



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



THIAGO HOLANDA LOTT

**Propostas de contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a
manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração**

**OURO PRETO - MG
2022**

THIAGO HOLANDA LOTT
thiago.lott@aluno.ufop.edu.br

**Propostas de contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a
manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração**

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

Professor orientador: DSc. Washington Vieira Luis da Silva

OURO PRETO – MG
2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L884p Lott, Thiago Holanda.

Propostas de contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração. [manuscrito] / Thiago Holanda Lott. - 2022.
78 f.: il.: color., gráf., tab..

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

1. Engenharia (Confiabilidade). 2. Manutenção. 3. Plano de ação - 5W2H. 4. Forno Secador. 5. Manutenção - Indicadores. 6. Falha - Probabilidade. I. Silva, Washington Luis Vieira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Thiago Holanda Lott

Proposta de contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um forno secador de uma empresa do setor de mineração

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

Aprovada em 03 de junho de 2022

Membros da banca

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

Washington Luis Vieira da Siva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/06/2022, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0351439** e o código CRC **2E239F5C**.

A Deus dedico mais esta etapa vencida,
meus pais, e tios pelo apoio e amor.

A toda minha família pela confiança.

A República VERDES MARES por todo
o aprendizado e amizade.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela graça da vida.

A minha mãe Renata por ser minha protetora, guerreira e sempre acreditar no meu potencial.

Ao meu pai Alexandre e minha irmã Natália pelo carinho familiar.

A minha namorada Ana Paula, pelo amor e incentivo.

Ao tio Anibal e tia Suzi por todo o apoio.

Ao meu orientador Washington, pela orientação e paciência neste trabalho.

A todos os professores que me moldaram até este momento, tanto pessoal como profissional.

A vida republicana de Ouro Preto, e todos os ensinamentos deixados, em especial a República Verdes Mares.

A Escola de Minas e UFOP pelo ensino público de excelência.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento, porque o conhecimento é limitado, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho apresenta propostas para melhoria do plano de manutenção de um forno secador de uma empresa no setor de mineração, que foram desenvolvidas a partir da aplicação dos principais conceitos da engenharia da confiabilidade na manutenção. Os métodos de pesquisa utilizados neste trabalho foram de cunho qualitativo, exploratório, bibliográfico e estudo de caso. Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os principais fundamentos e técnicas da manutenção centrada na confiabilidade, as quais permitiram a seleção das técnicas mais adequadas para serem aplicadas na elaboração das propostas de melhoria do plano de manutenção do equipamento. Assim, foram utilizadas as técnicas de análise de recorrência e classificação das falhas, estudo do impacto na produção pelo gráfico de Pareto, análise dos indicadores de Confiabilidade, Probabilidade de Falha e Curva da Banheira, com o objetivo de se verificar oportunidades de melhoria nos processos de eliminação de falhas e na monitoração da condição do ativo. Como resultado, foram mapeadas uma série de atividades a partir do método 5W2H, que será listado o Plano de Ação com uma escala de importância de cada atividade a ser desenvolvida, fornecendo uma visão sistemática e organizada para auxiliar a gestão dos recursos necessários para sua implementação no plano de manutenção do forno secador. E dessa maneira, são levantadas as principais propostas da pesquisa, que giram em torno da utilização das ferramentas de confiabilidade para análise de dados, tais quais foram utilizadas nesse estudo, Gráfico de Pareto, Distribuição Weibull, Probabilidade de Falhas e Confiabilidade. Também a identificação das principais razões das falhas do forno no período de mortalidade infantil, estudo RCA, identificação das falhas funcionais pelo FMECA e a inclusão dos testes de aceitações e critérios de inspeção no forno como parte dos planos de comissionamento.

Palavras-chave: Manutenção, Confiabilidade, Engenharia de Confiabilidade, Forno Secador.

ABSTRACT

This work presents several recommendations in order to improve the maintenance planning of a mining oven dryer, which was developed based on the main concepts of reliability engineering applied in the maintenance field. The research methods used in this work were qualitative analysis, exploratory and bibliographic researches and case study. A bibliographic review of the reliability-centered maintenance concepts and techniques was conducted as a first step, resulting in the selection of appropriate techniques for improving the proposed equipment maintenance plan. In this way, the techniques of analysis of recurrence and classification of failures, study of the impact on production through the Pareto chart, analysis of indicators of Reliability, Probability of Failure and Bathtub Curve were used, with the objective of verifying opportunities for improvement in fault elimination processes and asset condition monitoring. As a result, a series of activities were mapped from the 5W2H method, which will be listed in the Action Plan with a scale of importance of each activity to be developed, providing a systematic and organized view to help manage the resources necessary for its implementation. in the dryer oven maintenance plan. And in this way, the main research proposals are raised, which revolve around the use of reliability tools for data analysis, such as those used in this study, Pareto Chart, Weibull Distribution, Probability of Failures and Reliability. Also the identification of the main reasons for furnace failures in the infant mortality period, RCA study, identification of functional failures by the FMECA and the inclusion of acceptance tests and inspection criteria in the furnace as part of the commissioning plans.

Key-words: Maintenance, Reliability, Reliability Engineering, Drying Oven

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma tratamento de falhas.....	9
Figura 2 - Representação da falha funcional	15
Figura 3 - Exemplo de Curva da Banheira	18
Figura 4 - Fluxograma das etapas da metodologia de pesquisa.	23
Figura 5 – Linha de Produção do Niquel.....	27
Figura 6 - Visão tridimensional do secador.....	29
Figura 7 - Forno secador montado.....	29
Figura 8 - Desenho técnico do forno de secagem.....	30
Figura 9 – Suporte com a caixa de engrenagem.....	31
Figura 10 - Suporte montado	31
Figura 11 - <i>Boggies</i>	32
Figura 12 - Desenho representativo do tambor	33
Figura 13 - Tambor instalado no equipamento.....	33
Figura 14 - Ilustração do funcionamento da cadeia.....	34
Figura 15 - Cobertura da corrente	34
Figura 16 - Gráfico de Pareto	39
Figura 17 - Gráfico de Confiabilidade x Tempo	40
Figura 18 - Probabilidade de falha x Tempo	41
Figura 19 - Gráficos de taxa de falha	42
Figura 20 - Etapa do ciclo de vida do forno	43
Figura 21 - Gráficos de Probabilidade de falha e confiabilidade da corrente	44
Figura 22 - Curva da Banheira da corrente.....	44
Figura 23 - Gráficos de Probabilidade de Falha e Confiabilidade das malhas do secador.....	46
Figura 24 - Curva da Banheira das malhas do cassificador.....	46
Figura 25 - Compilado de gráficos dos roletes de encosto.....	48

Figura 26 - Curva da Banheira dos rolos de encosto.....	48
Figura 27 - Fluxograma das atividades da Engenharia de Confiabilidade.....	52
Figura 28 - Papel do engenheiro de confiabilidade.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da Manutenção	5
Tabela 2 - Tipos de Manutenção	8
Tabela 3 - Variável e Indicadores.....	24
Tabela 4 - Exemplo de tabela para coleta de dados.....	25
Tabela 5 - Estudo de confiabilidade	36
Tabela 6 - Principais modos de falha.....	37
Tabela 7 - Construção do gráfico de Pareto	38
Tabela 8 - Método 5W2H.....	50
Tabela 9 - Quadro de propostas e prioridades	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.2.1	Objetivo Geral	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Manutenção	4
2.2	Histórico da Manutenção.....	4
2.3	Os métodos da manutenção	6
2.3.1	Corretiva	6
2.3.2	Preventiva	7
2.3.3	Preditiva.....	7
2.4	As funções de apoio da Manutenção	9
2.4.1	Tratamento de Falhas.....	9
2.4.2	Planejamento	10
2.5	Gestão da Manutenção.....	10
2.6	Confiabilidade	11
2.6.1	Conceito.....	11
2.6.2	Evolução da Confiabilidade.....	13
2.6.3	Gestão da confiabilidade	14
	Fogliato (2009, p. 6) explica como funciona a gestão da confiabilidade:.....	14
2.7	Indicadores de Manutenção	16
	MTBF (<i>Mean Time Between Failures</i>) – Tempo Médio entre Falhas	16
	MTTR (<i>Mean Time to Recovery</i>) – Tempo Médio de Reparo	16
	MTTF (<i>Mean Time to Failure</i>) – Tempo Médio para Falha	16
	DF (Disponibilidade Física)	16
	Taxa de falhas.....	17
2.8	Curva da banheira.....	17
2.9	Gráfico de Pareto	18
2.10	Distribuição de Weibull.....	19
2.11	5W2H.....	19
2.12	Treinamento dos Funcionários	20

3	METODOLOGIA.....	21
3.1	Tipos de Pesquisa	21
3.2	Materiais e Métodos	22
3.3	Variáveis e Indicadores	24
3.4	Coleta de Dados.....	25
3.5	Tabulações de Dados	26
3.6	Considerações finais do capítulo	26
4	RESULTADOS.....	27
4.1	Características da Empresa/ Setor	27
4.2	Descrição do Equipamento	28
4.3	Diagnóstico do setor na visão da Engenharia de Confiabilidade	35
4.3.1	Premissas	35
4.3.2	Modos de falhas	35
4.3.3	Definição da estratégia de manutenção	43
4.3.4	Plano de Ação	49
4.3.5	A Engenharia de Confiabilidade envolvida no estudo da manutenção do forno	52
4.4	Propostas das contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador.....	53
5	CONCLUSÃO.....	58
5.1	Conclusão	58
5.2	Recomendação para trabalhos futuros	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

No cenário atual, em âmbito corporativo, ter uma boa gestão de manutenção é de fato uma característica diferencial de cada grande negócio, onde a competitividade exige o mínimo de falhas possíveis. A empresa a ser estudada atua no setor de mineração diversificada, possuindo diversas atividades na área de vendas, produção, logística, manutenção industrial, entre outras. A área de Manutenção é muito importante, pois seu principal objetivo é manter a disponibilidade dos equipamentos, gerenciar os recursos e eliminar os defeitos das máquinas.

De acordo com a NBR 5462 *apud* Gregório (2018, p.14), manutenção pode ser definida como “um conjunto de ações técnicas e administrativas com o objetivo de manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Além disso, Gregório (2018) destaca que desempenhar uma função exigida significa eliminar falhas e/ou defeitos de determinados componentes, subsistemas e sistemas.

Para que a manutenção possa realizar suas atividades com segurança, eficiência e com menos riscos, utiliza-se a confiabilidade, como uma estratégia de negócio com melhores técnicas e melhores interpretações das análises de dados.

Assim, em concordância com Souza *apud* O'Connor (1999, p.15), “a confiabilidade como uma probabilidade significa que qualquer esforço a fim de quantificá-la requer a utilização de métodos estatísticos”. Ou seja, se baseia na estimativa de risco, cálculo de probabilidade e prevenção de falhas durante o período de vida útil de algum produto. Sendo assim, de grande valia para um melhor entendimento dos conceitos de Manutenção Mecânica, ela pode contribuir em muitas etapas, como na resolução de falhas e como maximizar benefícios de manutenção preventiva e preditiva.

Para Salgado (2008, p. 26), a Engenharia de Confiabilidade:

Desenvolve e executa programas com foco na modelagem e análise, predição e otimização de confiabilidade, considerando aspectos ambientais e operacionais. Assim, ela presta suporte a programas de gestão de riscos e gera informações de confiabilidade a serem utilizadas em programas de manutenibilidade e logística integrada.

Em uma conceituação probabilística, segundo Fogliato (2009, p.6), os conceitos primordiais relacionados com a confiabilidade são: qualidade, disponibilidade,

manutenibilidade, segurança e confiança. E são determinados nessa sequência, tendo como referência o texto das normas NBR ISO-8402 (1994) e 5462 (1994).

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD 2002) a mineração está entre os setores básicos da economia do país, que contribui de forma positiva para o bem-estar e a evolução da qualidade de vida das gerações, desde que seja operada com responsabilidade social e zelando o desenvolvimento sustentável. Desse modo, é preciso conhecer os impactos de todas as áreas e os desafios para que a Engenharia de Confiabilidade consiga contribuir para o tema.

Assim, há a suposição de que para itens de alta rentabilidade e planejamento de manutenção, a confiabilidade aplicada à manutenção é um dos métodos que fornece efeitos monetários e funcionais satisfatórios, e que podem ser aplicadas em áreas abundantes, como siderúrgica, automobilística, aeronáutica, alimentícia e principalmente na mineração, para o qual este estudo será aplicado.

Na esfera da mineração, existem diversos equipamentos de grande expressão na produção e, conseqüentemente, na lucratividade das corporações. Uma máquina importante para o processo é o Forno Secador que por sua vez é um equipamento essencial nas indústrias, com a finalidade de secagem de grãos do componente sólido e aquecimento por convecção. A falha ou interrupção da atividade dessa máquina pode acarretar grandes transtornos para o bom andamento da produção da empresa provocando danos na rentabilidade.

Diante da circunstância evidenciada e de acordo com a magnitude da manutenção frente ao cenário de redução de falhas e conseqüente produção a baixo custo, questiona-se:

Como propor contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração?

1.2 Justificativa

O atual cenário competitivo e tecnológico das corporações, exige um melhor controle e uma melhor gestão das informações de cada área do setor. Em paralelo a isso, a implementação da engenharia de confiabilidade tem como intuito proporcionar qualidade, disponibilidade, segurança e confiança no estudo das falhas, provenientes desse processo.

Na atividade de Mineração diversificada, a função do equipamento Forno Secador é essencial para o andamento da mina e das suas principais funções na Planta de Secagem. E, a engenharia de confiabilidade contribui para análise de dados e princípios de tomada de

decisão. Contudo, para tal visualização de dados, deve-se ter um estudo probabilístico dos processos.

Segundo Falcetta (2000) os componentes utilizados em um processo, suas qualidades, desempenhos e aplicações têm efeito direto no desempenho geral do sistema. Portanto, devem ser analisadas a importância e confiabilidade de cada componente, para que seja possível a avaliação da confiabilidade global do produto ou do sistema em questão.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo bibliográfico sobre: Manutenção, Confiabilidade, Engenharia de Confiabilidade;
- Elaborar um procedimento metodológico para compreender como o setor aplica a Engenharia de Confiabilidade;
- Aplicar o procedimento metodológico no setor estudado para analisar o equipamento selecionado;
- Comparar os dados obtidos com a base teórica para propor contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco etapas. A primeira contempla introdução, justificativa para realização do trabalho, objetivos gerais e específicos. A segunda apresenta a fundamentação teórica sobre conceito e definição de Manutenção, Engenharia de Confiabilidade, Mineração, Forno Secador. A terceira etapa demonstra as metodologias utilizadas para a pesquisa, e as propostas para realizá-la. A quarta expressa os resultados obtidos a partir dos processos metodológicos seguidos. Na quinta etapa, são apresentadas as conclusões do trabalho e recomendações para futuras pesquisas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado o embasamento teórico estudado para inicialização do trabalho. Os conceitos aqui apresentados serão referenciados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Manutenção

O conceito de manutenção pode ser descrito em diversas formas diferentes, assim como Xenos (1998) cita em sua obra o conceito de manutenção em dois modos distintos, sendo uma delas vinculado ao dicionário Aurélio (2007). No qual a manutenção é definida conforme Xenos (*apud* AURÉLIO, 2007) que as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de algum equipamento ou de alguma condição, ou ainda as cautelas técnicas indispensáveis ao funcionamento regular e constante de motores e máquinas”.

O outro conceito de Xenos (*apud* NBR 5462, 1994), de maneira que é determinado pela “combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Viana (2002) associa o significado de manutenção com o latim que vem do termo *manus tenere*, que expressa manter o que se tem.

Dessa maneira, percebe-se que além dos conceitos apresentados por Xenos (1998), Aurélio (2002) e Viana (2002), existem diversas maneiras de definir a manutenção, sendo que a maioria possui um enfoque nos aspectos corretivos, preventivos e conservativos da atividade. De acordo com Costa (2013), é interessante a observação das mudanças mais recentes, na qual foram inclusas nas definições as questões dos aspectos humanos, sobre custos e a confiabilidade da função manutenção e assim a consequência do aumento da importância e responsabilidades do setor dentro das organizações.

2.2 Histórico da Manutenção

Segundo Ramos (2012), durante muito tempo, desde meados do século XX, a manutenção sofreu grandes mudanças e significativas transformações, o que a tornou definitivamente mais complexa e fazendo com que o ambiente corporativo buscasse cada vez mais um melhor entendimento para eficiência de produção, e assim o desenvolvimento da corporação.

Ainda, conforme apontado por Ramos (2012), no modelo atual, existe uma competitividade muito forte no mercado, no que tange ao modelo operacional de eficiência da manutenção, sendo decisivo na sobrevivência das empresas no mercado, pois esse ponto está ligado à exigência de um alto padrão de inovação, diversidade e melhoria contínua pelo meio de uma crescente flexibilidade e eficiência dos seus processos, mediante a qualidade dos seus produtos e a satisfação dos clientes. Dessa maneira, a evolução tecnológica, fomentou as necessidades de facilitar a comunicação interna das empresas, dentre os vários departamentos e setores, em todas as fases de um projeto, ligando a qualidade à produção e à segurança. Dessa forma, a manutenção assume um papel primordial no projeto, pois ela tem a capacidade de evitar ou agilizar a resolução de futuros problemas.

Segue a tabela 1, uma linha do tempo com o cronograma de evolução das gerações em relação ao setor manutenção das empresas.

