

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

LUÍS HENRIQUE JESUS DA SILVA

**IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (MCC) NO SETOR DE MISTURAS DE UMA EMPRESA DE
FABRICAÇÃO DE MATERIAIS DE ATRITO**

CAXIAS DO SUL

2020

LUÍS HENRIQUE JESUS DA SILVA

**IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE MANTUENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (MCC) NO SETOR DE MISTURAS EM UMA EMPRESA DE
FABRICAÇÃO DE MATERIAIS DE ATRITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador Prof. Me. Celso Ferrarini

CAXIAS DO SUL

2020

LUÍS HENRIQUE JESUS DA SILVA

**IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (MCC) NO SETOR DE MISTURAS DE UMA EMPRESA DE
FABRICAÇÃO DE MATERIAIS DE ATRITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em 09/11/2020

Banca Examinadora

Prof. Me. Celso Ferrarini
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Elton Fabro
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Albano Luiz Weber
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico este trabalho a minha família e a futura esposa Ana Silva Canabarro Cunha pelo acompanhamento e apoio dado em toda a minha jornada para Graduação.

*O sucesso não é a chave para a felicidade. A
felicidade é a chave para o sucesso.*

Albert Schweitzer

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo implementar o método de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e analisar os dados gerados através desta implementação em uma unidade de misturas de uma empresa de fabricação de materiais de atrito para frenagem, com objetivo de garantir a sustentabilidade e o aumento da competitividade. Devido à crescente exigência da manufatura para atingir os altos índices de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, o setor de manutenção tem cada vez mais se mostrado estratégico para a indústria. A Manutenção Centrada em Confiabilidade insere técnicas e análises estatísticas estruturadas a fim de determinar qual e quando a melhor estratégia de manutenção deve ser implementada nos equipamentos e sistemas, buscando não apenas a mitigação de possíveis falhas, mas trazendo um olhar financeiro de qual o melhor momento de substituição de algum componente. O método implementado traz consigo não apenas as análises que devem ser desenvolvidas mas também a mudança de cultura da manutenção, focando no ganho de confiabilidade das funções de máquinas e equipamentos através de ações sistemáticas e pontuais. Gerando ao final deste trabalho, um modelo de aplicação da manutenção centrada na confiabilidade.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade, MCC, RCM, Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial de Máquina, MFMEA

