico que desencadeia a falha. Quando o filtro não é trocado de acordo com o tempo pré-determinado, ele acumula grande quantidade de partículas de sujeira e detritos, que são inerentes ao processo de mineração. Com o tempo, essa obstrução vai aumentando e restringindo o fluxo necessário de óleo para a bomba hidráulica. Sem o fluxo de óleo necessário, a bomba hidráulica sobreaqueceu, causando danos internos, impedindo que a pressão de 250bar nos cilindros principais fosse atingida. Não atingindo essa pressão, a etapa de fechamento da placa móvel não é finalizada. Quando a etapa de fechamento da placa móvel não finaliza em um *range* de tempo, o ciclo de trabalho é interrompido e um alarme disparado. Consequentemente, a produção do filtro é interrompida até que o problema seja solucionado.

Diante dos resultados obtidos na análise da falha e da respectiva causa raiz, foi elaborado um plano de ação detalhado com o objetivo de impedir a recorrência das paradas corretivas do filtro prensa 4 devido à defeito na unidade hidráulica. O plano de ação foi estruturado em duas frentes: revisão do plano de manutenção preventiva e avaliação da qualidade dos componentes.

A primeira etapa do plano de ação concentrou-se em revisar o programa de manutenção preventiva e introduzir sistemas de monitoramento condicional, de modo a evitar as paradas inesperadas na unidade hidráulica. Foi constatado que o cronograma estava corretamente planejado. Entretanto, embora o cronograma de manutenção preventiva estivesse corretamente planejado, a análise revelou que a falta de execução eficaz desse cronograma foi um fator determinante para o defeito na unidade hidráulica. O problema não estava na periodicidade ou nas atividades previstas, mas sim na não execução das manutenções programadas, o que gerou um acúmulo excessivo de sujeira no filtro de óleo da unidade hidráulica, ocasionando a parada inesperada do filtro prensa.

Para solucionar o problema da não execução do cronograma, foi necessário implementar um sistema de monitoramento e controle rígido da conformidade das manutenções preventivas. A ação foi vincular cada tarefa da manutenção da unidade hidráulica a um prazo de execução máximo, com relatórios periódicos enviados diretamente para os gerentes de manutenção e operações, garantindo a responsabilidade dos técnicos e supervisores quanto ao cumprimento das tarefas.

A segunda etapa do plano de ação focou na avaliação da qualidade do filtro de óleo utilizado na unidade hidráulica, tendo em vista que o filtro de óleo é fornecido por 3 empresas diferentes. Foi realizado testes nos filtros de óleo dos 3 fornecedores. Com os resultados, foi identificado que o filtro de óleo da mesma empresa que estava instalado na unidade hidráulica do filtro 4 apresentou qualidade inferior ao mínimo esperado, o que contribuiu para a obstrução e, conseqüentemente, para as paradas inesperadas do filtro prensa. Para mitigar esse problema, foi realizada uma reunião com o fornecedor, com o objetivo de explanar a situação e solicitar que seja regularizada a qualidade dos filtros de óleo fornecidos.

Portanto, ao solucionar a falha de gestão de manutenção e monitoramento, a empresa pode evitar não apenas futuros problemas relacionados à obstrução de filtros, mas também uma série de outras falhas potenciais na unidade hidráulica do filtro prensa, melhorando a confiabilidade e a eficiência do processo de filtragem de rejeitos de minério de ferro.

#### **4.5 Aplicação do Perfil de Perdas na Redução de Paradas Inesperadas dos Filtros Prensa**

A aplicação do perfil de perdas no setor de filtragem de rejeitos de uma empresa mineradora tem o potencial de gerar impactos substanciais em diversas áreas, como a redução de paradas inesperadas, aumento da confiabilidade dos equipamentos, melhoria da eficiência operacional e redução de custos de manutenção. Nesse contexto, a aplicação do perfil de perdas surge como uma ferramenta essencial, pois permite identificar, de maneira objetiva, as principais causas de falhas e direcionar esforços de manutenção para os pontos mais críticos, com o objetivo de identificar quais delas são responsáveis pela maior parte das perdas operacionais.

A partir da análise de dados extraídos do sistema de gerenciamento MES fornecido pela empresa pesquisada, como explicitado no presente trabalho, o perfil de perdas permitiu mapear com clareza qual dos 11 filtros obteve maior somatória de horas em corretiva, bem como os modos de falha associados. A análise realizada por meio de gráficos de Pareto revelou que o filtro prensa 4 foi o equipamento que apresentou o maior número de horas paradas devido a manutenções corretivas, totalizando 45,6 horas de inatividade do dia 1 ao dia 30 de junho de 2024.

A concentração de falhas no filtro 4 justificou uma análise mais aprofundada dos modos de falha associados a esse equipamento. A partir da elaboração de um novo gráfico de Pareto, focado nos modos de falha específicos do filtro 4, foi possível identificar que o

principal responsável pelas paradas corretivas era o defeito na unidade hidráulica, responsável por mais de 57,8% do tempo de inatividade do filtro durante o período analisado. Também foi possível constatar que, esse defeito estava diretamente relacionado à obstrução do filtro de óleo da unidade hidráulica, causada pela falta de monitoramento e de execução adequada da manutenção preventiva.