Tabela 1 - Evolução da Manutenção

Geração	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração	Quinta Geração
Ano	Anos 40 e 50	Anos 60 e 70	Anos 80 e 90	2000 a 2010	2010 a 2020
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidade crescente Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> Maior Disponibilidade Maior Confiabilidade Melhor Relação custo-benefício Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> Maior Disponibilidade Maior Confiabilidade Gerenciar ativos Preservação do meio ambiente Segurança Influir nos resultados dos negócios 	<ul style="list-style-type: none"> Gerenciar ativos Otimizar os ciclos de vida dos ativos Influir nos resultados dos negócios
Visão quanto à folha de ativo	<ul style="list-style-type: none"> Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham 	<ul style="list-style-type: none"> Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 	<ul style="list-style-type: none"> Existência de 6 padrões de falhas 	<ul style="list-style-type: none"> Reduzir drasticamente falhas prematuras 	<ul style="list-style-type: none"> Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas
Mudanças nas técnicas de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> Planejamento Manual da manutenção Computadores grandes e lentos Manutenção preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento da condição Manutenção preditiva Análise de risco Computadores pequenos e rápidos Software potentes Grupos de trabalho disciplinares Projetos voltados para a confiabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição Redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada Análise de falhas Técnicas de confiabilidade Manutenibilidade Contratação por resultados Projetos voltados para a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição online e offline Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção de ativos Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência Implementar melhorias objetivando redução de falhas Excelência em engenharia da manutenção Consolidação da contratação por resultados

Fonte: Kardec e Nssif (2009)

A tabela 1 elucida a evolução da manutenção, com uma linha do tempo de acordo com as gerações, em relação à expectativa, função, técnicas e métodos que foram aprimorados.

2.3 Os métodos da manutenção

2.3.1 Corretiva

De acordo com Silva (*apud* Nunes, 2019) a manutenção corretiva é todo o trabalho de manutenção feito em seguida de uma falha de um equipamento, tendo em vista restabelecê-lo à sua função requerida, eliminando a falha. Sendo assim, a manutenção corretiva é subdividida em dois tópicos: paliativa e curativa. A paliativa representa as intervenções corretivas desempenhadas temporariamente, a fim de colocar o equipamento em funcionamento, para, a seguir prosseguir com o reparo definitivo. Já a curativa consta as intervenções comuns de reparo em caráter definitivo, a fim de restabelecer o equipamento à fruição requerida (NUNES, 2001).

De acordo com a NBR 5462 *apud* Viana (2002, p.10) a Manutenção Corretiva é definida como “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”.

Diante disso, percebe-se que é a forma mais simples e mais primitiva de manutenção, de acordo com Slack et al. (2002, p. 625) “significa deixar as instalações seguirem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é feito só após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”.

Conforme Almeida (2000, p. 2), “poucas plantas industriais utilizam a filosofia de gerência por manutenção corretiva, pois em quase todos os casos, as plantas industriais exercem tarefas preventivas básicas, como lubrificação e ajustes da máquina”. Mas, o importante é que ao adotar esse tipo de filosofia, as máquinas e equipamentos da planta não são revisados e não passam por grandes reparos até a falha.

Xenos (1998, p.23) elucida que mesmo a manutenção corretiva ser escolhida por ser mais vantajosa, não se pode conformar com a ocorrência de falhas como um evento já esperado e natural. No qual deve-se esforçar para identificar precisamente as causas fundamentais da falha para bloqueá-la, evitando assim a sua reincidência.

2.3.2 Preventiva

Pode-se conceituar a Manutenção Preventiva como todo serviço de manutenção feito em equipamentos que não estejam em estado de falha, situando em um estado sem defeito e em condições perfeitas de operação. Entretanto, são serviços efetuados em intervalos pré-determinados ou de acordo com alguns critérios prescritos, com o objetivo de diminuir a chance de ocorrência da falha, assim proporcionando uma certa imperturbabilidade operacional de suma importância para uma ótima execução dos exercícios produtivos. (VIANA, 2002).

Segundo Almeida (2000, p.3) “todos os programas de gerência de manutenção preventiva assumem que as máquinas degradarão com um quadro típico de sua classificação em particular”. Logo, os reparos e as restaurações das máquinas, na maioria das vezes são planejados a partir de cálculos estatísticos, sendo a mais largamente usada a curva do tempo médio para falha.

De acordo com Kardec e Nascif (2009, p.58), a Manutenção Preventiva:

Como nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para a adoção nos planos de manutenção preventiva, além das condições operacionais e ambientais influírem de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação em particular ou no máximo utilizando parâmetros de plantas similares operando em condições também similares.

A manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa. Ela abrange algumas tarefas sistemáticas, tais como as inspeções, reformas, trocas de peças, principalmente. Apesar de ter um custo mais elevado quando comparado à manutenção corretiva, a frequência da ocorrência das falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e diminuem as interrupções inesperadas da produção. Dessa maneira, ao comparar o custo total entre manutenção corretiva e preventiva, fica evidente que a preventiva tem custo menor (XENOS, 1998).

2.3.3 Preditiva

É a manutenção que adota acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando a definição do instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (OTANI & MACHADO, 2008).

Viana (2002) determina que a Manutenção Preditiva é um conjunto de tarefas de manutenção preventiva que visam o acompanhamento da máquina ou das peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha. O objetivo, portanto, é a determinação com exatidão, do tempo necessário para realizar a intervenção, o que vai evitar desmontagens para inspeção e a utilização do componente até o máximo de sua vida útil.

De acordo com Xenos (1998 p.25), o uso de tecnologia avançada permitiu com que a Manutenção Preditiva seja tratada de forma diferenciada dentro das empresas, por possuir um preço elevado. Porém as técnicas de Manutenção Preditiva devem ser praticadas pelas corporações, por ser um método bastante eficaz e que traz bons resultados.

Almeida (2000, p. 4) ainda salienta a diferença entre a manutenção corretiva e a preditiva:

Talvez a diferença mais importante entre manutenção reativa e preditiva seja a capacidade de se programar o reparo quando ele terá o menor impacto sobre a produção. O tempo de produção perdido como resultado de manutenção reativa é substancial e raramente pode ser recuperado. A maioria das plantas industriais, durante períodos de produção de pico, operam 24 horas por dia. Portanto, o tempo perdido de produção não pode ser recuperado.

A tabela 2 ilustra o resumo dos três tipos de manutenção:

Tabela 2 - Tipos de Manutenção

Tipos	Definição	Características
Manutenção Corretiva	Correção do equipamento logo após sua falha	<ul style="list-style-type: none"> • Menos capacidade de previsibilidade quanto a paradas dos equipamentos, cumprimento de prazos etc.; • Método mais economicamente viável e vantajoso a curto prazo; • Maior perda da produtividade.
Manutenção Preventiva	Correção planejada com datas previamente estabelecidas	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade nos prazos e sistema de produção estabelecido; • Redução no número de intervenções corretivas/falhas; • Eliminação do tempo de espera para conserto.
Manutenção Preditiva	Correção do equipamento a partir da observação das variáveis do equipamento (temperatura, pressão etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Maior qualidade do serviço através da análise sistemática das condições do equipamento; • Aumento no tempo entre as intervenções; • Eliminação do tempo de espera para conserto.

Fonte: Lamas (2021)

A tabela 2 demonstra as definições e características de cada tipo de manutenção, demonstrando como elas atuam nos equipamentos e em cada caso, qual será o método mais eficaz de se utilizar.

2.4 As funções de apoio da Manutenção

2.4.1 Tratamento de Falhas

Segundo Xenos (1998), o tratamento de falhas é um conjunto de atividades de remoção dos sintomas de falhas e identificação das causas fundamentais para estabelecer as contramedidas adequadas. Sendo incluso também o registro e análise dos dados sobre as falhas dos equipamentos, permitindo a identificação de forma objetiva quais são os tipos de falhas recorrentes.

De acordo com Fabro *apud* Oliveira *et all* (2010), as falhas são não conformidades nas tarefas de uma empresa, sendo necessário a busca por pesquisas sobre o assunto, com o objetivo de obter maior controle e prevenção de falhas na linha de produção. Existem diversas técnicas de tratamento de falhas que abordam o assunto, como Análise de Modo e Efeito de Falhas (FMEA), Análise da Árvore de Falhas (FTA), Método dos Por quês, Plano de Ação (FCA) e Diagrama de Causa e Efeito. Cada uma das técnicas possui seus potenciais e benefícios para análise e controle de falhas.

A figura 1 demonstra o fluxograma do tratamento de falhas:



Figura 1 - Fluxograma tratamento de falhas
Fonte: Fabro *apud* Carvalho et al. (2009)

A representação do sistema identificado na Figura 1 permite a instrução das equipes de manutenção a buscar as causas fundamentais das falhas e estabelecer medidas eficazes, conforme demonstrou Xenos (1998).

2.4.2 Planejamento

Segundo Viana (2002), o gerenciamento da manutenção obteve seu desenvolvimento a partir do avanço na melhoria do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), na qual foi permitida a implementação de diversos recursos para auxiliar na busca por um melhor desempenho, através da redução de tempo, materiais e custos com mão de obra. Sendo assim, a organização é beneficiada em todas as áreas, sendo mantido o volume de produção dentro do planejado. Logo, a produção engloba a manutenção e a operação na qual ambas estão no mesmo nível hierárquico em uma organização.

Os planos de manutenção devem ser feitos diante da recomendação do fabricante do equipamento, de acordo com necessidades e realização de inspeções. Com o intuito de detectar os modos e efeitos de falhas, devem ser executados planos de inspeções visuais, planos de intervenção preventiva, monitoramento dos equipamentos, troca de itens de desgaste e roteiro de lubrificação (VIANA, 2002).

De acordo com Xenos (1998, p.29), sobre o planejamento da manutenção:

O planejamento da manutenção pode ser entendido como as ações de preparação dos serviços de manutenção preventiva, que define quando as ações serão executadas. Envolve a distribuição dos serviços de manutenção em um determinado período, bem como a previsão de mão-de-obra, materiais e ferramentas necessários. O planejamento das ações preventivas permite o dimensionamento correto destes recursos, dando previsibilidade ao processo de manutenção.

2.5 Gestão da Manutenção

A gestão da manutenção procura buscar a consolidação de rotina focado na melhoria contínua das atividades realizadas em uma empresa, explorando sempre aumentar a confiabilidade, segurança e disponibilidade dos equipamentos, a fim de fazer com que a empresa busque ser competitiva no mercado com a melhoria dos resultados e aproveitamento máximo de todos os recursos disponíveis no ambiente de trabalho (GAIO, 2016).

De acordo com Kardec e Nascif (2009), para a prática de uma boa gestão de manutenção é necessário a elaboração de planos de manutenção e inspeção, realização de análises, aplicação do tratamento de falhas, capacitação e o treinamento dos colaboradores.

2.6 Confiabilidade

2.6.1 Conceito

Confiabilidade, segundo Claro *apud* NASA (2000), é a probabilidade de que um elemento irá resistir a um determinado intervalo de funcionamento, nos termos especificados de condições de funcionamento, sem avarias. A probabilidade condicional de falha mede a probabilidade em que um determinado item, ao entrar em uma determinada idade ou intervalo, irá falhar durante esse período. Se a probabilidade condicional de falha aumenta com a idade, o item mostra características de desgaste. A probabilidade condicional de falha reflete o efeito negativo global da idade sobre a confiabilidade.

Pela NBR 5462 (1994) é definido a confiabilidade pela “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.”

Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que os índices de confiabilidade devem obter valores entre 0 e 1 (ou 0 e 100%), porque estes podem ser definidos como uma probabilidade. Dessa maneira, os principais conceitos vinculados à probabilidade, podem ser adotados também para confiabilidade.

Para Santos *apud* Firmino (2004), a confiabilidade é uma ferramenta que proporciona e facilita a preparação de estratégias de manutenção e a partir do estudo da Engenharia de Confiabilidade é possível adequar as atividades de manutenção ao longo do tempo, de acordo com as variações no desempenho do item em questão.

Segundo Kardec e Nascif (2009), pode-se calcular a confiabilidade de um item utilizando a Expressão (1), de acordo com a distribuição exponencial (taxa de falha constante):

$$R(t) = e^{-(\lambda * t)} \quad (1)$$

Em que: $R(t)$ = confiabilidade a qualquer tempo t ;

e = base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$);

λ = taxa de falhas (número total de falhas por período de operação);

t = tempo previsto de operação.

Alguns conceitos indispensáveis devem ser apresentados, para que o conceito da confiabilidade possa ser entendido com clareza. Os autores Kardec e Nascif (2009) e Fogliatto e Ribeiro (2009) citam e explicam esses conceitos, são eles: função requerida, qualidade, dependabilidade, condições definidas de uso, segurança, intervalo de tempo e desempenho.

1) Função Requerida: é o limite de admissibilidade abaixo do qual a função não é mais satisfatória. Ou seja, é cumprir o propósito pré-estabelecido para cumprir a tarefa esperada (KARDEC e NASCIF 2009);

2) Qualidade: segundo afirmam Fogliatto e Ribeiro (2009), a qualidade é conceituada pela totalidade de atributos e aspectos de um determinado produto ou serviço, que fazem com que seja atingido o contentamento no uso daquele serviço ou produto, ou ainda, a qualidade pode ser declarada pelo cumprimento a especificações de projeto e uma manufatura com menor variabilidade possível;

3) Dependabilidade: também conhecido como confiança, é um conceito atrelado e análogo à confiabilidade. Porém o termo dependabilidade (ou confiança) está mais associado a uma definição mais abrangente e não de forma particular como a probabilística de confiabilidade, como afirmam Fogliatto e Ribeiro (2009);

4) Condições Definidas de Uso: Kardec e Nascif (2009) definem as condições definidas de uso como: “as condições operacionais às quais o equipamento está submetido”. Os autores reiteram ainda que as condições de uso é a forma como o equipamento é operado, assim a má operação compromete a uma queda de sua confiabilidade;

5) Intervalo de Tempo: período definido e mensurado fazendo com que a confiabilidade varie de acordo com esse intervalo (KARDEC e NASCIF, 2009);

6) Desempenho e falha: o equipamento é projetado de acordo com uma função básica que irá desempenhar. O desempenho de todo e qualquer equipamento pode ser subdividido em: Desempenho Inerente e Desempenho Requerido. O primeiro se diz respeito ao desempenho que o equipamento é capaz de fornecer. Já o segundo se trata do desempenho que o usuário quer obter do equipamento, como explicitam Kardec e Nascif (2009). Segundo os autores, a manutenção tem a capacidade de restaurar o desempenho inerente do equipamento e quando o equipamento não apresenta o desempenho o papel previsto;

2.6.2 Evolução da Confiabilidade

Segundo Silva *apud* Fogliatto e Ribeiro (2009), a concepção de confiabilidade obteve uma importância significativa durante o período após o término da Primeira Grande Guerra, época em que o conceito foi usado para relacionar estudos na indústria aeronáutica. A partir desse momento, na Segunda Grande Guerra esse significado de confiabilidade foi utilizado para corrigir as falhas e analisar o sistema operacional dos mísseis.

Ainda, segundo Silva (2009), depois disso, no fim dos anos 50 e início dos anos 60, com a Guerra Fria, os EUA tiveram seus interesses centrados na corrida armamentista e avanço tecnológico. À vista disso, surge em 1963 a primeira associação reunida por engenheiros de confiabilidade, quando muitos materiais relacionados à confiabilidade foram publicados (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Kardec e Nascif (2009) reiteram que o grupo de estudo fundado para o desenvolvimento de confiabilidade concluiu duas teorias, são eles:

- Se um item não possui um modo predominante e característico de falha, revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade.
- A prática de manutenção preventiva é ineficaz para muitos itens.

De acordo com Santos (2017), o campo da confiabilidade se desenvolveu muito, ao longo dos anos, em várias áreas, como confiabilidade mecânica, confiabilidade humana, confiabilidade de software, otimização de confiabilidade, engenharia da manutenção e engenharia de confiabilidade. Tal desenvolvimento, se deu em função dos fatores que influenciam nos riscos específicos dos processos, como a complexidade dos sistemas, a necessidade de redução de custos, as considerações e legislações de segurança, estando a Engenharia da Confiabilidade, em constante evolução como reflexo à necessidade de controle desses riscos.

2.6.3 Gestão da confiabilidade

Fogliato (2009, p. 6) explica como funciona a gestão da confiabilidade:

Um programa integrado de confiabilidade compreende o estabelecimento de práticas e procedimentos para gerir a confiabilidade nas seguintes fases da vida de um produto: (i) projeto e desenvolvimento, (ii) manufatura e instalação, (iii) operação e manutenção e (iv) descarte, quando encerra a vida operacional do produto. A gestão da confiabilidade demanda a existência de um programa de confiabilidade e da definição das tarefas e elementos desse programa.

Dessa maneira, um programa de confiabilidade vai definir a estrutura organizacional, responsabilidades, procedimentos, processos e recursos utilizados na gestão da confiabilidade. Assim, a implantação bem-sucedida de um programa de gestão da confiabilidade demanda um grupo dedicado exclusivamente para esse fim. Enfim, para realizar o monitoramento do desempenho de confiabilidade do sistema, é necessário que o grupo monte um sistema eficiente de coleta e análise de dados, que permita a construção de uma base histórica de dados de confiabilidade na empresa (FOGLIATO, 2009).

Através da Engenharia de Confiabilidade, o gerenciamento da manutenção se torna mais fácil no quesito de planejamento. Dessa forma, torna-se necessário no processo de gerenciamento, a identificação prévia das causas de paradas não programadas no processo produtivo e nos equipamentos (MATHEW, 2004).

Conforme Santos (2017), a Engenharia de Confiabilidade é uma ferramenta de estratégia, que permite uma melhor gestão da manutenção, da confiabilidade e manutenibilidade dos ativos, sendo essencial para garantia de bons resultados, atendendo as demandas do mercado e melhorando a competitividade da organização.

De acordo com Santos *apud* Kardec & Nascif (2009), a Engenharia de Confiabilidade permite suas ferramentas por meio de uma sistemática conhecida, aplicar uma estratégia de manutenção de acordo com as características da ocorrência e recorrência das falhas. Para escolha da melhor estratégia em cada caso, é necessário conhecer os métodos de manutenção e entender o padrão de tipos de curvas de falha usuais.