ABSTRACT

This work aims to implement the Reliability Centered Maintenance (RCM) method and analyze the data generated through this implementation in a mixing unit of a company that manufactures friction materials for braking, in order to ensure sustainability and increase competitiveness. Due to the growing demand of manufacturing to achieve high levels of availability and reliability of equipment, the maintenance sector has increasingly shown itself to be strategic for the industry. Reliability Centered Maintenance inserts techniques and structured statistical analyzes in order to determine which and when the best maintenance strategy should be implemented in the equipment and systems, seeking not only the mitigation of possible failures, but bringing a financial look at the best moment replacement of any component. The implemented method brings with it not only the analyzes that must be developed but also the change in the maintenance culture, focusing on gaining the reliability of the functions of machines and equipment through systematic and punctual actions. Generating at the end of this work, an application model of reliability centered maintenance.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, RCM and Analysis of Potential Machine Failure Modes and Effects, MFMEA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das Técnicas de Manutenção.....	14
Figura 2 – Desenvolvimento da Manutenção	14
Figura 3 – Resistência à Falha	23
Figura 4 – Os diversos aspectos da confiabilidade.....	26
Figura 5 – Curva da Banheira.....	30
Figura 6 – Diagrama de Implementação da MCC.....	33
Figura 7 – Etapas de Implementação da MCC	34
Figura 8 – Equipe de implementação MCC	35
Figura 9 – Formulário FMEA.....	37
Figura 10 – Cálculo do Número de Prioridade de Risco.....	40
Figura 11 – Diagrama de Decisão	42
Figura 12 – Lógica de Segurança	43
Figura 13 – Lógica de Operação.....	44
Figura 14 – Misturador MFR-0410	47
Figura 15 – Disponibilidade Setor de Misturas	48
Figura 16 – Fluxograma de implementação	50
Figura 17 – Diagrama de Pareto	53
Figura 18 – Ordens de Manutenção x Duração de parada.....	54
Figura 19 – Modo de Falha MFMEA.....	56
Figura 20 – Consequência da Falha.....	57
Figura 21 – Número de Prioridade de Risco	58
Figura 22 – Ações Aplicáveis.....	60
Figura 23 – Tarefas Propostas	61
Figura 24 – Lógica de Decisão	63
Figura 25 – Ações Efetivas e Aplicáveis.....	64
Figura 26 – Frequência de Tarefas	65
Figura 27 – Confiabilidade do Cabo de Aço	66
Figura 28 – Ponto Ótimo de Manutenção.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação da Manutenção Tradicional com a MCC	29
Quadro 2 – Objetivos de cada etapa de implementação da MCC	34
Quadro 3 – Severidade das Consequências	39
Quadro 4 – Detecção de Falhas	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Probabilidade de Ocorrência	38
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGREE	Grupo Assessor em Confiabilidade de Equipamentos Eletrônicos
FAA	Administração Federal de Aviação
FMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial
ISO	Organização Internacional de Normalização
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MFMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial de Máquina
MSG	Grupo Diretor de Manutenção
NBR	Norma Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
PFMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial do Processo
RCM	Manutenção Centrada em Confiabilidade
TCC	Trabalho de Conclusão do Curso
TPM	Manutenção Produtiva Total
UCS	Universidade de Caxias do Sul
ESA	Segurança e Meio Ambiente Evidente
OSA	Segurança e Meio Ambiente Oculta
EEO	Operacional ou Econômica Evidente
OEO	Operacional ou Econômica Oculta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo geral.....	16
1.3.2	Objetivos específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	18
2.2	MÉTODOS DE MANUTENÇÃO	19
2.2.1	Manutenção Corretiva	19
2.2.2	Manutenção Preventiva.....	20
2.2.3	Manutenção Preditiva	21
2.2.4	Manutenção Produtiva	23
2.2.5	Manutenção Prescritiva	24
2.2.6	Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)	25
2.2.6.1	História da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)	26
2.2.6.2	Objetivos e benefícios da Manutenção Centrada em Confiabilidade	27
2.2.6.3	Implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade	31
2.2.6.3.1	<i>Primeira Etapa de Implementação</i>	<i>35</i>
2.2.6.3.2	<i>Segunda, Terceira e Quarta Etapa de Implementação</i>	<i>36</i>
2.2.6.3.3	<i>Quinta Etapa de Implementação</i>	<i>41</i>
2.2.6.3.4	<i>Sexta Etapa de Implementação.....</i>	<i>41</i>
2.2.6.3.5	<i>Sétima Etapa de Implementação</i>	<i>45</i>
3	PROPOSTA DE TRABALHO	47
3.1	CENÁRIO ATUAL	47
3.2	PROPOSTA DE TRABALHO.....	49
3.2.1	Seleção da equipe e do processo	50
3.2.2	Análise de modos de falhas e efeitos.....	51

3.2.3	Seleção da função significativa	51
3.2.4	Seleção de atividades aplicáveis.....	52
3.2.5	Avaliação da efetividade das ações.....	52
3.2.6	Seleção das atividades aplicáveis e efetivas	52
3.2.7	Definição da periodicidade das atividades	52
4	IMPLEMENTAÇÃO	53
4.1	SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO E EQUIPE DE IMPLEMENTAÇÃO	53
4.2	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS	55
4.3	DEFINIÇÃO DE FUNÇÃO SIGNIFICANTE	59
4.4	AÇÕES APLICÁVEIS	59
4.5	SELEÇÃO E EFETIVIDADE DAS AÇÕES.....	62
4.6	PERIODICIDADE DAS AÇÕES	65
5	CONCLUSÃO.....	68
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICE A – Disponibilidade de equipamento críticos 2019.....	71
	APÊNDICE B – Planilha MFMEA.....	732