Ao identificar as causas mais significativas das paradas inesperadas, o perfil de perdas facilita a elaboração de estratégias de manutenção preventiva e preditiva mais eficazes. No estudo de caso apresentado, a falha predominante no filtro prensa 4 está relacionada à unidade hidráulica, cuja manutenção inadequada resultou em uma grande quantidade de horas em inatividade. A partir dessa análise, a empresa pode direcionar esforços para revisar o plano de manutenção desse componente, seja ajustando a periodicidade das trocas de filtros de óleo, seja implementando sistemas de monitoramento mais rígidos.

Com a aplicação do perfil de perdas, espera-se que haja impactos positivos de forma imediata não só na disponibilidade física dos filtros prensa, mas também na utilização, redução de custos operacionais e a melhoria da eficiência operacional, pois a prevenção de falhas evitará a interrupção dos ciclos de produção por manutenções corretivas. Em suma, tendo em vista que a confiabilidade dos equipamentos é diretamente proporcional à eficácia das ações de manutenção e que a abordagem de manutenção praticada na empresa falha em garantir a confiabilidade de longo prazo dos filtros prensa. Com a aplicação do perfil de perdas, a empresa tem a oportunidade de adotar uma abordagem proativa, onde as falhas mais críticas são analisadas e prevenidas de maneira sistemática. Como resultado, a confiabilidade dos filtros prensa é aprimorada e as manutenções corretivas reduzidas.

Outro benefício importante esperado com a aplicação do perfil de perdas consiste na redução de custos operacionais, tendo em vista que as manutenções inesperadas resultam em custos elevados, tanto pela necessidade de intervenções emergenciais quanto pelo impacto na produção. A aplicação do perfil de perdas oferece uma redução direta dos custos operacionais ao evitar a reincidência das falhas. Outro aspecto importante sobre a aplicação do perfil de perdas é que ele permite focar nas falhas que geram maior tempo de parada e que demandam mais recursos financeiros para serem corrigidas, atacando diretamente os maiores geradores de custos dentro do processo de manutenção. Além disso, ao otimizar o plano de manutenção com base nos resultados do perfil de perdas, espera-se a redução dos gastos relacionados à substituição de peças, trabalho emergencial e perda de produção, uma vez que as falhas serão tratadas de maneira preventiva e não mais corretiva.

A análise da causa raiz, por exemplo, evidenciou que a principal causa dos defeitos na unidade hidráulica do filtro 4 poderia ter sido evitada por meio de ações preventivas direcionadas. O monitoramento mais rigoroso da execução do cronograma de manutenção poderia alertar a equipe de manutenção sobre a necessidade de intervenção antes que a falha ocorresse, mantendo o equipamento disponível para ser utilizado. Com base nessas informações, a empresa pode implementar medidas que visam não apenas corrigir o problema, mas também prevenir a sua recorrência.

Essa abordagem preventiva não apenas reduz a necessidade de manutenções corretivas, mas também permite que a equipe de manutenção planeje suas intervenções de forma mais eficiente, programando-as para momentos de menor impacto na produção. Como resultado, a operação do filtro prensa torna-se mais estável e previsível, minimizando as interrupções no processo produtivo e melhorando a eficiência operacional.

Ao longo deste capítulo foram apresentados os dados coletados e a análise detalhada da aplicação do perfil de perdas no setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro de uma mineradora. O estudo evidenciou que o filtro 4 teve a maior somatória de paradas inesperadas durante o período analisado, sendo a unidade hidráulica o principal ponto de falha. Embora as ações sugeridas para otimizar o plano de manutenção e melhorar o controle de qualidade dos componentes tenham sido bem fundamentadas, o impacto dessas medidas ainda depende de uma implementação rigorosa e de um monitoramento contínuo. Dessa forma, a aplicação do perfil de perdas se revelou uma ferramenta valiosa para direcionar as ações de manutenção, possibilitando uma maior compreensão dos modos de falha e proporcionando uma base sólida para intervenções futuras que visem aumentar a confiabilidade e a eficiência operacional dos filtros prensa.

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusão

Este estudo teve como propósito a aplicação do perfil de perdas para reduzir paradas inesperadas dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro de uma empresa mineradora. Para atingir esse objetivo, foi utilizada uma base teórica que envolveu temas como manutenção, sistema de tratamento de falhas, Diagrama de Pareto e perfil de perdas. A análise foi realizada com base em um histórico de manutenção de 30 dias, observando as paradas por manutenção corretiva dos 11 filtros prensa do setor de filtragem de rejeitos da empresa mineradora. Foi possível identificar qual filtro obteve a maior somatória de paradas inesperadas, bem como os modos de falha associados, com destaque no modo de falha que gerou mais impacto na produção mensal do filtro.

O estudo buscou responder a seguinte questão: Como a aplicação do perfil de perdas na manutenção de filtros prensa de rejeito pode reduzir paradas inesperadas dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de uma empresa mineradora?