Para a melhor compreensão da Confiabilidade, é preciso entender os conceitos de falha funcional, que segundo Lucatelli *apud* (Moubray, 1997) é “a incapacidade de qualquer item em executar uma função a um padrão de desempenho aceitável pelo usuário”, demonstrado na figura 2.

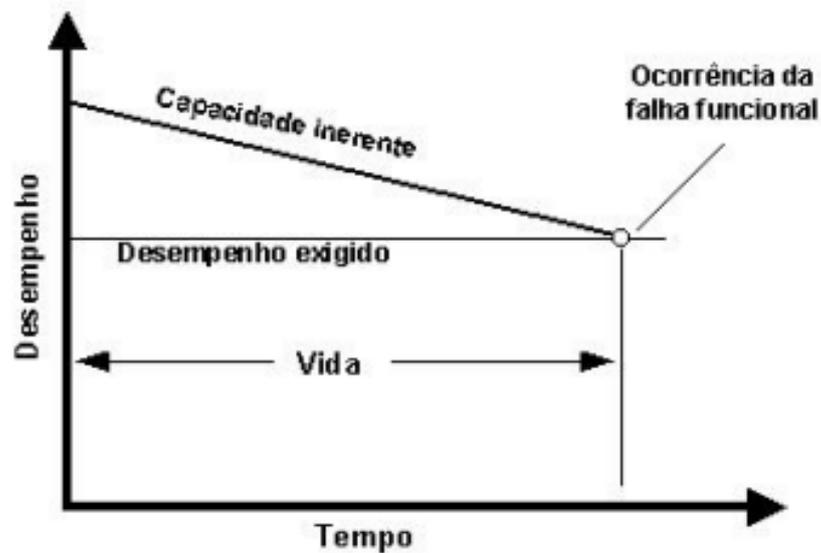


Figura 2 - Representação da falha funcional
Fonte: Lucatelli (2002)

Diante das considerações feitas em relação às consequências de falha funcionais, de acordo com Lucatelli (2002), ela foi dada primeiramente por Nowlan e Heap, em 1978, com os quais as classificaram em quatro categorias (MOUBRAY, 1997), sendo elas:

- Consequências de falhas ocultas: essas falhas em si não são aparentes em condições normais de operação, elas não têm impacto direto, mas expõem a organização a falhas múltiplas ou catastróficas; muitas vezes associadas a dispositivos e sistemas de proteção
- Consequências de Segurança e Ambientais - Falhas que possam de alguma forma ferir, machucar ou causar a morte de um trabalhador ou de alguma forma causar violação de determinadas normas ambientais, sejam corporativas, regionais, nacionais ou internacionais.
- Consequências operacionais: além dos custos diretos de reparo, essas falhas podem afetar os recursos operacionais, a produção, a qualidade do produto e os custos operacionais.
- Consequências não operacionais - São falhas óbvias que envolvem apenas custos diretos de reparo ou consequências secundárias e não representam riscos ambientais e de segurança.

2.7 Indicadores de Manutenção

Os indicadores de manutenção surgem na rotina industrial a partir da necessidade de controle e acompanhamento das metas estabelecidas na manutenção, com indicadores dos pontos de melhorias e de perdas no processo (VIANA, 2002).

Segundo o Viana (2002) segue abaixo alguns principais indicadores:

MTBF (*Mean Time Between Failures*) – Tempo Médio entre Falhas

Calculado a partir do quociente entre o tempo em horas em que o equipamento estava disponível para operação (HD) e do número de eventos corretivos (NC) no período considerado. Ou seja, quanto maior MTBF, menor o número de intervenções corretivas e consequentemente maior tempo de disponibilidade do equipamento para operação.

$$MTBF = HD/NC \quad (2)$$

MTTR (*Mean Time to Recovery*) – Tempo Médio de Reparo

Calculado a partir do quociente entre o tempo em horas que o equipamento esteve em manutenção (HIM), e o número de intervenções corretivas (NC) no período considerado. Logo, o MTTR é o andamento da manutenção, de modo que quanto menor MTTR, menor o número de intervenções corretivas.

$$MTTR = HIM/NC \quad (3)$$

MTTF (*Mean Time to Failure*) – Tempo Médio para Falha

Calculado a partir do quociente entre o tempo em horas que o equipamento esteve disponível para operação (HD) e do número de falhas não reparáveis no período considerado. Logo o TPMF é dado pela equação:

$$TPMF = HD/ n^{\circ} \text{ de falhas} \quad (4)$$

DF (Disponibilidade Física)

Nada mais é do que o tempo total em horas que o equipamento esteve disponível para operação no período considerado. Calculado a partir do quociente entre horas totais trabalhadas (HT) e as horas totais do período (HG), multiplicado por 100.

$$DF = (HT/HG) \times 100\% \quad (5)$$

Taxa de falhas

Segundo Silva *apud* NBR 5462 (1994), a falha “é o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Desse modo, a falha pode ser definida como a incapacidade de satisfazer as atividades projetadas para o equipamento, pelo motivo da diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça.

Quanto maior o número de falhas, menor será a confiabilidade de um item (XENOS, 1998).

Kardec e Nascif (2009, p.128) determinam o cálculo da taxa de falhas como “o número de falhas por unidade de tempo e se manifesta em unidades de falha por milhão de horas”. Pode ser representada pela letra λ e sua equação é:

$$\lambda = \text{Número de falhas} / \text{Número de horas por operação} \quad (6)$$

A equação pode ser representada, também, de outra forma para encontrar a taxa de falhas, que é:

$$\lambda = \text{Número de falhas} / [(\text{unidades testadas}) \times (\text{número de horas de teste})] \quad (7)$$

Segundo Xenos (1998), a ocorrência de falhas pode ocorrer de três maneiras distintas:

- Crescente: A chance de ocorrência de falhas aumenta à medida que o equipamento envelhece. Exemplo: fadiga, corrosão e desgaste.
- Decrescente: Característica de equipamentos pelos quais a confiabilidade aumenta com o tempo, como no caso da melhoria de equipamentos, o que acarreta a substituição dos componentes e peças por outros mais confiáveis.
- Constante: É dado por falhas causadas por eventos aleatórios, implicando a aplicação de esforços que excedem a resistência do equipamento, ou seja, a probabilidade de tais ocorrências não tende a variar à medida que o equipamento envelhece.

2.8 Curva da banheira

O efeito combinado dos três modelos de falhas permite a formação do modelo conhecido como curva da banheira, assim como demonstrada na figura 3, relacionado ao fato

do seu formato. É válida por uma série de componentes elétricos, mecânicos e sistemas, sendo determinada a partir de estudos estatísticos (XENOS, 1998; KARDEC e NASCIF, 2009).

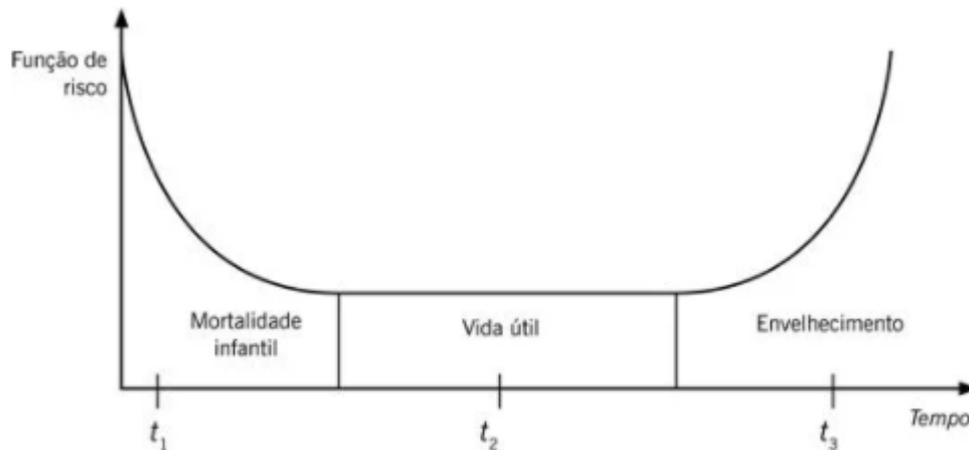


Figura 3 - Exemplo de Curva da Banheira
Fonte: Fogliato (2009)

As deficiências no processo de manufatura de um produto levam a falhas precoces, que se concentram no início de sua vida, na chamada fase de mortalidade infantil. As falhas que ocorrem na fase de vida útil do produto devem-se normalmente a condições extremas no ambiente de operação do produto e podem acontecer, uniformemente, em qualquer momento no tempo. Finalmente, a deterioração do produto frequentemente leva a falhas por desgaste, concentradas no final da vida útil do produto, na fase de envelhecimento. (FOGLIATO, 2009)

2.9 Gráfico de Pareto

Conforme dito por Lins (1993), o gráfico de Pareto leva esse nome porque foi desenvolvido por um economista italiano chamado Vilfredo Pareto, o qual percebeu que os processos industriais e a administração em geral demonstram semelhança nos problemas e assim identificou as seguintes características nos problemas sócio-econômicos:

- a) Poucas causas principais influíam fortemente no problema;
- b) Havia muitas causas triviais, pouco importantes, que influíam marginalmente no problema.

Portanto, Lins (1993) ainda afirma que no gráfico de Pareto, cada causa é quantificada em termos da sua contribuição para o problema e colocada em ordem decrescente de influência ou de ocorrência.

As informações demonstradas através do diagrama de Pareto permitem determinar e estabelecer as metas numéricas possíveis de serem alcançadas (WERKEMA,1995).

2.10 Distribuição de Weibull

A Distribuição de Weibull, conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), é um instrumento muito importante para a execução de modelagem de confiabilidade, na qual é possível observar a representação de uma grande variedade de amostras de tempos até a falha. Ademais, que ela é adequada para modelar o período até a falha, revelando as funções de risco constante, sendo elas crescente ou decrescente.

Segundo Sellito, *et all* (2002), pode-se dizer que a análise de Weibull garante a:

- Coleta de amostras de tempos até a falha do componente;
- Plotagem dos tempos em virtude da probabilidade, com o auxílio de softwares estatísticos e estimativa de seus parâmetros.
- Observância dos modos de falha.
- Utilização de cálculos envolvendo custos e riscos para gerar ações corretivas como políticas de inspeção, reparos ou trocas.

2.11 5W2H

Conforme Rabelo *apud* Coutinho (2020), o 5W2H é uma ferramenta utilizada para compreender uma problemática ou oportunidades de melhoria através de sete perguntas chave. Tem a sua origem japonesa, e foi criada para projetos de gestão por profissionais que realizavam estudos de qualidade, sendo que atualmente ela é empregada nos mais variados projetos empresariais.

Destaca-se que as perguntas utilizadas no método 5W2H podem ser descritas como:

- What (O quê?): local destinado a ser anotado a descrição do que se trata o problema;
- Where (Onde?): neste espaço, deverá ser registrada a informação do local envolvido o problema;
- When (Quando?): informação destinada ao período da atividade, relacionado ao prazo para resolução, as datas de entrega e o cronograma para cumprir o objetivo do projeto;

- Why (Por quê?): nesta fase, deverá ser inserido o motivo pelo qual resolver este problema ou atingir a meta proposta é importante;
- Who (Quem?): quem é ou são os responsáveis pela solução deste problema ou oportunidade de melhoria, qual é a equipe encarregada para resolução;
- How (Como?): quais as etapas, atividades e variáveis serão adotadas para resolução do problema;
- How much (Quanto?): informação ligada a quantidade e a custo.

A metodologia 5W2H, ainda, pode ser utilizada para a criação de um Plano de Ação para alcance de metas e para a busca constante das melhorias contínuas (SILVA, 2017).

2.12 Treinamento dos Funcionários

A educação e formação dos colaboradores de uma empresa, de acordo com Rabelo (2021), consistem na ampliação da capacidade técnica, gerencial e comportamental, tanto da operação quanto da manutenção, por profissionais qualificados. Os treinamentos têm a função de longo prazo e, se realizados preliminarmente, podem potencializar os resultados da manutenção.

Em outra maneira, pode-se definir treinamento como um meio para aperfeiçoar a atuação do funcionário na organização, o integrando ao grupo para melhorar o desempenho da equipe. É uma maneira dos funcionários contribuírem para os resultados do negócio e enriquecer o patrimônio humano das organizações. Com treinamento, o funcionário é capaz de assimilar novas informações, aprender e desenvolver habilidades, atitudes e comportamentos (BASTOS; MOCSÁNYI, 2005).

Conforme Figueredo *apud* Monoud (2016) é preciso dar oportunidades de aprendizado aos colaboradores, não apenas formais, mas no dia a dia também, para criar uma capacidade de preencher as lacunas do que lhe foi prescrito no sentido da resolução de problemas. O que representa aumento, em número e qualidade de produção.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo caracterizar o tipo de pesquisa, apresentar os materiais, métodos, variáveis e indicadores utilizados para realização da pesquisa, bem como caracterizar os procedimentos adotados para coleta e tabulação de dados, além das considerações finais.

3.1 Tipos de Pesquisa

Conforme Gil (2002), a pesquisa pode ser conceituada pelo procedimento racional e sistemático que tem como intenção proporcionar respostas aos problemas que são propostos, sendo desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis, somado à utilização cuidadosa dos métodos, técnicas, assim como demais procedimentos científicos, se envolvendo por várias etapas, desde a formulação do problema até a apresentação dos resultados encontrados.

Quanto à forma de abordagem de uma pesquisa, pode-se realizar duas formas de classificação:

- Pesquisa quantitativa: a qual pode ser definida como aquela que apresenta quantificações tanto na coleta de dados, quanto no tratamento dos mesmos, através de técnicas estatística (LAKATOS E MARCONI, 2002).

- Pesquisa qualitativa: relacionada aos estudos dos fenômenos em seus ambientes naturais, tentando interpretá-los a partir do modo como são vistos. Desse modo, esse tipo de pesquisa abrange a coleta e o emprego de uma série de materiais empíricos (tais quais estudo de caso, experiência pessoal, observação, históricos, interação de fenômenos ou fatores, entre outros), relativos à rotina e aos entraves observados na análise em questão (CRESWELL, 1998);

Ainda, condizente com Marconi e Lakatos (2002), as medidas quantitativas respondem à pergunta “quanto” e as qualitativas à questão “como”.

Os objetivos de uma pesquisa, conforme Gil (2002), podem ser classificados em três grupos, sendo eles as exploratórias, as descritivas e as explicativas.

Pesquisas exploratórias obtém dados qualitativos ou quantitativos através de observação, e o investigador, a partir dos dados obtidos consegue conceituar as relações entre as propriedades do fenômeno, fato ou ambiente observado. (MARCONI E LAKATOS, 2002).

Segundo Vidal *apud* Gil (2002, p.42) as pesquisas de cunho descritivo “têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis”. O autor ainda contextualiza, que algumas pesquisas descritivas, além de identificar as relações entre as variáveis, procuram definir a natureza desta relação.

Já as pesquisas explicativas, segundo Soares *apud* Andrade (2002), é um tipo de pesquisa mais difícil, porque, além de registrar, analisar, classificar e interpretar os fenômenos pesquisados, procura classificar os fatores determinantes, tendo como objetivo aprofundar o conhecimento da realidade. Este tipo de pesquisa, pelo fato da busca pela explicação do porquê dos seus objetos é o tipo de pesquisa mais delicado, devido à grande probabilidade de erros (GIL, 2002).

Quanto à abordagem, esta pesquisa é qualitativa, pois ela trabalha com o estudo dos significados, dos motivos, dos valores, das atitudes e são de cunho exploratório, pois busca investigar quais contribuições podem ser efetivas para a pesquisa em questão. Além disso, se baseiam majoritariamente em pesquisas bibliográficas, estudos de caso e documental para demonstração de efetividade das contribuições da Engenharia de Confiabilidade em um forno secador.

3.2 Materiais e Métodos

Para a demonstração da metodologia abordada nessa pesquisa, foi elaborado o fluxograma de desenvolvimento do estudo, conforme mostrado na figura 4. Este atua como uma ferramenta da qualidade, que consiste em detalhar o fluxo de tarefas da pesquisa, apresentando o passo a passo das etapas.