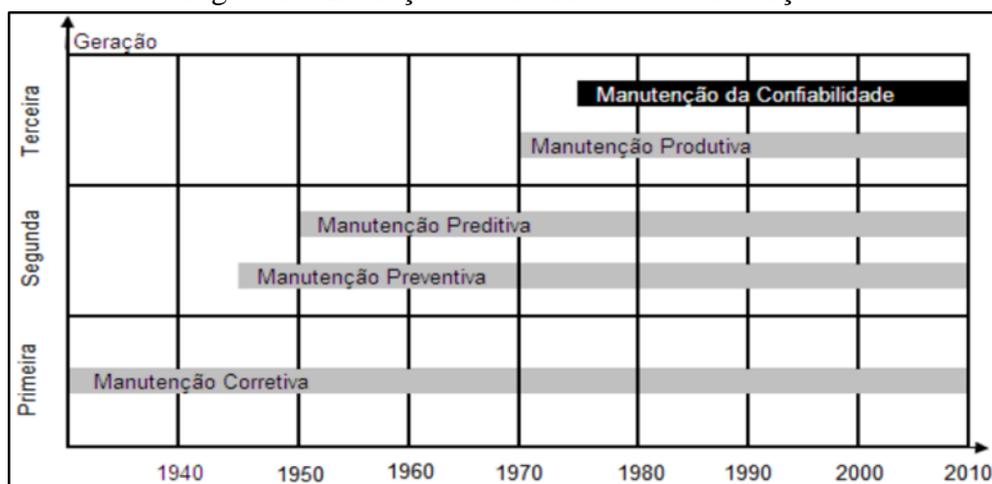
1 INTRODUÇÃO

Com a crescente globalização e redução de mercados protecionistas, cada vez mais a concorrência nacional e global tem se mostrado um grande desafio para ser superado nas empresas. Seguindo na conjectura de redução de custos ou na ideologia de fazer mais com menos, a manutenção tem se mostrado um setor estratégico para superação destes desafios. Saindo do conceito de ser um centro de custo, onde atua apenas após a falha do equipamento, e se tornar um centro de lucros, onde através da gestão dos ativos da empresa, busca a total utilização daquele equipamento, mantendo e melhorando sua disponibilidade, reprodutibilidade e produtividade ao longo de sua vida útil.

Através dos aumentos de índices de automatização das linhas, conectividade entre os equipamentos e conceitos da produção enxuta, perdas mínimas de tempos de produção em equipamentos críticos ou gargalos, acabam impactando diretamente nos resultados e indicadores, como produtividade, qualidade e disponibilidade. Onde somente as técnicas de manutenção corretiva e manutenção preventiva não conseguem suportar tal demanda e expectativa para atingir os resultados. Neste ponto, o envolvimento do Engenheiro Mecânico se faz necessário na busca de técnicas e aplicações que viabilizam o aumento de confiabilidade dos equipamentos e sistemas, garantindo assim, que o equipamento desenvolva a sua função requerida, no tempo necessário e com a qualidade esperada.

Seguindo nesta busca pelas melhores práticas de manutenção e conservação de equipamentos, muitos métodos foram desenvolvidos e implementados ao longo da história da indústria. Conforme a Figura 1, temos na primeira geração, após a primeira guerra mundial, uma manutenção reativa que aguarda o momento da quebra para poder tomar ação de correção, onde muitas vezes se observavam sistema superdimensionados e mecanizados (SIQUEIRA, 2014). Na segunda geração, após a segunda guerra mundial, observamos uma escassez de mão de obra especializada e um aumento significativo nas linhas contínuas de produção, gerando uma necessidade de esforços científicos para desenvolvimento de técnicas na busca pela prevenção das falhas de linhas e de sistemas, através destes fatos, se desenvolveram as técnicas de manutenção preventiva e preditiva (SIQUEIRA, 2014). Com a chegada de sistemas automatizados e as grandes demandas de produção devido ao consumo mundial, métodos como a Manutenção Produtiva Total e Manutenção Centrada em Confiabilidade foram se desenvolvendo, assim como se disseminando na cadeia de indústrias que buscam melhores resultados de seus sistemas de produção. (SIQUEIRA, 2014).