A pesquisa começou com uma revisão bibliográfica para consolidar os conceitos necessários. Posteriormente, foram coletados os dados das paradas inesperadas dos filtros prensa gerados pelo Sistema MES. Em seguida, utilizando o software *Microsoft Excel*, os dados foram analisados e compilados. A partir desses dados, foram desenvolvidos os gráficos de Pareto, o que permitiu mapear qual dos 11 filtros prensa apresentou a maior somatória de paradas por manutenções corretivas e os modos de falha associados a esse filtro mapeado. Após a identificação do modo de falha que gerou mais impacto, foram feitas reuniões com os colaboradores envolvidos na operação do equipamento e aplicada a ferramenta dos 5 porquês, para identificar a causa raiz do modo de falha e elaborado um plano de ação para evitar a reincidência da falha.

Portanto, a aplicação do perfil de perdas mostrou ser uma ferramenta estratégica relevante para identificar as principais falhas que afetam a produtividade dos filtros prensa, possibilitando direcionar os esforços de manutenção para a implementação de medidas preventivas para impedir a reincidência das falhas. Embora o estudo não tenha demonstrado quantitativamente a redução de paradas inesperadas dos filtros prensa, ele contribuiu para uma melhor compreensão dos modos de falha nos filtros prensa e para a elaboração de estratégias

que, se aplicadas de corretamente, podem melhorar a eficiência operacional e a confiabilidade dos equipamentos a longo prazo.

## **5.2 Recomendações**

Com base no trabalho realizado, recomenda-se os seguintes estudos futuros:

- Otimização do Plano de Manutenção Preventiva Baseado no Perfil de Perdas;
- Ferramentas da Qualidade aplicadas para análise do Perfil de Perdas do setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro de uma empresa mineradora;
- Estudo da Manutenção Baseada na Condição aplicada à manutenção dos filtros prensa no setor de filtragem de rejeitos de minério de ferro.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

**ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462, Confiabilidade e Manutenibilidade - terminologia.** Rio de Janeiro, Nov/1994.

**BRAVIM, V. D.; SOUZA, M. S. Perfil de Perdas de Produção Relacionado a Falhas Elétricas: Estudo de Caso das Usinas de Pelotização da CVRD do Complexo de Tubarão.** 2007.

**CAMPOS, V. F. TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês).** São Paulo: INDG, 2004.

**CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

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

**FLOGIATTO, F. S.; RIBEIRO J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Industrial.** Ed. Elsevier. Rio de Janeiro. 2009.

**GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

**GUIMARÃES, N. C. Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas.** Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.

**ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control.** Asian Productivity Organization, 1986.

**JURAN, J. M. Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality Into Goods and Services.** Free Press, 1992.

**KARDEC, A.; NASCIF J. Manutenção: função estratégica.** 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

**KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção: função estratégica.** 4ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica 1**. 5. ed. - São Paulo: Atlas 2003.

LIKER, J. K. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. McGraw-Hill, 2004.

MARÇAL, R. F. M. **Um método para detectar falhas incipientes em Máquinas Rotativas baseado em Análise de Vibrações e Lógica Fuzzy**. 2000. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

MORO, N. **Introdução à gestão da manutenção**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – Florianópolis, 2007.

MOUBRAY, J. **RCM 2 - Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Brasileira. ed. São Paulo: Aladon Ltd, 2000.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance: second edition**. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NAPOLEAO, B. M. 5 Porquês. **Ferramentas da Qualidade**, 2019. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/5-porques/>. Acesso em: 17 set. 2024.

NETO, P. R.; CUTRIM, S. S; ROBLES, L. T. **Gestão da Manutenção no Tratamento de Perdas do Processo de Descarga de Minérios do Terminal Marítimo ponta da Madeira Vale**. 2012.

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

RAUSAND, M.; & HOYLAND, A. **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications**. Wiley-Interscience, 2004.

REASON, J. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Reino Unido: Taylor & Francis, 2016.

SANTOS, E. **5 principais indicadores de manutenção com MTBF e MTTR. 2017.** Disponível em:< <https://fieldcontrol.com.br/blog/processos/indicadores-de-manutencao/> >. Acesso em: 20 ago. 2024.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 2.d. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, N.; Brandon-Jones, A. **Operations and Process Management: Principles and Practice for Strategic Impact.** Reino Unido: Pearson Education Limited, 2018.

STELA, L. H.; DUARTE, J. C.; PEREIRA, C. O. Métodos de disposição dos rejeitos de minério de ferro alternativos ao método de barragens: uma revisão. **Revista Brasileira de Processos Químicos**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 34-45, 2020.

SUTHERLAND, K.; SUTHERLAND, K. S.; CHASE, G. **Filters and Filtration Handbook.** Países Baixos: Elsevier Science, 2011.

VILAÇA, A. F. **Perfil de Perdas no Processo da Moagem de uma Usina de Pelotização de Minério de Ferro: Estudo de Caso da Vale Tubarão.** Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica - Fundação de Assistência e Educação - FAESA. 2014

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva: Melhores práticas para eliminar falhas nos equipamentos e maximizar a produtividade.** Brasil: Falconi Editora, 2014.