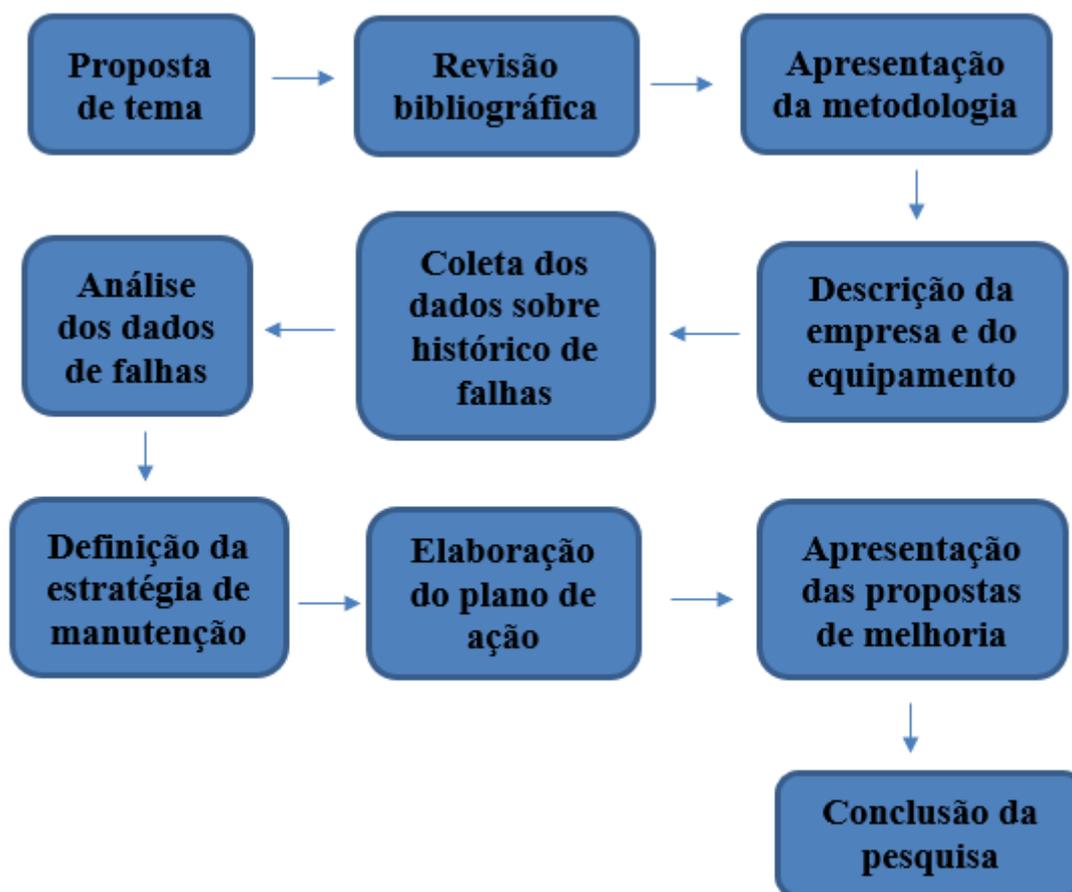


Figura 4 - Fluxograma das etapas da metodologia de pesquisa.
Fonte: Pesquisa Direta (2022)

Pode ser observado na figura 4 a linha de cronograma para a elaboração do material de pesquisa. Primeiramente é identificado um tipo de problema e a partir dele, tem-se a elaboração de um tema. Para entender melhor o assunto, é necessário um embasamento teórico, a partir de uma revisão bibliográfica. Visando a resolução da problemática, no próximo passo está a seleção da metodologia a ser utilizada, seguido da coleta dos dados. Posteriormente, os dados são analisados e é definida uma estratégia de manutenção para elaboração do plano de ação, a fim de apresentar as propostas de melhoria e concluir a pesquisa.

Desta forma, a partir de uma metodologia de pesquisa qualitativa e exploratória, com essas etapas elaboradas e concluídas, foi possível a criação de um documento com proposição de contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração.

3.3 Variáveis e Indicadores

Para a melhor compreensão do problema, é necessário realizar o estudo das variáveis e dos indicadores. Segundo Serra *apud* Cervo (1996, p.209) variáveis representam as particularidades ou fatores potencialmente medidos através dos valores que assumem e discriminam um objeto de estudo, portanto a variável está sujeita a modificação de valor dado a uma quantidade, qualidade, característica, que pode assumir qualquer valor para cada caso particular.

Em concordância com Marconi e Lakatos (2002), uma maneira para se conceber um problema científico é relacionar vários fatores, ou variáveis independentes com o fenômeno em estudo. Dessa forma, segundo as autoras, ao se colocar o problema e a hipótese, devem ser definidas e indicadas as variáveis que possam interferir ou afetar o objeto de estudo, para melhor compreensão da problemática.

Além disso, os indicadores auxiliam na mensuração dessas variáveis, permitindo assim a obtenção dos resultados da pesquisa. As variáveis e os indicadores apontados para essa pesquisa se encontram na tabela 3.

Tabela 3 - Variável e Indicadores

Variável	Indicadores
Engenharia da Confiabilidade	MTBF: Tempo entre Falhas
	MTTF: Tempo médio para Falha
	Ciclo de vida dos equipamentos
	Número de ocorrências
	Tempo de Operação
	Confiabilidade
	Tempo de Paradas
	Análise de falhas
	Diagrama de Pareto
	Curva da Banheira
	Distribuição Weibull
	Modos de Falhas
Probabilidade de falha	
Gestão da Manutenção	5W2H

Fonte: Pesquisa Direta (2022)

Na Tabela 3, pode-se perceber o intuito da pesquisa, que é correlacionar as falhas encontradas nos fornos secadores de uma empresa de mineração, com as variáveis de

Engenharia de Confiabilidade, Análise de Falhas e Custos, de maneira que em cada uma tem a relação com os indicadores.

3.4 Coleta de Dados

Esta etapa do trabalho constitui na determinação das ferramentas utilizadas para a coleta de dados em cima do tema proposto para a pesquisa.

O instrumento de coleta das informações a respeito do tema abordado utilizado nesta pesquisa será através de tabelas, conforme demonstrado na tabela 4. Esse formato proporciona maior facilidade de visualização, facilidade de conversão de dados para arquivos de computador, possui flexibilidade de aplicação, possibilitando a entrega de uma forma objetiva de tratamento de dados.

Tabela 4 - Exemplo de tabela para coleta de dados

Tipo de falha	Descrição	Data	Tempo entre falhas
Falha 1			
Falha 2			
Falha 3			
Falha 4			
Falha 5			
Indicadores	Características	Observações	Aplicação
Indicador 1			
Indicador 2			
Indicador 3			
Indicador 4			
Indicador 5			

Fonte: Pesquisa Direta (2022)

Como pode ser observado, a tabela 4 será utilizada para realizar a compilação de dados de maneira sucinta, as principais falhas encontradas, características, observações e onde serão aplicadas, junto a uma compilação de contribuições dos indicadores.

3.5 Tabulações de Dados

Para a coleta e manuseio de informações para obtenção dos dados necessários à construção do trabalho, foram utilizadas planilhas no *Microsoft Excel* que permitiram a análise e a construção de gráficos e tabelas a partir dos dados obtidos do sistema Elipse da empresa. O *Microsoft Word* foi usado para registro escrito e organização das informações obtidas no decorrer do desenvolvimento da pesquisa.

3.6 Considerações finais do capítulo

O capítulo 3 apresentou de maneira sucinta a metodologia com as classificações sobre os tipos de pesquisas, as ferramentas e os instrumentos utilizados para a elaboração da análise da manutenção de um forno secador. No próximo capítulo deste trabalho serão abordados os estudos de casos, a aplicação prática proposta na metodologia e os resultados obtidos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo é abordado o estudo da Engenharia de Confiabilidade aplicada à manutenção de fornos secadores de uma empresa do ramo de mineração. Os dados foram obtidos a partir da disponibilização do banco de dados da empresa estudada.

4.1 Características da Empresa/ Setor

A corporação estudada é uma empresa global de mineração diversificada. Seu portfólio de operações de mineração é de alta competitividade mundial para o fornecimento de matérias-primas.

No Brasil, a linha de produção se dá pela extração do minério de ferro e minério de níquel, sendo que essa operação de extração do Fe-Ni envolve uma linha complexa de maquinários pesados. A empresa estudada possui a logística de transporte de materiais bem estruturada e gerenciada, tendo como prioridade o funcionamento máximo dos equipamentos utilizados na extração e transporte do minério. Diante disso, o principal objetivo é evitar que paradas não programadas aconteçam, com o intuito de não comprometer as metas de produção.

A figura 5 apresenta o passo a passo do processo produtivo da extração do minério de níquel.

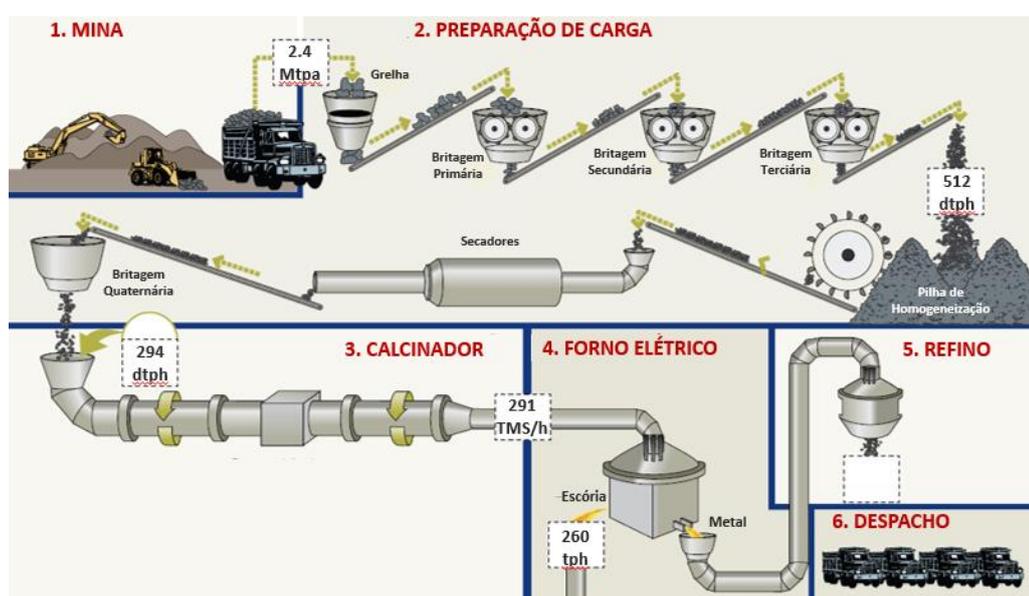


Figura 5 – Linha de Produção do Níquel
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

Conforme mostrado na figura 5, na extração do Níquel, a atividade mineradora tem seu início com o recebimento do minério, seguido do rompedor para preparação da carga pelo britador primário, secundário e terciário. Em seguida tem-se a pilha de homogeneização com a empilhadeira e a retomadora, posteriormente os secadores, depois a pulverização do carvão, calcinação, pelletização, forno elétrico e refino do grão para então o despacho do minério de níquel, com a expedição e empilhamento das sacolas (*Big Bags*).

A figura 5 ainda demonstra que a linha de produção e operação é bem ampla e em cada etapa é atribuído diversas peculiaridades. Na etapa do forno de secagem, que é o equipamento estudado, foi desenvolvido a análise das contribuições da engenharia de confiabilidade para a sua manutenção.

4.2 Descrição do Equipamento

O Forno Secador se encontra na planta de secagem e tem como função secar e separar o material granulado e são bastante empregados na secagem de areia, fertilizantes, sais e minério. Segundo Fernandes *apud* Perry (2008 p.25) “um secador rotatório é constituído por uma câmara cilíndrica um pouco inclinada em relação a horizontal, que gira em torno do seu eixo longitudinal. “

A figura 6 demonstra o processo da alimentação de sólidos do forno na extremidade superior. Eles vão cascadeados até a outra extremidade em virtude da rotação, diferença de pressão, inclinação da câmara cilíndrica e arraste pelo gás. Em seguida são descarregados na extremidade inferior com menor teor de umidade.

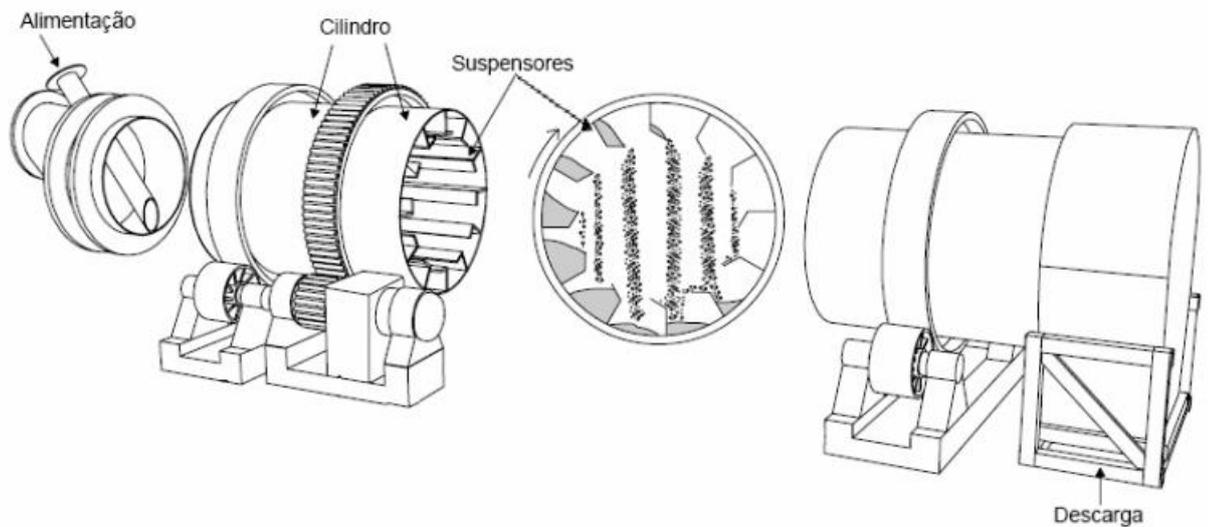


Figura 6 - Visão tridimensional do secador
Fonte: Fernandes (2008)

Conforme informado por Fernandes (2008), os gases arrastam a umidade para fora do secador e fornecem calor ao material seco, com transferência de massa e energia.

Ele possui uma série de preparações para ser utilizado, como requisitos de armazenamento, ponto de elevação, requer mão de obra especializada, equipamento especial para içamento de maquinário pesado e instalação complexa. A figura 7 é uma foto do forno já montado, que por sua vez possui algumas peculiaridades na instalação e montagem.



- **Temperatura dos gases: 500 °C**
- **Umidade do minério: 25 %**
- **Comprimento: 32,2 m**
- **Diâmetro: 4,12 m**
- **Taxa de alimentação (cada): 280 tph**

Figura 7 - Forno secador montado
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

Todas as peças usinadas na entrega devem ser inspecionadas e, se necessário, a aplicação de graxa para evitar corrosão durante o armazenamento. A mão de obra para instalação deve ser composta por montadores, soldadores, equipe de caldeiraria, especialistas em queimadores, supervisor em segurança do trabalho e equipe de içamento da carga pesada.

A figura 8 demonstra o desenho técnico do forno, de maneira a possibilitar uma melhor visão da dimensão de cada parte do equipamento e compreensão dele.

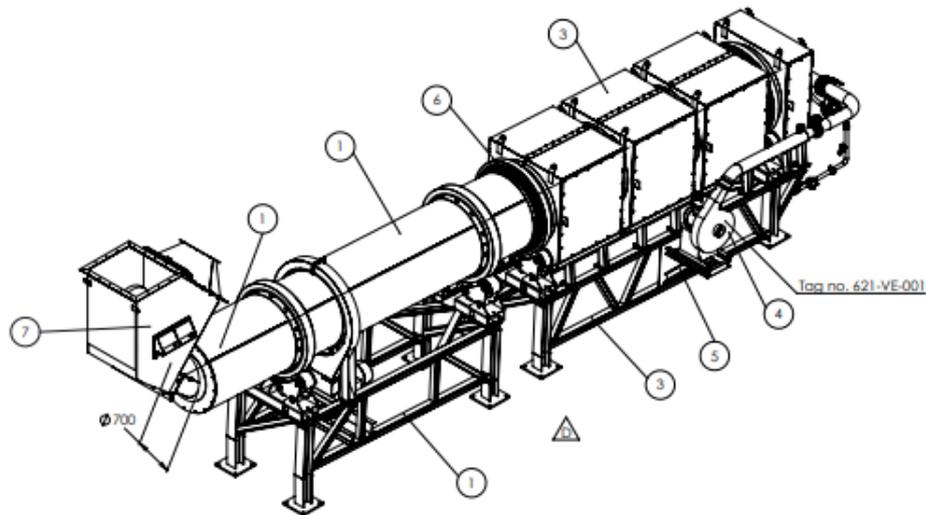


Figura 8 - Desenho técnico do forno de secagem
 Fonte: Empresa pesquisada (2022)

Além disso, o desenho técnico de qualquer equipamento facilita a equipe de manutenção nos processos, funcionando como um mapa e facilitando a identificação das falhas, posicionamento de peças defeituosas e um melhor reconhecimento por parte da equipe sobre como remediar a falha naquela região.

O forno é composto pelo suporte, tambor, *boogies*, caixa de engrenagem, segmento de anel de corrente, roda dentada, tensionamento, cadeia, cobertura da corrente e a placa final.

Os componentes devem ser instalados na seguinte ordem:

- 1) Suporte com caixa de engrenagens, pinhão e tensionamento pré-instalados. (Suporte *Trommel*), conforme demonstrado na figura 9.

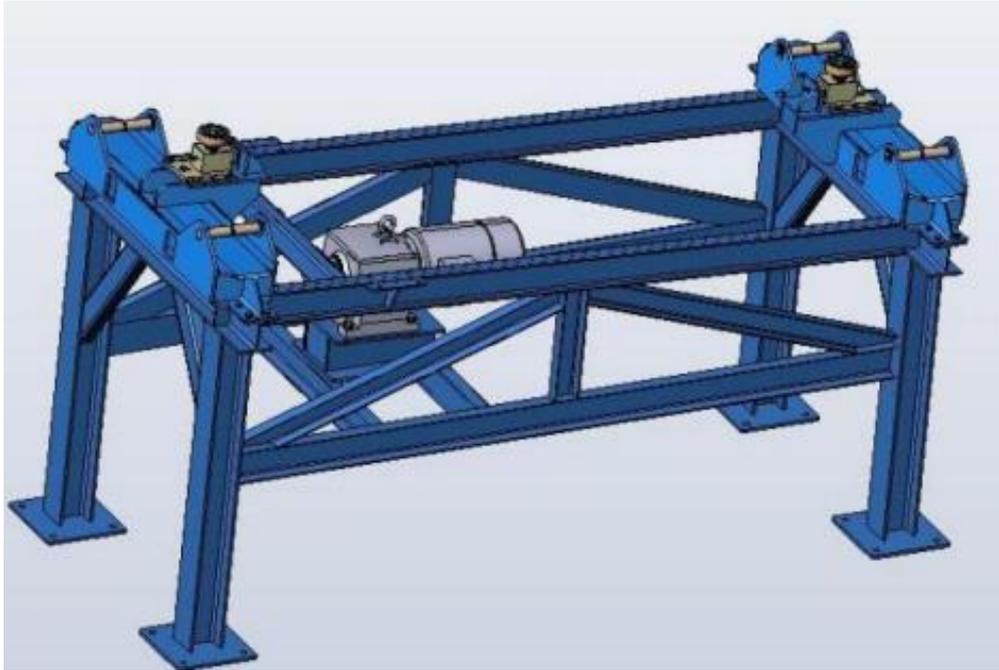


Figura 9 – Suporte com a caixa de engrenagem
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

A figura 10 representa a foto do suporte instalado no equipamento.