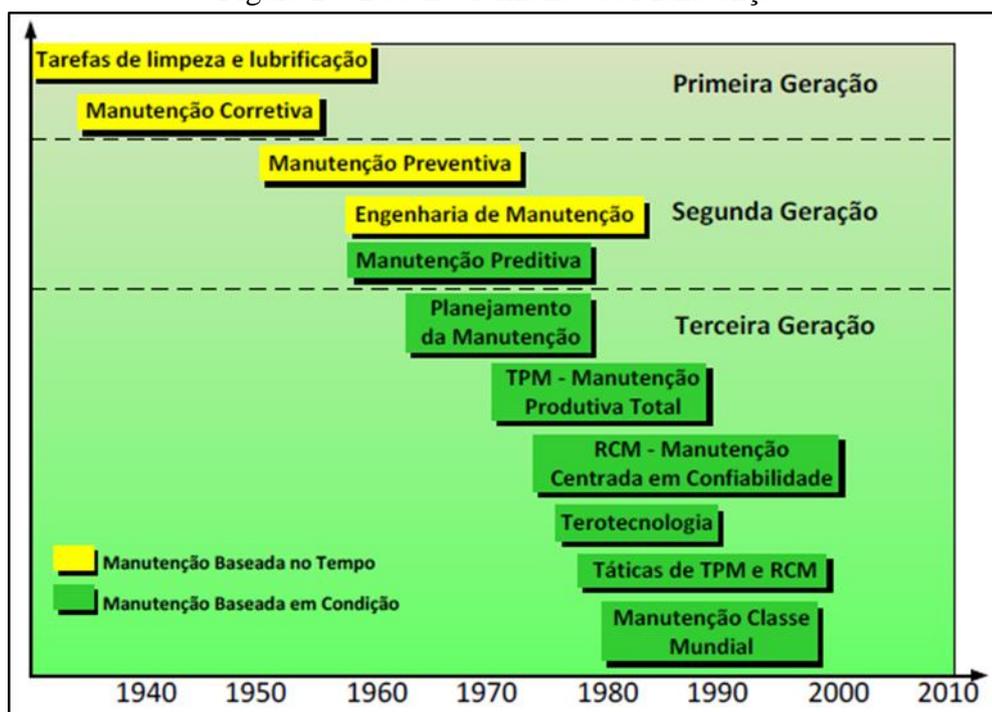
Figura 1 – Evolução das Técnicas de Manutenção



Fonte: Siqueira (2014, p. 04).

Assim como as técnicas apresentadas anteriormente, temos a evolução da manutenção para Manutenção de Classe Mundial e Gestão de Ativos ISO 55000, que cada vez mais alavancam uma busca constante por práticas mais eficientes na identificação e contenção das falhas, devendo ser aplicadas antes mesmo da aquisição dos equipamentos, onde a manutenção tem uma atuação constante e decisória para aquisição de processos e equipamentos, além do manutenção e gestão do ativo após sua instalação. Sendo possível a visualização na Figura 2 – Desenvolvimento da Manutenção.

Figura 2 – Desenvolvimento da Manutenção



Fonte: Gutiérrez (2005, p. 27).

Sendo assim, este trabalho tem o foco na área de manutenção de uma empresa de fabricação de materiais de atrito, para o controle e segurança na movimentação de cargas e pessoas, trazendo para dentro do setor de manutenção, técnicas que apresentam melhores resultados e com o custo mais adequado, viabilizando através de um conceito técnico, a utilização do máximo de disponibilidade do equipamento e seus componentes além de estabelecer uma metodologia já consolidada e com grandes resultados em setores aeroespaciais, aeronáuticos e militares.