Figura 10 - Suporte montado
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

2) *Boogies*.

A figura 11 representa o *Boogie*. Se trata de um dispositivo que permite a rotação do tambor, a partir de um sistema de rolos. Um instrumento a *laser* deve ser usado para posicionar os *boogies* entre si. É de alta prioridade que os *boogies* estejam na posição correta, caso contrário, o tambor não irá girar corretamente.

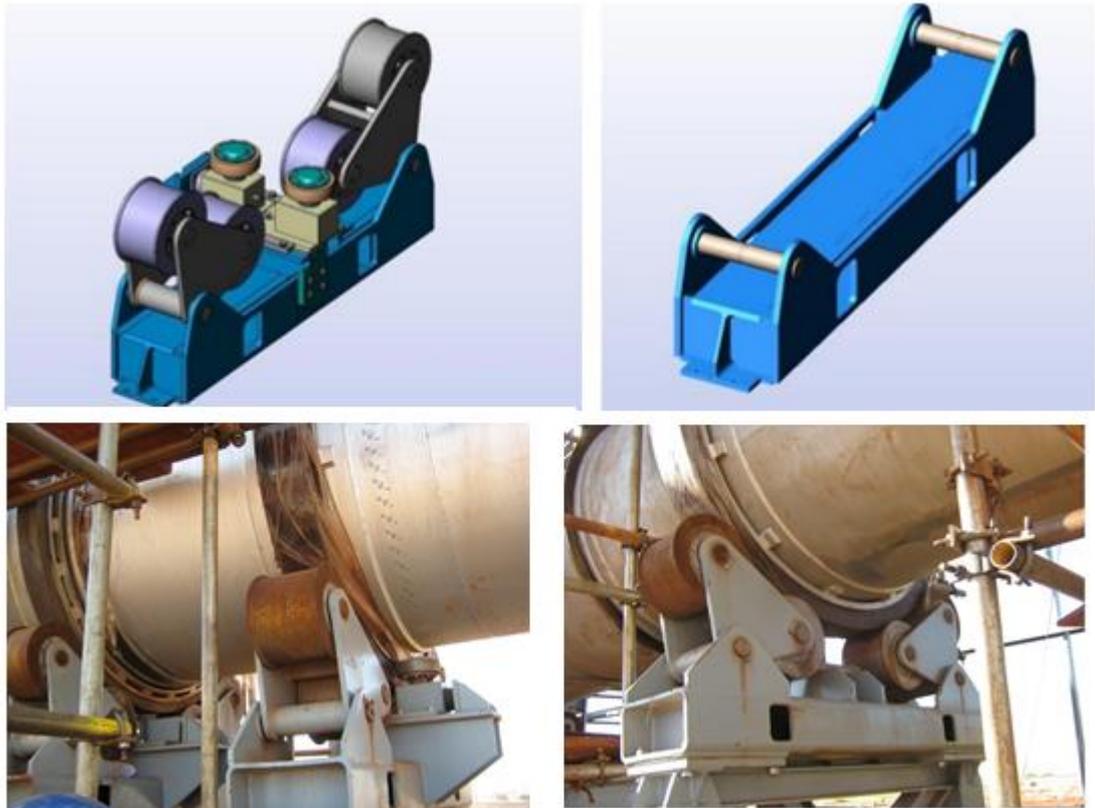


Figura 11 - *Boggies*
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

3) Tambor com segmento de anel de corrente e placa final pré-instalados.

A figura 12 é o desenho representativo do tambor e a figura 13 é a foto do tambor já instalado no equipamento.

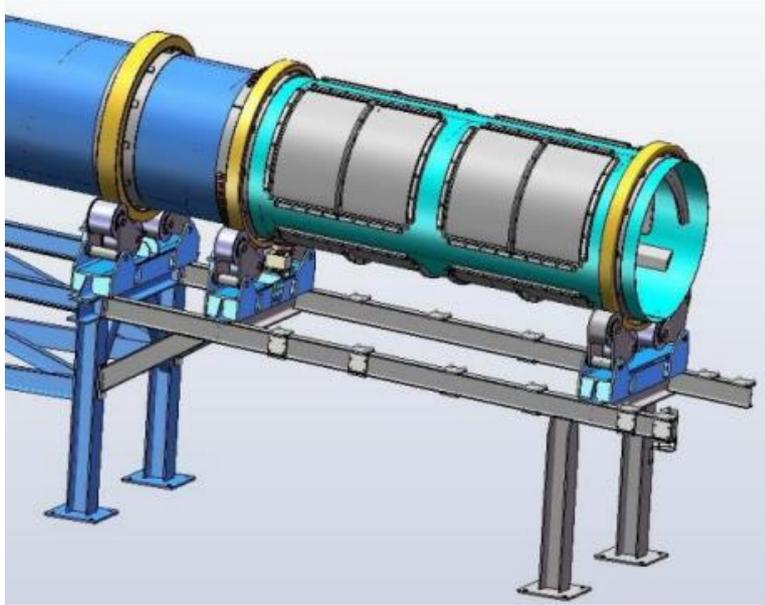


Figura 12 - Desenho representativo do tambor
Fonte: Empresa pesquisada (2022)



Figura 13 - Tambor instalado no equipamento
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

Definitivamente o tambor é o maior componente do equipamento, mais pesado e de maior complexidade na instalação.

4) Cadeia.

A figura 14 mostra a representação do funcionamento da cadeia.

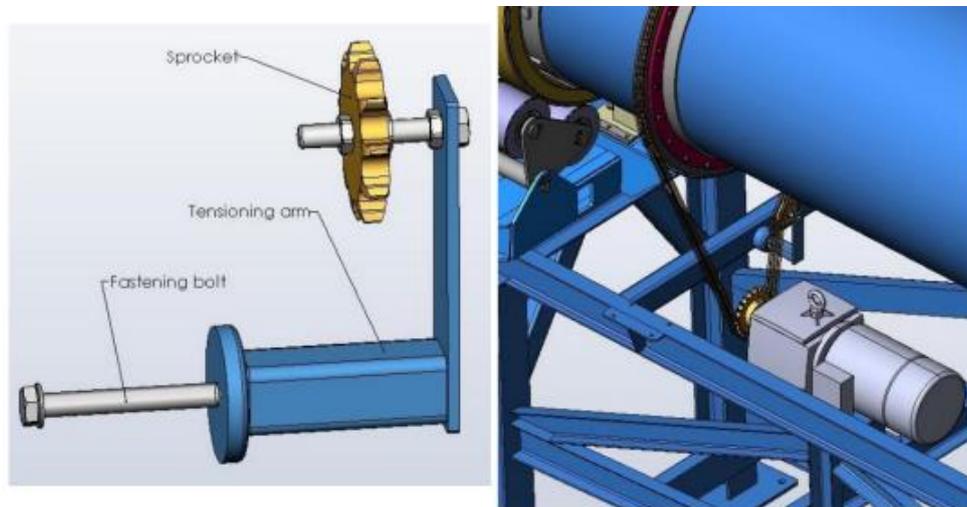


Figura 14 - Ilustração do funcionamento da cadeia
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

A cadeia é constituída pela roda dentada, corrente, parafuso de fixação e o braço tensor. Ela deve ser ajustada no braço tensor para que fique alinhada com os segmentos da corrente no tambor. A corrente deve estar esticada no sistema até que esteja tensionada, para assim apertar o parafuso de fixação do braço.

5) Cobertura da corrente.

A figura 15 representa a cobertura da corrente, que serve de segurança para garantir que nada impedirá a corrente de se movimentar, a fim de bloquear o contato com impurezas e assegurar o isolamento de umidade.

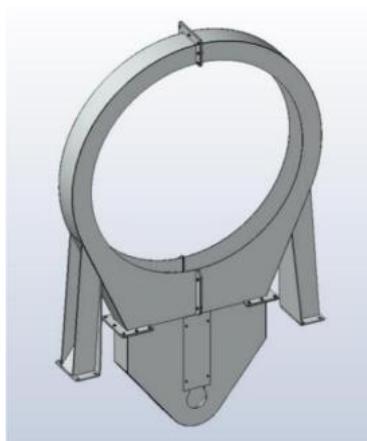


Figura 15 - Cobertura da corrente
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

É necessário a aplicação de óleos e lubrificantes no equipamento do Forno Secador Rotativo, em todos os rolos, com o método da pistola de graxa à base de sabão de lítio e o aplique da tinta de retoque conforme necessário, a fim de proteger o equipamento contra a corrosão.

4.3 Diagnóstico do setor na visão da Engenharia de Confiabilidade

4.3.1 Premissas

As premissas do estudo são as ações e os valores que vão nortear a metodologia e os resultados da pesquisa. São elas:

- Foram consideradas apenas falhas corretivas relacionadas ao grupo de trabalho X;
- As bases de dados foram as ordens de serviço concluídas no “Eclipse” (*software* de automação industrial utilizado pela empresa) e os relatórios de turno (excluindo as duplicidades);
- As falhas são a partir de 01/01/2019 até 08/03/2021;
- Utilizado a ferramenta online de engenharia *Reliability4all* para a análise de dados de vida do equipamento;
- Foram contabilizadas apenas as horas do equipamento em funcionamento para o levantamento do tempo entre as falhas.

4.3.2 Modos de falhas

4.3.2.1 Gráfico de Pareto

Foram registradas 41 falhas que necessitaram de manutenção corretiva no forno secador de Fe-Ni entre 01/01/2019 e 08/03/2021, sendo as falhas classificadas de acordo com a tabela 5 feita para o estudo de Confiabilidade.

Tabela 5 - Estudo de confiabilidade

Base de dados	Descrição	Data	Tempo entre falhas (dias)	Tempo entre falhas (Hr)
Ellipse	TROCAR TENSOR E EMENDAR CORRENTE	19/02/19	162	1655
Relatório de Turno	NORMALIZAR CORRENTE DE ACIONAMENTO DO SECADOR	31/07/19	39	511
Relatório de Turno	LUBRIFICAR CORRENTE	08/09/19	25	350
Ellipse	RECUPERAR MALHAS DE > 6MM	03/10/19	13	166
Ellipse	SOLDAR FURO TUBULACAO FORNO 621-FS-001	16/10/19	21	289
Ellipse	SOLDAR FURO TUBULACAO 621-FS-001	06/11/19	5	60
Ellipse	REALIZAR REPARO NA MALHA DA TELA	11/11/19	13	171
Relatório de Turno	RECOLOCAR CORRENTE DO ACIONAMENTO E SUBST. TENSOR	24/11/19	22	283
Relatório de Turno	MONTAR PROTEÇÃO	16/12/19	39	513
Relatório de Turno	SUBSTITUIR TELA GRANULOMÉTRICA DANIFICADA	24/01/20	3	41
Ellipse	REALIZAR TROCA DE TELAS NO FORNO SECADOR	27/01/20	49	624
Ellipse	REPARO COM SOLDA NA MALHA DA TELA DO	16/03/20	10	149
Ellipse	COMPLETAR NÍVEL ÓLEO MOTOREDUTOR	26/03/20	48	557
Relatório de Turno	SANAR VAZAMENTO NA ENTRADA DO SECADOR DE GRANULADO	13/05/20	5	67
Ellipse	REALIZAR SOLDA NA BASE DO TERCEIRO ROLO	18/05/20	0	12
Ellipse	REPARAR ANEL DE ENTRADA FORNO SECADOR	18/05/20	1	
Ellipse	FAZER REPARO COM SOLDA NO FURO DO CHUTE	19/05/20	43	587
Ellipse	SECADOR COM FURO NO CORPO DO MESMO	01/07/20	54	610
Ellipse	SOLDAR FURO MALHA SECADOR 621-FS-001	24/08/20	16	200
Relatório de Turno	MONTAR TRAVAS DE FECHAMENTO DA PORTA SECADOR	09/09/20	13	128
Relatório de Turno	SOLDAR TUBULAÇÃO	22/09/20	17	214
Relatório de Turno	MONTAR TRAVA DA PORTA DO SECADOR	09/10/20	11	139
Relatório de Turno	REPOSICIONAR POSRTA DE INSPEÇÃO DO FORNO	20/10/20	7	88
Relatório de Turno	NORMALIZAR CHAPA DE VEDAÇÃO DA ENTRADO DO SECADOR	27/10/20	3	39
Relatório de Turno	CORRIGIR QUEBRA DO REDUTOR DO FORNO SECADOR	30/10/20	10	136
Ellipse	MANUTENÇÃO ROLO DE ENCOSTO FORNO SECADOR	09/11/20	0	45
Ellipse	TROCA CORRENTE ACIONAMENTO FORNO SECADOR	09/11/20	3	
Relatório de Turno	ELIMINAR ENTRADA DE AR FALSA TUBULAÇÃO DE EXAUSTÃO	12/11/20	11	172

Ellipse	DIGITE AQUI A DESCR. RESUMIDA DO SERV.	23/11/20	6	87
Relatório de Turno	TAMPAR FURO NO SECADOR	29/11/20	5	74
Relatório de Turno	SOLDAR FURO NO CHUTE DE ENTRADA DO SECADOR	04/12/20	15	210
Relatório de Turno	PRESTAR APOIO NA LIMPEZA DAS TUBULAÇÕES, CONEXÕES GÁS	19/12/20	16	219
Relatório de Turno	REPARO NA TELA	04/01/21	12	173
Relatório de Turno	SUBSTITUIR RODA DE ENCOSTO DO SECADOR	16/01/21	1	16
Relatório de Turno	EMENDAR CORRENTE DO ACIONAMENTO DO FORNO SECADOR DE GR	17/01/21	3	36
Relatório de Turno	SUBSTITUIR CORRENTE DE ACIONAMENTO	20/01/21	7	95
Relatório de Turno	REPARO NA MALHA DO SECADOR	27/01/21	29	389
Ellipse	SOLDAR CHUTE QUE ALIMENTA A MALHA DE 06	25/02/21	3	36
Relatório de Turno	MONTAR CORRENTE	28/02/21	1	11
Relatório de Turno	REPARO NO FORNO SECADOR	01/03/21	7	68
Relatório de Turno	EMENDAR COREENTE DE ACIONAMENTO	08/03/21	0	

Fonte: Empresa Pesquisada (2022)

A tabela 5 foi feita para identificação de todas as falhas que ocorreram durante o período selecionado e a classificação de acordo com o tipo de falha. Foi utilizado cores de maneira arbitrária para definir a classificação das falhas de acordo com o tipo de falha.

A partir da tabela 5, destaca-se na tabela 6 a relação dos principais modos de falha, de acordo com o número de ocorrências e a classificação de cada uma com o auxílio de cores para melhorar a visibilidade dos modos de falha.

Tabela 6 - Principais modos de falha

PRINCIPAIS MODOS DE FALHA		
Tipo de falha	Número de ocorrências	Classificação
Quebra/Desprendimento da corrente	8	
Furo/Quebra da malha (tela)	9	
Furo no corpo do secador	2	
Furo no chute de entrada do secador	2	
Falha na porta de inspeção do secador	3	
Falha no rolo de encosto	3	
Furo na tubulação	3	
Vazamento na entrada do secador	2	
Entrada de ar falso na tubulação de exaustão	1	
Quebra do redutor	1	

Quebra do anel de entra do forno secador	1	
OUTROS	6	

Fonte: Empresa pesquisada (2022)

Com a tabela 6 é possível perceber que os dois principais tipos de falha que ocorreram durante o período selecionado foram a quebra/desprendimento da corrente e o furo/quebra da malha. Além de ficar explícito que algumas falhas não têm recorrência.

Dessa maneira, a partir da tabela 6 pode-se construir um gráfico de Pareto com as informações da tabela 7 do tipo falha, número de falhas, o acumulado e a porcentagem. O processo de avaliação das consequências de falhas busca focar a atenção apenas nas atividades de manutenção com maior efeito no desempenho da organização, contrariando assim a premissa tradicional na qual todas as falhas devem ser prevenidas e evitadas.

Tabela 7 - Construção do gráfico de Pareto

PARETO			
Modo de falha	Nº de falhas	Acumulado	Porcentagem
Furo/Quebra da malha (tela)	9	9	26%
Quebra/Desprendimento da corrente	8	17	49%
Falha na porta de inspeção do secador	3	20	57%
Falha no rolo de encosto	3	23	66%
Furo na tubulação	3	26	74%
Furo no corpo do secador	2	28	80%
Furo no chute de entrada do secador	2	30	86%
Vazamento na entrada do secador	2	32	91%
Entrada de ar falso na tubulação de exaustão	1	33	94%
Quebra do redutor	1	34	97%
Quebra do anel de entra do forno secador	1	35	100%

Fonte: Empresa pesquisada (2022)

Portanto, com as informações obtidas na tabela 7 foi possível a construção do gráfico de Pareto na figura 16, que tem como objetivo compreender a relação ação-benefício, ou seja, prioriza a ação que trará o melhor resultado.

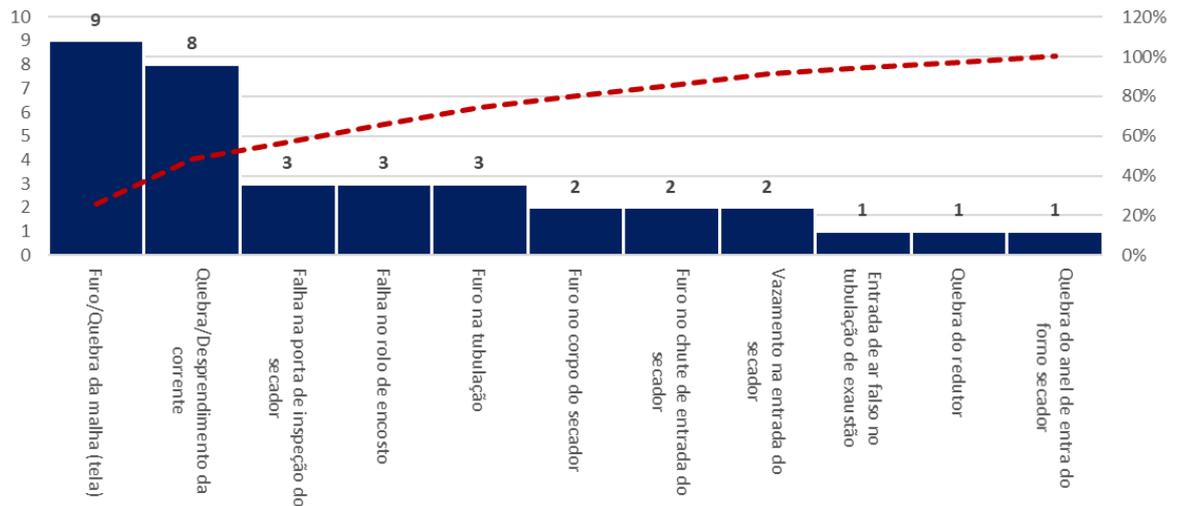


Figura 16 - Gráfico de Pareto
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

Como demonstrado na figura 16, as falhas mais recorrentes foram o furo/quebra da malha e a quebra/desprendimento da corrente, sendo essas as falhas mais necessitadas de uma ação direta para correção e prevenção.

O diagrama de Pareto auxilia no controle de qualidade, pois deixa fácil a visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a concentração de esforços para saná-los. Uma analogia seria dizer que é possível focar em 20% das causas e eliminar 80% dos problemas.

Observação: Nove falhas foram classificadas como “Outros” e não foram adicionadas no gráfico de Pareto.

4.3.2.2 MTBF (*Mean Time Between Failures*)

Calculado a partir do quociente entre o tempo em horas em que o equipamento estava disponível para operação, HD de 10.436,14 horas e do número de eventos corretivos, NC = 41 no período considerado entre 01/01/2019 e 08/03/2021.

$$MTBF = HD/NC$$

$$10.436,14/41=254,54 \text{ h}$$

O gráfico da figura 17 demonstra a confiabilidade pelo tempo, sendo que as variáveis do gráfico são as falhas, confiabilidade, limites superior e inferior de acordo com o passar do tempo em horas.

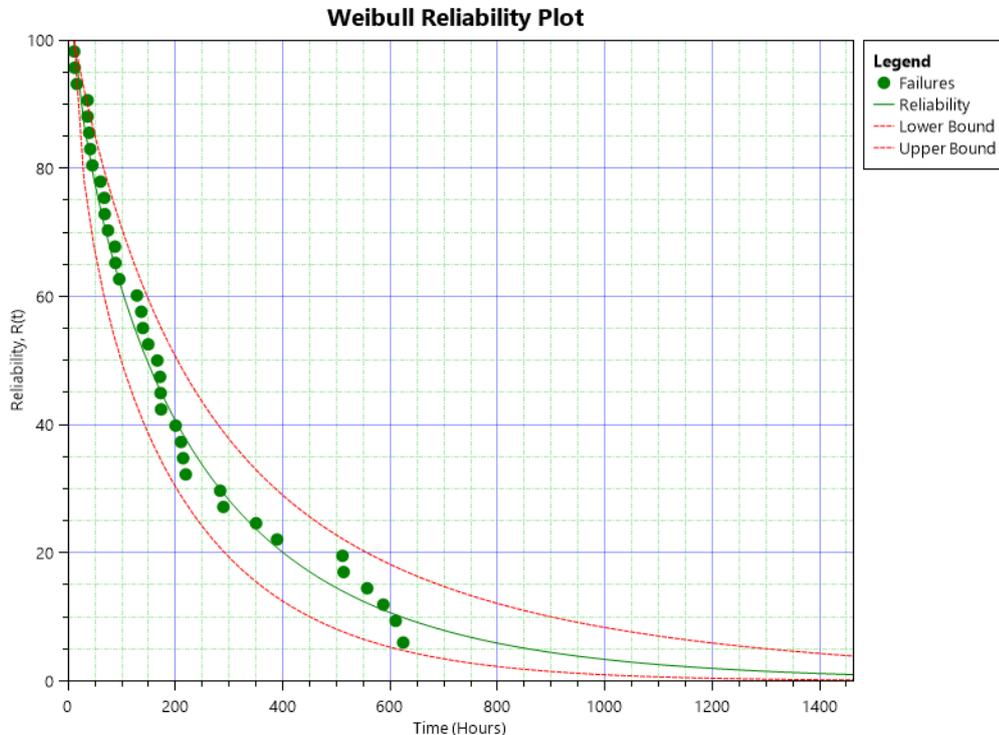


Figura 17 - Gráfico de Confiabilidade x Tempo

Fonte: Empresa pesquisada (2022)

A figura 17 demonstra a Distribuição de Weibull $R(t)$ para Confiabilidade, que se trata da distribuição de probabilidade contínua, que expressa a probabilidade na qual o equipamento não irá falhar em um certo período. Dessa maneira, é indicado na figura 16, no tempo zero, no qual o equipamento está novo, que ele terá 100% de probabilidade de não falhar e a medida que o tempo passa a probabilidade de falha aumenta, então a taxa de que o equipamento não irá falhar diminui.

Foi utilizado a ferramenta online de engenharia *Reliability4al* para análise de dados, de acordo com o gráfico da figura 17, cujo qual foi destacado que:

Limite superior: 351.21 h

MTBF = 254,57 h

Limite inferior: 185,38 h

Observação: MTBF = 254,54h com o equipamento em funcionamento.

4.3.2.3 Probabilidade de falha

O gráfico presente na figura 18 demonstra a probabilidade de falhas pelo tempo em horas. As variáveis são as falhas, a probabilidade e os limites superior e inferior.

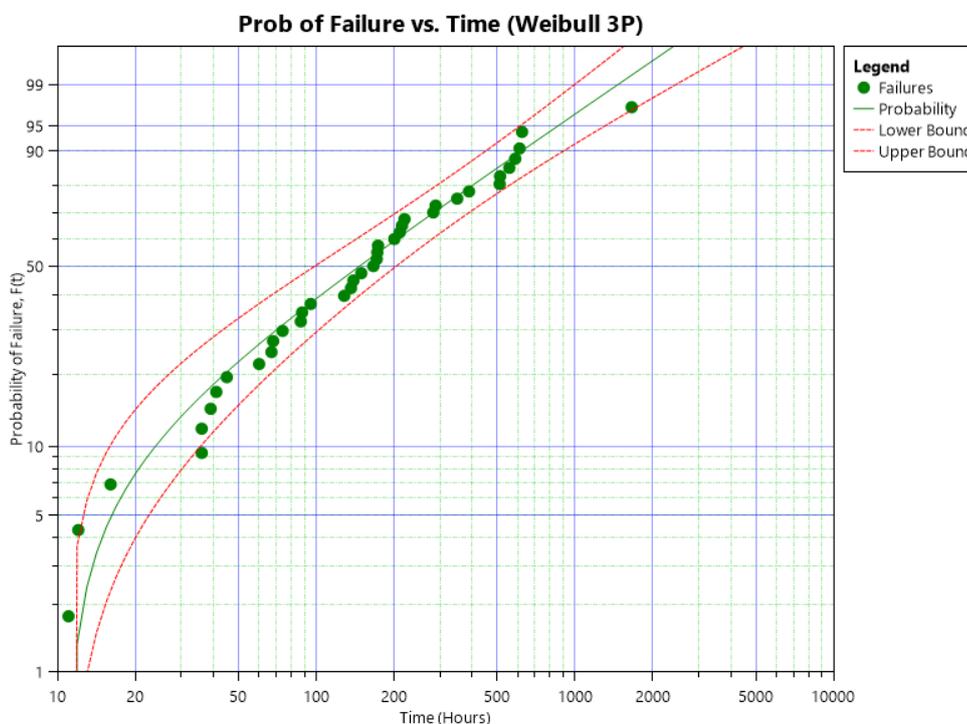


Figura 18 - Probabilidade de falha x Tempo
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

A figura 18 demonstra a Distribuição de Weibull para Falhas, que se trata da probabilidade na qual o equipamento irá falhar em um certo período. Dessa maneira, é indicado no tempo zero, no qual o equipamento está novo, que ele terá 0% de probabilidade de falhar e à medida que o tempo passa a probabilidade de falha aumenta.

Foi utilizado a ferramenta online de engenharia *Reliability4al* para análise de dados, conforme o gráfico da figura 18, cujo qual foi destacado que:

Limite Superior equivalente a 38,74 h

Vida B10 do equipamento é igual a 23,79%

4.3.2.4 Taxa de Falhas

O gráfico representado na figura 19 demonstra a taxa de falhas, pelo tempo em horas, conhecido como Curva da Banheira. Normalmente um equipamento tem, no início de sua vida

útil, uma alta taxa de falhas, devido a problemas de fabricação, instalação inadequada, componentes defeituosos e montagem incorreta. Com o decorrer do tempo, estas falhas são corrigidas, e o equipamento entra em um patamar de estabilidade, com uma taxa de falhas constante. As quebras, quando ocorrem, são aleatórias. Após certo tempo, conforme as condições de uso e agressividade do ambiente em que o equipamento se encontra, as taxas de falhas começam a aumentar, devido ao desgaste dos componentes.

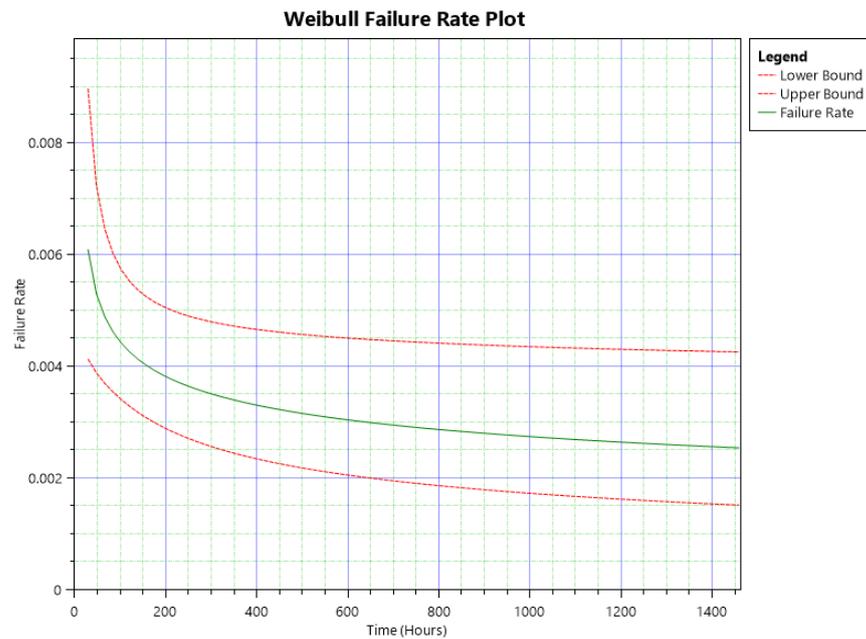


Figura 19 - Gráficos de taxa de falha
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

De acordo com a figura 19, percebe-se que o equipamento do Forno de Secagem está contemplado na fase de transição da infância para a vida adulta, conforme a estabilidade gráfica da taxa de falha em relação ao eixo Y, pela redução da inclinação da curva.

A figura 20 mostra o ponto no qual o forno estudado se encontra.

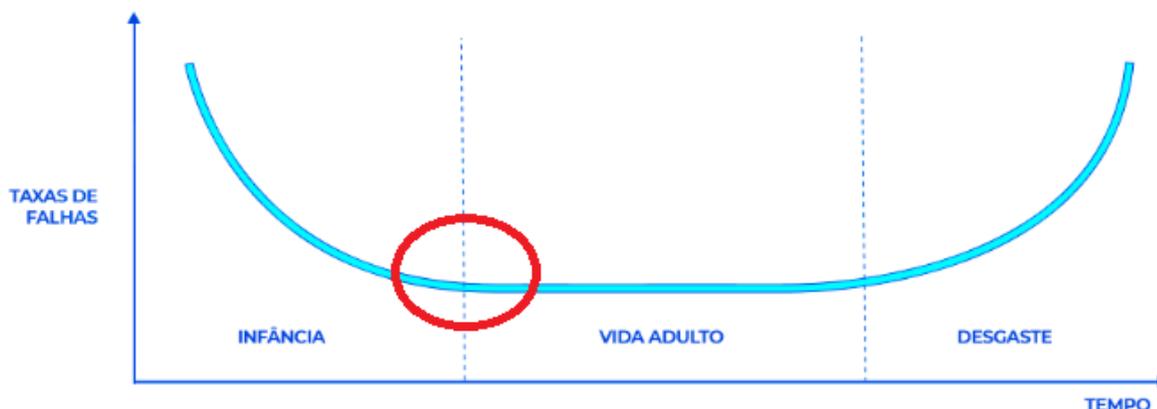


Figura 20 - Etapa do ciclo de vida do forno
 Fonte: Pesquisa Direta (2022)

O equipamento do Forno de Secagem, conforme demonstrado na figura 20, está contemplado na etapa do ciclo de vida de transição da infância para a vida adulta.

4.3.3 Definição da estratégia de manutenção

A partir da análise dos principais modos de falha do equipamento forno secador, no período selecionado, pode-se concluir que identificado o comportamento de vida do ativo e seus principais modos de falha, foi realizada uma análise dos dados de vida para cada um deles para auxiliar na definição da melhor estratégia de manutenção. Os modos de falha estudados foram:

- Rompimento/desprendimento da corrente de acionamento;
- Furo/quebra das malhas do classificador;
- Quebra dos rolos de encosto.

Observação: Para essa análise foram consideradas as atividades preventivas e as que foram realizadas após inspeções ou preditivas, ou seja, antes da falha do componente, como suspensões dentro dos tempos entre as falhas.

4.3.3.1 Análise da quebra ou desprendimento da corrente

A figura 21 demonstra os gráficos referentes à análise de falha a partir da Confiabilidade pelo tempo e pela Probabilidade de Falha pelo tempo referente a quebra ou desprendimento da corrente.

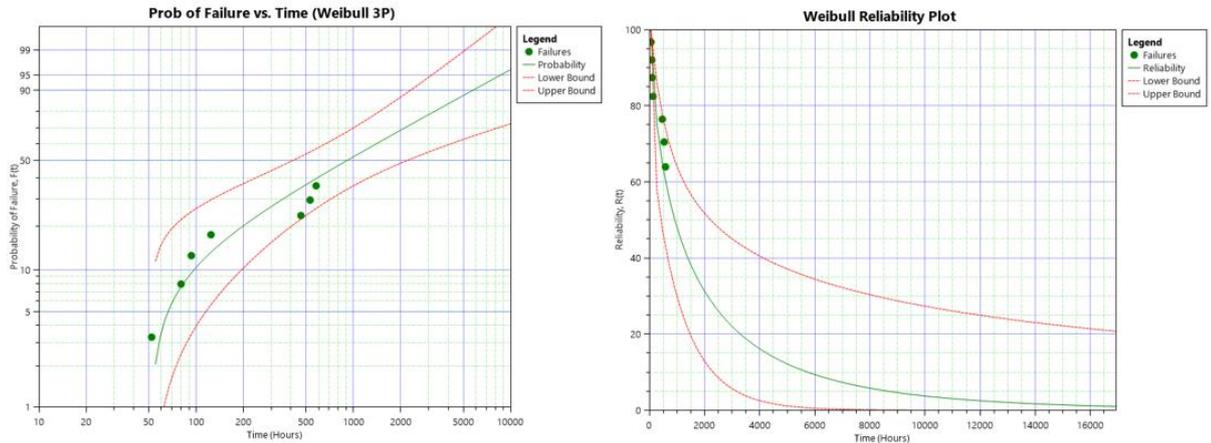


Figura 21 - Gráficos de Probabilidade de falha e confiabilidade da corrente
 Fonte: Empresa Pesquisada (2022)

A figura 21 demonstra o estudo de caso específico da quebra ou o desprendimento da corrente, com o resultado sobre o aumento da Probabilidade Falhas de acordo com o tempo e a diminuição da Confiabilidade de acordo com o tempo, ao qual uma vez que o equipamento é novo, ele terá uma probabilidade de falha quase nula, pois veio de fábrica e assim a sua confiabilidade será 100%.

Na figura 22, é demonstrado a Curva da Banheira da corrente e assim é possível analisar a sua etapa de ciclo de vida.