1.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

Fundada em 1954 e sediada em Caxias do Sul, a Fras-le S. A. pertence ao Grupo Randon, desde o final da década de 1990 e é uma das empresas que se destacam entre os maiores fabricantes de materiais de fricção do mundo. Sendo o seu negócio a fabricação de materiais de fricção para controle de movimentos nas estradas, trilhos e pistas de pouso, garantindo a segurança na movimentação de cargas e pessoas. Tem a comercialização de seus produtos em mais de 120 países e fabricas distribuídas no Brasil, Estados Unidos, Argentina, Uruguai, Índia e China, além de centros de distribuição estrategicamente alocados ao redor do mundo. Possui um dos mais avançados centros de pesquisa e desenvolvimento da América Latina.

O setor de Manutenção dentro da empresa tem a constante busca com o seu objetivo em se tornar uma manutenção de Classe Mundial até o ano de 2023 e através dessa necessidade aplicassem-se técnicas como, Manutenção Produtiva Total (TPM), na qual é uma referência na região, manutenção preventiva, manutenção preditiva, engenharia de manutenção, análises de falhas, gestão de estoque e planejamento e controle de manutenção.

1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste trabalho se alinha na busca pelo aumento de confiabilidade e disponibilidade dos sistemas através de uma forma sustentável de aplicação, otimizando os recursos necessários, como, a mão de obra técnica aplicada, materiais utilizados, definindo o momento correto e com a definição de quais os recursos corretos. O mesmo também se conecta com a necessidade da empresa, em desenvolvimento constante para obter uma Manutenção de Classe Mundial.

A empresa dispõe de várias linhas de produção, divididas em vários sistemas. O sistema escolhido para aplicação do o estudo é o de fabricação de pastilhas de freio, que passam

pelos processos de misturas, a qual é única para todas as linhas, prensagem, tratamento térmico, retifica, pintura e embalagem. Sendo o equipamento escolhido um Misturador Semco de 1200 litros que é a entrada de todo o processo do sistema. A parada do mesmo significa a falta de abastecimento de todas as linhas subsequentes e se torna ainda mais crítico por ser um equipamento único dentro do sistema, gerando atrasos de produção e conseqüentemente atrasos na entrega de produtos ao cliente final da empresa.

Temos também o custo elevado das peças de reposição do equipamento e a responsabilidade sobre a qualidade da mistura, que além da produtividade, pode impactar diretamente no custo da peça produzida.

Mesmo tendo hoje as técnicas de manutenção preventiva sendo executadas neste equipamento, observamos uma ineficiência nas suas descrições e aplicações, onde são desprezadas horas técnicas, horas de equipamento e peças de reposição, sem a garantia da confiabilidade do sistema, observados por não atingir os resultados de indicadores como o de disponibilidade. Motivo principal pela escolha do equipamento, o qual está com a performance a baixo do seu limite aceitável de 98%, tendo o mesmo, impactos na cadeia de fabricação das linhas de pastilhas de freios.

Esta aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) neste equipamento se justifica em função das necessidades de aumento da disponibilidade, redução de custos e com a busca constante de melhorias nos processos. O mesmo se alinha também com as necessidades da manutenção na experiência e no ganho de conhecimento para as primeiras aplicações do método.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é a demonstração e implementação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em um equipamento de misturas, criando um modelo de implementação e histórico para outros equipamentos assim como gerar um aumento na confiabilidade no sistema aplicado.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) analisar os dados estatísticos de histórico do equipamento;

- b) implementar os conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade;
- c) implementar a ferramenta de análise MFMEA;
- d) implementar ações sustentáveis de prevenção para os modos de falhas;
- e) identificar as peças críticas do sistema para alocação em estoque controlado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante anos a manutenção industrial vem se transformando e se atualizando para atendimento e otimização de novos processos, cada vez mais complexos e interligados, onde os níveis de automação e padrões de qualidade são cada vez mais elevados. Para que isso ocorra, são exigidos aperfeiçoamentos e técnicas inovadoras que consigam garantir a confiabilidade dos sistemas, com a busca constante pela falha zero.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) manutenção pode ser definida por “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item num estado no qual possa desempenhar uma função requerida. A manutenção pode incluir uma modificação do item.”. (NBR 5462, 1994, p. 06)

De acordo com Moubrey (1997), a manutenção vem ao longo dos anos se destacando pela evolução e acompanhamento das necessidades industriais, assumindo cada vez mais um papel de responsabilidade sobre todo o sistema industrial, cuidando não apenas de equipamentos, mas como de plantas e construções. Exigindo dos engenheiros e técnicos respostas mais rápidas e assertivas sobre falhas de sistemas assim como trata-las de forma correta. Desenvolvendo ao longo desta evolução, novas técnicas.

Conforme Filho (2008), a manutenção é uma série de execuções para que um reparo aconteça. Levando em consideração a necessidade de crescimento, lucratividade e competição industrial da empresa, as atuações de manutenção devem ser cada vez menos empíricas, atuando com conceitos de planejamento de manutenções e custos, para que não somente o técnico saiba onde e quando atuar mas para que o reparo seja executado de uma forma eficiente, produtiva e ordenada junto com o alinhamento da equipe de operação, para que os mesmos saibam exatamente o que esperar e exigir do equipamento.

Na visão de Kardec e Lafraia (2002, p. 03), “a Manutenção existe para que não haja manutenção” se referindo as manutenções corretivas não planejadas, o cenário atual não permite uma atuação da manutenção reativa com conceitos de falha e conserta, mas sim uma visão estratégica de encaminhamento da empresa para a excelência operacional. Exigindo do setor de manutenção, estratégias, competências, velocidade e uma cultura de mudança voltadas para a satisfação plena do cliente e a sustentabilidade do negócio.

2.2 MÉTODOS DE MANUTENÇÃO

Conforme a evolução da manutenção ao longo dos anos, alguns métodos de manutenção foram surgindo para atendimento das necessidades, como forma de se tratar as prováveis falhas dos sistemas. Neste capítulo serão tratados os tipos de manutenção corretiva, preventiva, produtiva, preditiva e prescritiva assim como a aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade.

2.2.1 Manutenção Corretiva

Para iniciar a explicação é necessário a definição de dois conceitos, conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462, 1994), o defeito é qualquer desvio de característica de algum equipamento ou item, sem representar perda da sua funcionalidade, como também não gera uma parada imediata, já a falha representa a perda característica da função do item ou do equipamento, gerando assim a parada funcional.

De acordo com Filho (2008), a manutenção corretiva pode ser separada em dois diferentes tipos. Corretiva emergencial, onde o item ou equipamento para devido a uma falha e se faz necessário o seu atendimento imediato. Corretiva programada, onde o equipamento sofreu uma falha e fica em estado de parada até o seu reparo. Também é observado que não podemos cometer o erro de confundir intervenções em equipamentos com defeito, onde não temos a parada do equipamento, com manutenção corretiva, sendo estas intervenções consideradas programadas.

Pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462, 1994), a corretiva é uma manutenção realizada após a identificação de uma falha ou defeito, com o objetivo de colocar um componente ou equipamento em condições de exercer a sua função requerida.

Conforme Siqueira (2014), a manutenção corretiva é um reparo funcional, aceito e aplicado em casos onde não teremos riscos à segurança ou preservação do meio ambiente. Determinada através de estudos de confiabilidade, os quais apontam ser mais lucrativo ou vantajoso esperar o item falhar para posterior reparo ou substituição. Esta manutenção é geralmente selecionada e aplicada para itens não críticos que possam ser reparados em curtos espaços de tempo.

Para Lafraia (2001), a manutenção só pode ser classificada de duas maneiras, em manutenção corretiva ou preventiva, sendo a primeira executada de forma não planejada e em

momentos não desejados, onde nela, contempla todas as ações desenvolvidas para que um sistema retorne do seu estado de falha para um estado operacional.