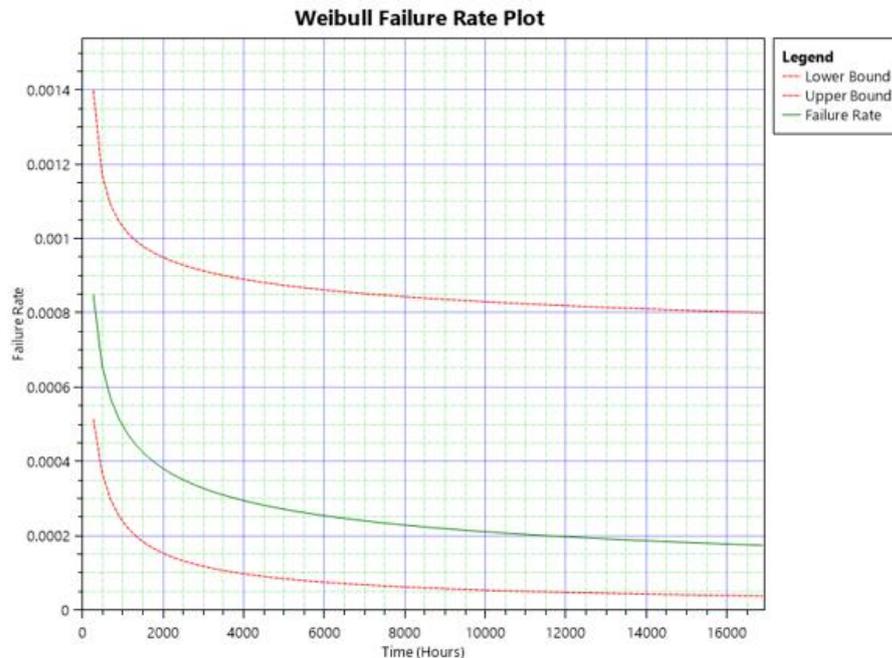


Figura 22 - Curva da Banheira da corrente
 Fonte: Empresa Pesquisada (2022)

Percebe-se através da figura 22 que a corrente se encontra na mortalidade infantil, onde a taxa de falhas é decrescente conforme o gráfico, além do evento estar associado à diversas causas, como travamentos do sistema, desalinhamentos e falha no tensor.

Dessa maneira, não é sugerido que seja realizada uma manutenção preventiva de troca da corrente, mas sim inspeções ou técnicas preditivas que possam agir nas causas.

Uma solução para o cenário atual seria aumentar a frequência das inspeções realizadas (com o equipamento parado e sem a enclausuramento da corrente) e adicionar técnicas preditivas no plano de manutenção.

Para o cálculo do tempo médio até a falha MTTF, tem-se que:

Limite superior: 5408.4709

Limite inferior: 911.5634

MTTF: 2197.9793 horas

Isso representa que esse tipo específico de sistema, em média, precisaria ser substituído a cada 2197.9793 horas para evitar paradas mais longas e danos subsequentes.

Para o cálculo de vida:

Limite superior: 277.3817

Limite inferior: 60.4438

$P(10\%) = 96.4793$ horas

$P(10\%)$ é dado em horas e significa o período no qual a probabilidade de falhas atinge 10%, servindo como parâmetro de comparação dentre os tipos de falhas estudados. Nesse caso é de 96,5 horas.

4.3.3.2 Análise do furo/quebra das malhas do classificador

A figura 23 demonstra os gráficos referentes à análise de falha a partir da Confiabilidade pelo tempo e Probabilidade de Falha pelo tempo referente ao furo ou quebra das malhas do classificador.

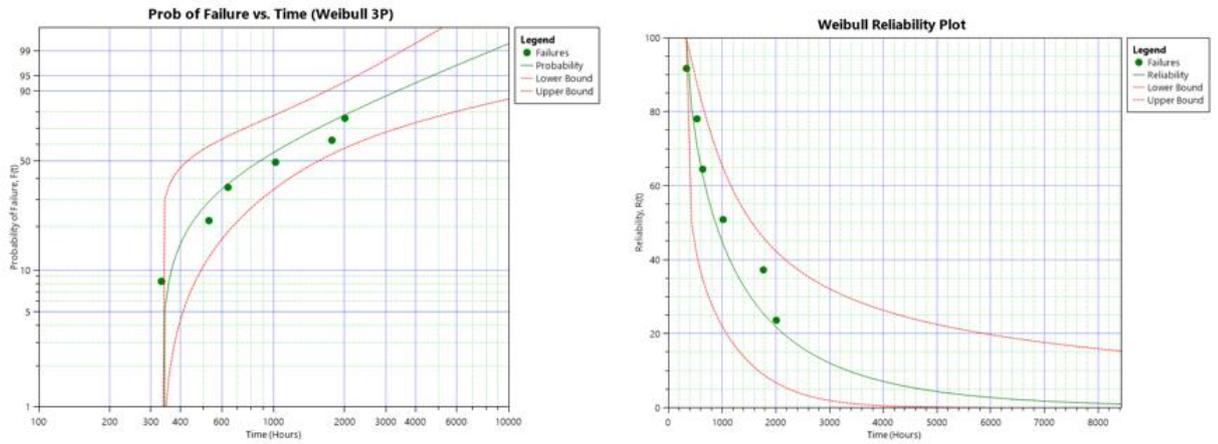


Figura 23 - Gráficos de Probabilidade de Falha e Confiabilidade das malhas do secador
 Fonte: Empresa pesquisada (2022)

A figura 23 demonstra o estudo de caso específico do furo ou quebra das malhas do classificador com o resultado sobre o aumento da Probabilidade Falhas de acordo com o tempo e a diminuição da Confiabilidade de acordo com o tempo.

Na figura 24, é demonstrado a Curva da Banheira das malhas do classificador e assim é possível analisar a sua etapa de ciclo de vida.

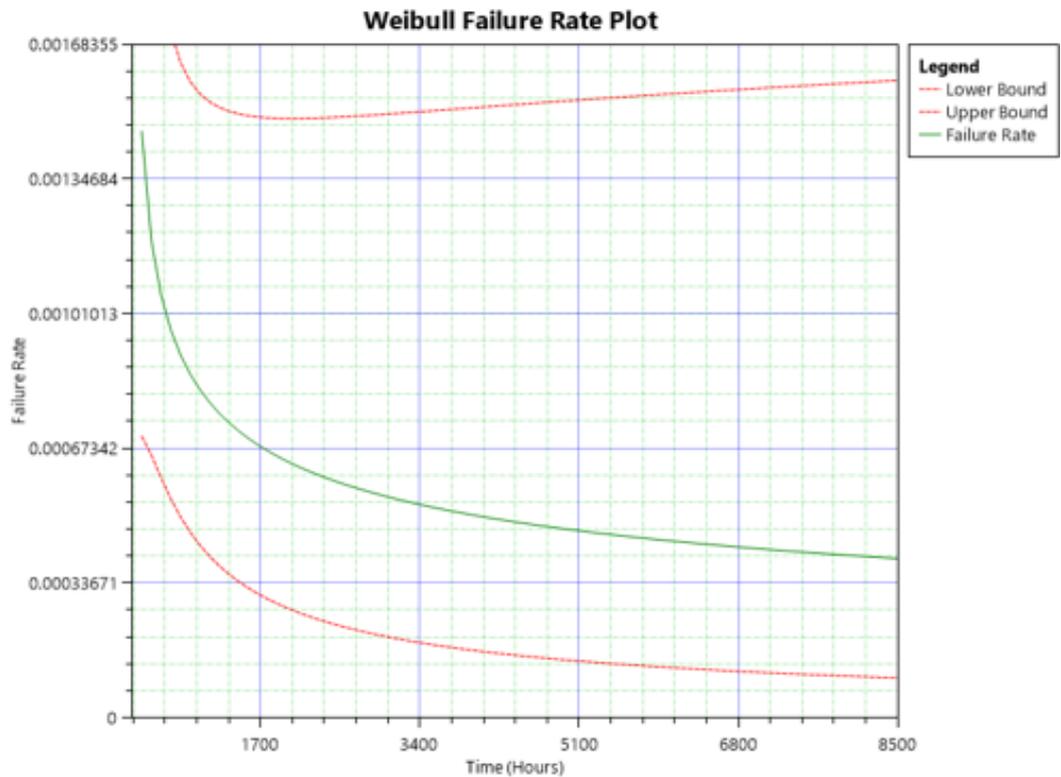


Figura 24 - Curva da Banheira das malhas do cassificador
 Fonte: Empresa pesquisada (2022)

É demonstrado na figura 24 a etapa do ciclo de vida das malhas, que novamente se encontra na mortalidade infantil, a taxa de falha das malhas é decrescente, o que não sugere ações preventivas de manutenção. Nesse caso, a taxa decrescente pode estar associada com falhas prematuras após reparos que são realizados.

Como solução para o problema, a sugestão seria trocar as malhas por completo e realizar o acompanhamento, para que caso seja o ideal, traçar uma estratégia de manutenção preventiva posteriormente.

NOTA: Os registros das falhas levantadas no sistema Ellipse e no relatório de turno não diferenciam as telas. O ideal seria identificar cada uma delas para cada evento de falha para uma análise de confiabilidade mais apurada.

Para o cálculo de MTTF:

Limite superior: 2943.9812

Limite inferior: 843.2731

MTTF: 1488,7731 horas

Isso representa que esse tipo específico de sistema, em média, precisaria ser substituído a cada 1488,773 horas para evitar paradas mais longas e danos subsequentes.

Para o cálculo de vida:

Limite superior: 664.6070

Limite inferior: 332.7922

$P(10\%) = 365.7922$ horas

$P(10\%)$ é dado em horas e significa o período no qual a probabilidade de falhas atinge 10%, nesse caso seria de 365,8 horas.

4.3.3.3 Análise da quebra dos roletes de encosto

A figura 25 demonstra os gráficos referentes à análise de falha a partir da Confiabilidade pelo tempo e Probabilidade de Falha pelo tempo referente aos roletes de encosto.

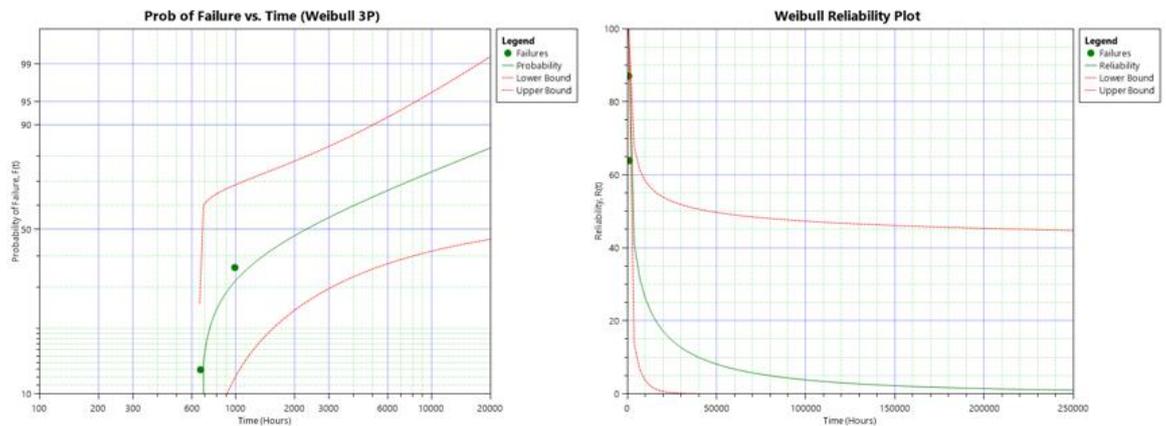


Figura 25 - Compilado de gráficos dos roletes de encosto
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

A figura 25 demonstra o estudo de caso específico dos roletes de encosto com o resultado sobre o aumento da Probabilidade Falhas de acordo com o tempo e a diminuição da Confiabilidade de acordo com o tempo.

Na figura 26, é demonstrado a Curva da Banheira dos rolos de encosto e assim é possível analisar a sua etapa de ciclo de vida.

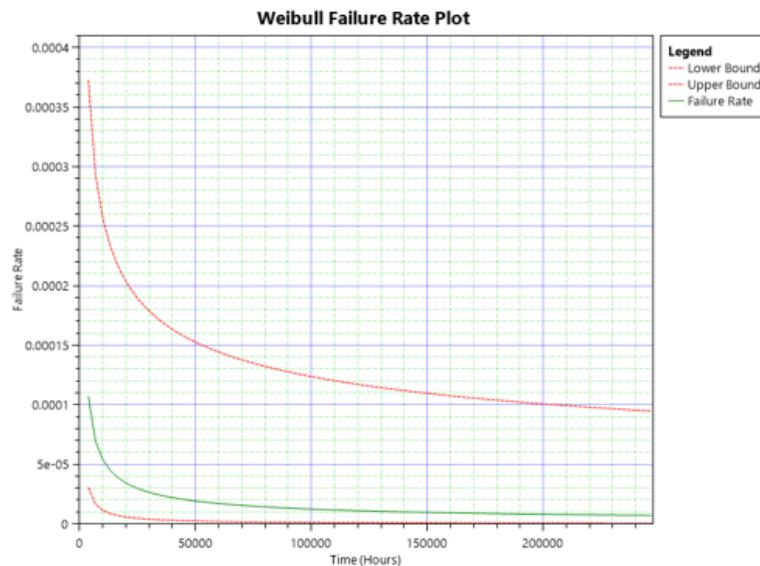


Figura 26 - Curva da Banheira dos rolos de encosto
Fonte: Empresa pesquisada (2022)

É demonstrado na figura 26, que os rolos de encosto estão na etapa do ciclo de vida adulta, na qual se tem uma taxa de falhas constante.

Os rolos de encosto apresentaram poucas falhas e a maioria das intervenções foram realizadas por demanda de inspeções, além do fato de apresentarem uma taxa de falha praticamente constante após um breve início com característica de falhas prematuras.

Se tratando de um item de fácil inspeção, a sugestão seria manter a estratégia baseada em condição e incluí-los nas inspeções com uma frequência maior, junto com a corrente.

Para o cálculo de MTTF:

Limite superior: 252978.1525

Limite inferior: 1797.1178

MTTF: 17615.6793 horas

Isso representa que esse tipo específico de sistema, em média, precisaria ser substituído a cada 17615.6793 horas para evitar paradas mais longas e danos subsequentes.

Para o cálculo de vida

Limite superior: 3546.2994

Limite inferior: 657.4023

$P(10\%) = 668.4149$ horas

$P(10\%)$ é dado em horas e significa o período no qual a probabilidade de falhas atinge 10%, nesse caso seria de 668,4 horas.

4.3.4 Plano de Ação

Para o plano de ação foi desenvolvido um quadro esquemático das tarefas com determinadas atividades que precisam ser desenvolvidas com o maior nível de clareza possível, por parte dos colaboradores da empresa.

Denominado 5W2H, esse método funciona como um mapeamento das atividades, onde ficará estabelecido o que será feito, quem fará o quê, em qual período, em qual área da

empresa e todos os motivos pelos quais esta atividade deve ser feita, conforme demonstrado na tabela 8. Tem-se também a escala de importância de cada atividade a ser desenvolvida, com o nível de prioridade, sendo o nível 1 escalado as atividades que demandam maior urgência e prioridade de ação imediata, o nível 2 as atividades importantes, mas que não demandam tanta urgência e o nível 3 que são as atividades que podem esperar um tempo.

Tabela 8 - Método 5W2H

NIVEL	O QUE?	QUEM?	ONDE	PORQUE	QUANDO	COMO	QUANTO
1	Revisar plano de manutenção do equipamento conforme propostas levantadas	Equipe de Engenharia de Manutenção Preventiva	Escritório da operação	Garantir uma boa gestão de todo o setor de manutenção	Imediato	Auxílio de Softwares e aplicativos	Sem custo
1	Trocar Rolos de apoio do forno secador de Fe-Ni;	Técnicos de manutenção	Planta de secagem	Evitar paradas não programadas	Após o desgaste prematuro dos rolos	Troca manual dos rolos em paradas programadas	Custo de aquisição dos rolos
1	Elaboração Calendário de Manutenção	Coordenador de manutenção	Escritório da operação	Organizar as ações para garantir o bom planejamento da manutenção	Imediato	Elaboração da planilha de cronogramas	Sem custo
2	Revisar backlog e priorizar ações corretivas críticas mapeadas para o forno secador de Fe-Ni	Equipe de Engenharia de Manutenção Corretiva	Planta de secagem	Evitar paradas não programadas	Imediato	Analisar qual componente demanda reparo	Sem custo

2	Avaliar a necessidade de se alinhar o conjunto roda dentada, tensor, coroa e corrente	Técnicos de manutenção	Planta de secagem	Evitar desalinhamento do conjunto mecânico	Imediato	Testes de alinhamento	Sem custo
3	Avaliar eficácia dos lubrificantes nos rolos de apoio e propor melhorias caso haja necessidade;	Equipe de Engenharia de Manutenção Preditiva	Laboratório	Evitar danos no equipamento devido ao atrito	Parada de manutenção programada	Testes laboratoriais diversos e análise de laudo	Sem custo
3	Revisar fornecedor da corrente e das suas emendas;	Equipe de Compras	Escritório	Diversificar a base de fornecedor para diminuir dependência de mercado	Imediato	Envio de cotação ao mercado	Sem custo
3	Estudar a possibilidade de implementar uma rampa de aceleração e desaceleração no sistema de acionamento do forno secador	Equipe de Controle e Automação	Escritório da operação	Aumentar a agilidade com o apoio da tecnologia	Imediato	Execução de projeto	Custo de operação

Fonte: Pesquisa Direta (2022)

A tabela 8 permite analisar as falhas do forno secador e a elaboração de um plano de ação para mapeamento das atividades.

O método utilizado na tabela 8 para execução do plano de ação é uma ferramenta simples, porém poderosa, para auxiliar a análise e o conhecimento sobre determinado

processo (diagnóstico), problema ou ação a serem tomadas (plano de ação), podendo ser usado para prevenir o reaparecimento de novos modelos (padronização).

4.3.5 A Engenharia de Confiabilidade envolvida no estudo da manutenção do forno

Nessa modelagem, a confiabilidade consegue identificar oportunidades de melhoria de processos ativos, ou seja, táticas de ativos, eliminação de defeitos e manutenção de precisão. Também pode quantificar os benefícios de projetos de melhoria direcionados e a medição e monitoramento dos resultados das melhorias, qualitativamente seria na ausência de falhas funcionais enquanto o bem estiver em serviço ou uso e quantitativamente seria a probabilidade de que um item opere de forma prescrita por um período, sob condições prescritas sem sofrer quaisquer falhas funcionais.

A Engenharia de Confiabilidade está ligada à gama de atividades analíticas e recomendações para realizar e melhorar a confiabilidade da carteira de ativos de uma organização. Dessa maneira, é proposto sempre um passo a passo de atividades interligadas, com o objetivo de aumentar a confiabilidade, assim como demonstrado na figura 27, em ordem de prioridade.

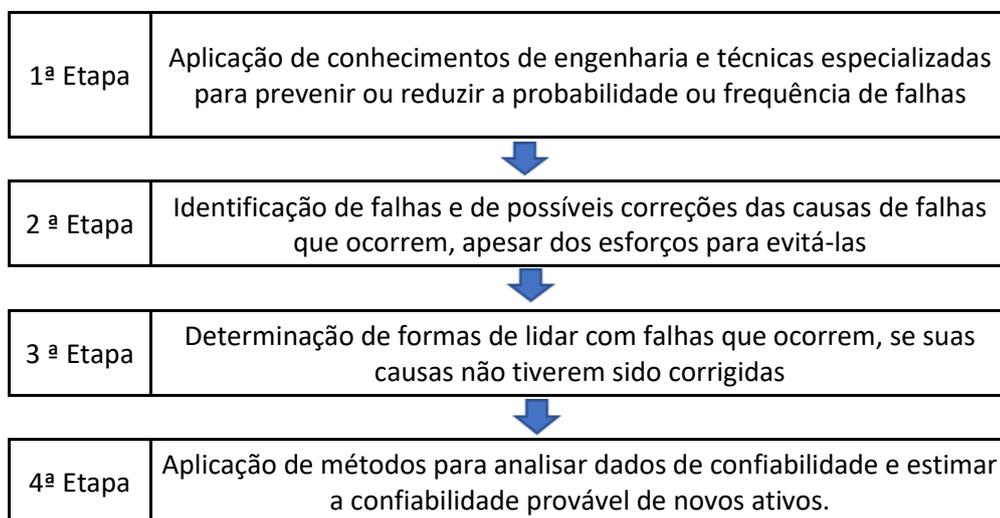


Figura 27 - Fluxograma das atividades da Engenharia de Confiabilidade
Fonte: Pesquisa direta (2022)

Como mostra na figura 27, a primeira Etapa, que diz a respeito da aplicação de conhecimentos de engenharia e técnicas para prevenção de falhas, é abordada no plano de ação após o estudo, pois essa pesquisa se inicia na etapa 2, uma vez que o estudo ocorreu na empresa em decorrência de grande número de falhas no Forno Secador.

Dessa maneira, o estudo começa na Etapa 2 com uma instigação de maneira complexa das falhas ocorridas no equipamento, com o efetivo estudo dos modos de falha, cálculo de tempo entre falhas, com análise das bases de dados retirados no sistema Elipse e relatórios de turno.

Em seguida, tem-se a etapa 3, com a organização de dados e formulação do gráfico de Pareto para auxiliar na determinação de formas de lidar com as falhas ocorridas, com a aplicação de métodos para análise da confiabilidade, já na etapa 4.

4.4 Propostas das contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador

Neste tópico são abordadas propostas de contribuições que os ensinamentos da Engenharia de Confiabilidade podem servir para o estudo da manutenção no forno secador, bem como o papel do engenheiro de confiabilidade na empresa, conforme a figura 28.

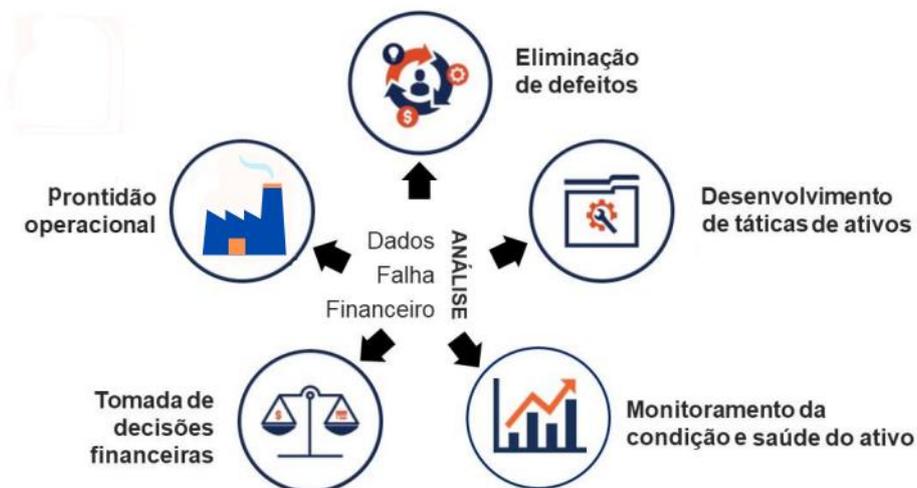


Figura 28 - Papel do engenheiro de confiabilidade
Fonte: Pesquisa adaptada da empresa estudada (2022)

As propostas de melhoria do processo, a partir do estudo da Engenharia de Confiabilidade, podem ser pautadas com base na eliminação dos defeitos dos ativos, estudo do monitoramento da saúde e condição do ativo, decisões financeiras e necessidade de prontidão operacional.

Foi elaborado na tabela 9 um quadro de propostas de contribuições da engenharia de confiabilidade em utilidade à elaboração do plano de manutenção do forno secador de uma empresa. A utilização do nível de prioridade de cada uma são classificadas por:

- Prioridade 1: grande relevância para a elaboração do Plano de Manutenção e maior necessidade de implementação imediata;

- Prioridade 2: importantes, mas não exigem urgência de implementação no Plano de Manutenção, são de utilização secundária, apenas quando as prioridades 1 já estiverem sendo tratadas;

- Prioridade 3: são de média relevância para a implementação no Plano de Manutenção, entretanto elas compõem um processo complexo e instigatório, revelando benefícios de utilização após as prioridades 1 e 2 serem tratadas.

Tabela 9 - Quadro de propostas e prioridades

Prioridade	Proposta para melhoria do Plano de manutenção do Forno Secador
1	Aplicar técnicas de análise de dados como tendências, análise de Pareto, análise <i>Jack-Knife</i> , análise de variância e correlações, análise Weibull, análise de Árvore de Falhas (FTA), análise de modo e efeitos de falha (FMEA) para elaboração do plano de manutenção do Forno Secador.
1	Identificar as principais razões das falhas do forno no período de mortalidade infantil e aplicar métodos para reduzir essas falhas na infância, como depuração, aceitação e controle de saúde e qualidade.
1	Facilitar o estudo RCA para análise eficaz da causa raiz de algum defeito detectado no forno secador, por algum colaborador.
1	Conduzir o procedimento FMECA identificando as falhas funcionais do forno secador e definindo modos de falhas, probabilidades e consequências.
1	Desenvolver testes de aceitações e critérios de inspeção no forno como parte dos planos de comissionamento.

2	Garantir o bom treinamento dos funcionários da planta de secagem para aplicação do plano de ação de maneira organizada.
2	Facilitar o processo para seleção das táticas, frequências e padrões ótimos de manutenção do forno.
2	Analisar dados de desempenho, manutenção e confiabilidade dos ativos do forno para identificar oportunidades de melhoria em custos, volume e segurança.
2	Revisar os dados de monitoramento de condições para a prevenção de falhas nos componentes do forno.
2	Usar o LCC e a EAC para fundamentar as decisões de reparo ou substituição de componentes do forno secador.
2	Usar a análise LCC e modelagem financeira para selecionar a solução mais econômica entre as alternativas de manutenção do forno secador.
2	Utilizar a modelagem financeira para aprimorar as frequências de manutenção do forno secador.
2	Usar modelos de custo para aperfeiçoamento da manutenção de estoque para peças de reposição do forno secador.
2	Coordenar os chamados QA “ <i>quality assurance</i> ” e QC “ <i>quality control</i> ”, controle e garantia de qualidade, durante os estágios de fabricação, transporte, armazenamento, instalação e comissionamento do forno secador.
3	Utilizar o processo de Gestão de Garantia para iniciar e gerir solicitações de garantia para falhas de componentes novos, como tambores, correias, caixa de engrenagem, rolos, entre outras diversas partes constituintes do forno secador.
3	Facilitar o processo de desenvolvimento de tática de ativos fornecendo

	dados de confiabilidade do forno, com índices de risco, intervalos de falhas, probabilidades de falhas, análise Weibull, entre outros.
3	Desenvolver a estratégia de monitoramento da condição dos componentes do forno e seleção de técnicas apropriadas para detecção de problemas potenciais mais cedo na curva P-F.
3	Evitar defeitos na fonte, trabalhando com engenheiros de cada seção, para desenvolver e implementar especificações/normas para manutenção de precisão nos componentes do forno como alinhamento, balanceamento e lubrificação.
3	Desenvolver e implementar uma estratégia de monitoramento de condição para a planta de secagem.
3	Comparar os indicadores chave de desempenho do forno secador com outras operações similares.
3	Priorizar oportunidades de melhoria para manutenção do forno, quantificando seu valor.
3	Participar do desenvolvimento de critérios e da avaliação dos fornecedores de equipamentos, peças e prestadores de serviços relacionados ao forno em questão.
3	Colaborar a gestão de confiabilidade do forno com as diretrizes da eliminação de defeitos.
3	Buscar lideranças da equipe de engenharia de confiabilidade com o perfil profissional adequado para a sua devida função, tanto no âmbito do contexto do negócio, como nas atividades de análise de dados, análise técnicas, análise financeira e habilidades interpessoais.

Fonte: Pesquisa Direta (2022)

Com a base teórica e o estudo de caso, foi possível aplicar as abordagens da Engenharia de Confiabilidade no intuito de propor alguns pontos de melhoria para a

elaboração do plano de manutenção do forno secador, e assim levantar propostas plausíveis e significantes para aplicação em uma empresa.

As principais propostas levantadas giram em torno da utilização das ferramentas de confiabilidade para análise de dados, tais quais foram utilizadas nesse estudo, Gráfico de Pareto, Distribuição Weibull, Probabilidade de Falhas. Também a identificação das principais razões das falhas do forno no período de mortalidade infantil, estudo RCA, identificação das falhas funcionais pelo FMECA e a inclusão dos testes de aceitação e critérios de inspeção no forno como parte dos planos de comissionamento.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusão

O trabalho exposto teve como objetivo principal propor contribuições da Engenharia de Confiabilidade para a manutenção de um Forno Secador de uma empresa do setor de mineração. Diante disso, a partir da revisão bibliográfica, foi possível demonstrar a utilização das ferramentas da Engenharia de confiabilidade, técnicas, ferramentas e métodos para a investigação de falhas e criação de um plano de ação pautado na confiabilidade do equipamento.

A partir da abordagem da Engenharia de Confiabilidade foi possível a construção de propostas de melhoria para realização do estudo a partir da análise de recorrência de falhas, bem como a concentração na correção das falhas que mais impactam na produção. Dessa maneira, foi possível definir a melhor estratégia de manutenção para assim elaborar um plano de ação com o 5W2H, na iminência de mapear os processos e organizar as atividades, com atribuição de prioridades.

No decorrer da pesquisa foi possível distinguir as práticas da manutenção com as práticas da confiabilidade, partir da prevenção e eliminação de falhas funcionais em ativos críticos ao longo de seu ciclo de vida. No que tange ao conhecimento sobre análise de dados de falhas, percebe-se a influência sobre a manipulação dos dados para garantia de um plano de manutenção que assegure a eliminação de defeitos para prontidão operacional. Além disso, para monitoramento da condição e saúde do ativo e relevância na tomada de decisões financeiras.

As principais propostas levantadas nessa pesquisa, que definitivamente concluem o estudo, giram em torno da utilização das ferramentas de confiabilidade para análise de dados, tais quais foram utilizadas nesse estudo, Gráfico de Pareto, Distribuição Weibull, Probabilidade de Falhas e Confiabilidade. Também a identificação das principais razões das falhas do forno no período de mortalidade infantil, estudo RCA, identificação das falhas funcionais pelo FMECA e a inclusão dos testes de aceitação e critérios de inspeção no forno como parte dos planos de comissionamento.

5.2 Recomendação para trabalhos futuros

A partir do estudo realizado, tem-se as seguintes recomendações:

- Elaboração da modelagem do sistema de manutenção do forno secador utilizando diagramas de blocos de confiabilidade RBD (*Reliability Block Diagram*);
- Desenvolvimento dos cálculos do custo do ciclo de vida (LCC) do equipamento forno secador na mineração a partir do princípio financeiro.

Sendo esse segundo trabalho pautado no valor futuro x presente, taxa real de retorno, taxa de desconto, valor presente líquido, incluindo custos de planejamento, projeto, aquisição, custo de operação, posse e até descarte do ativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5462. **Confiabilidade e Mantenabilidade**, Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AURELIO, O **minidicionário da língua portuguesa**. 4ª edição revista e ampliada do minidicionário Aurélio. 7ª impressão – Rio de Janeiro, 2002.

BASTOS, F. C.; MOCSÁNYI, V. **Gestão de pessoas na administração esportiva: considerações sobre os principais processos**. Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte, São Paulo, 2005.

CARVALHO, André Moreira; GOMES, Geraldo Messias; BORGES, Marcio de Castro; FERREIRA JÚNIOR, Nilton Bráz. **Implantação de Sistema Informatizado para Planejamento e Controle da Manutenção** – Empresa Vileplex. 2009. 91f. Monografia (Tecnólogo em Manutenção Industrial) – Universidade Vale do Rio Doce, Governador Valadares, 2009.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: MAKRON Books, 1996. 209 p.

CLARO, Patriki da Costa Amorim. **Análise das ocorrências de paradas para manutenção e confiabilidade de processo de um virador de vagões**. 2020. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FABRO, Natália Piccinini. **Estudo do sistema de tratamentos de falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas em caminhões fora de estrada: o caso de uma empresa de mineração**. 2021. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

FALCETTA, Eduardo Fiorin. **Análise da Confiabilidade de Produtos baseada em Dados de Utilização da Garantia.** 2000. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

FERNANDES, Nilson José. **Estudo da fluidodinâmica e da secagem de um forno segador rotatório da indústria de fertilizantes.** 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

FIRMINO, P. R. A. et al.: **Diagramas espirais, método auxiliar para a resolução ótima de árvores de falhas.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXIV, 2004, Florianópolis. Anais...Porto alegre: ABEPRO, 2004.

FOGLIATTO, F.; RIBEIRO, J. – **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** São Paulo: Elsevier Ed., 2009.

GAIO, Evandro Dias. **Proposta de um Plano de Manutenção de um Equipamento Industrial Através da Utilização de Ferramentas da Manutenção Centrada em Confiabilidade.** 2016. 66f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GREGÓRIO, G. F. P. **Manutenção Industrial.** São Paulo: Editora Sagah Educação S.A., 2018

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica.** 3ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.

LAKATOS E. M; MARCONI, M, A. **Técnicas de Pesquisa.** 5ª Ed. – São Paulo: Editora Atlas, 2002.

LAMAS, Lorenzo Mol. **Estudo das contribuições da implantação do planejamento e controle da manutenção (PCM): estudo teórico de múltiplos casos.** 2021. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

LUCATELLI, Marcos Vinícius. **Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares**. 2002. 285 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MOUBRAY, J. *Reliability-Centered Maintenance*. 2nd ed - Woodbine, NJ Industrial Press Inc., 1997

NUNES, E. L. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): Análise de implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. 146f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

O'CONNOR, P. D. T. *Practical Reliability Engineering*, New York: John Wiley & Sons Ltda, 1991.

OLIVEIRA, Francisco de Paula. **Estratégica de manutenção: estrutura, ferramentas, benefícios, custos e melhoria contínua**. 2010.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. (2008). **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, v.4.

PERRY, R, C, *Chemical engineering handlook*. McGraw-Hill, 1997, 7th, Cd-ROM, Nova York, Estados Unidos.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**, 2002. Contrato 2002/001604

RABELO, Diego Gusmão. **Estudo sobre métodos, técnicas e ferramentas da qualidade que possuem melhor aplicabilidade para garantir a confiabilidade dos equipamentos na indústria da mineração**. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

RAMOS, Pedro Gonçalo Diniz. **Organização e Gestão da Manutenção Industrial: aplicação teórico-prática às fabricas lusitana, produtos alimentares**, 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2012.

SALGADO, Marcia de Fatima Plátilha. **Aplicação de técnicas de otimização à Engenharia de Confiabilidade**. 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica,

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, Diego José Sacramento. **Estudo da aplicação de softwares na engenharia de confiabilidade: o estudo de casos múltiplos**. 2017. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SERRA, Luiz Fernando Nascimento. **Proposta de um plano de manutenção preventiva para bombas de polpa de rejeitos de minério**. 2018. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SILVA, Luann Reis e. **Estudo da confiabilidade da manutenção aplicada a tratores de esteira: o caso de uma empresa de mineração**. 2019. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

SILVA, R. A.; O. R. **Qualidade, padronização e certificação**. Curitiba (PR): Ed. InterSaberes: 2017, 256 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002. 703 p.

SOARES, Vinícius Moraes Souza. **Proposta de implantação de PCM para uma oficina mecânica de uma entidade filantrópica**. 2019. 51 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

FIGUEREDO, Luiz Eugenio Moraes. **Análise da relação entre remuneração, treinamento e produtividade em uma empresa de reforma de pneus**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SOUZA, Rubens Antonio de. **Confiabilidade e falhas de campo: uma metodologia para suporte ao projeto**. 1999. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

VIANA, H. R. G. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Qualimark LTDA., 2002.

VIDAL, Victor Guimarães. **Estudo da influência da gestão de fornecedores no PCM de equipamentos móveis de uma empresa de mineração**. 2021. 68 f. Monografia (Graduação em

Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora Desenvolvimento Gerencial, 1998.