A manutenção corretiva ocorre após a falha de um equipamento e seu objetivo é trazê-lo a operação no menor tempo possível (FOGLIATTO; DUARTE, 2009).

Em uma estratégia de manutenção corretiva geralmente a deterioração gradativa de todos os sistemas e equipamento ao longo de sua utilização, onde os manutentores estão sempre preocupados com a próxima quebra e a previsibilidade de falha não existe, acaba gerando nos setores de manutenção e produção um clima pesado de trabalho devido aos riscos ao meio ambiente e segurança da operação. Tal estratégia acaba gerando um custo de manutenção mais baixo em curto prazo, não sendo vantajoso devido ao custo ao longo prazo e perdas produtivas ou falhas críticas de qualidade, podendo colocar o cliente final em risco de segurança ou até mesmo uma catástrofe ambiental. Geralmente podendo ser utilizada em sistema onde é mais barato aguardar a sua falha para posterior recuperação e em sistemas que não gerem risco a segurança, produtividade ou qualidade do produto (FILHO, 2008).

Para Almeida (2015), a estratégia de manutenção corretiva impossibilita o dimensionamento de mão de obra de uma forma coerente, trabalhando algumas vezes com equipe subdimensionadas onde o número de corretivas sempre se eleva, ou com equipes superdimensionadas onde a ociosidade acaba levando a mão de obra técnica para execução de atividade não correlacionadas diretamente com a manutenção industrial.

2.2.2 Manutenção Preventiva

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas, a manutenção preventiva é, “Manutenção efetuado em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.” (NBR 5462, 1994, p. 07).

Para Filho (2008), a manutenção preventiva são todas as manutenções realizadas em processos e equipamentos que estão ainda em operação, podendo o mesmo possuir ou não um defeito. Nesta estratégia de manutenção, acabamos tendo consequências negativas no sistema financeiro da manutenção, pois são direcionadas horas de técnicos e máquinas paradas para revisão e troca de componentes que ainda estão em plena operação devido a oportunidade, a fim de se evitar falhas mais onerosas para o sistema. Neste sistema que muitas vezes são baseados em um calendário com anual, não são levados em consideração a vida útil real dos

componentes, como tempo de operação ou número de ciclos, gerando uma troca desnecessária no momento incorreto.

Na visão de Almeida (2015), a manutenção preventiva surgiu acompanhando a industrialização para redução do número de falhas dos equipamentos conforme sua definição, a manutenção preventiva é a manutenção planejada e controlada, realizada em datas predeterminadas, de modo a manter a máquina ou o equipamento em corretas condições de funcionamento e conservação, evitando paradas imprevistas. O planejamento é possível utilizando-se históricos de manutenções corretivas, realizadas através de apontamentos em fichas de execuções ou sistemas digitais e informações sobre a vida útil das peças, fornecidas pelo fabricante. Através desta metodologia é possível observar algumas vantagens como:

- a) possibilidade de dimensionamento correto da mão de obra da manutenção, por se tratar de manutenções planejadas, se fez possível reduzir o tempo de ociosidade da manutenção;
- b) evitar a falta de peças para execução de uma manutenção, planejando a entrega do material para a data mais próxima da execução, não gerando assim estoques desnecessários;
- c) aumento de indicadores de disponibilidade do sistema, planejando as paradas de forma correta e atuando nos defeitos antecedendo as falhas;
- d) aumento do Índice do Rendimento Operacional Global através de ganhos na disponibilidade, qualidade e reprodutibilidade dos sistemas;
- e) aumento da Segurança aos operadores e redução do risco em relação a acidentes ambientais.

Mesmo com as vantagens antes citadas, essas técnicas são somente aceitáveis em sistemas e manutenções que julgam a situação atual como satisfatória, pois na mesma não são desenvolvidas melhorias e o custo da manutenção se mantém. Gerando assim margem para que a concorrência evolua e consiga apresentar melhores resultados (FILHO, 2008).

2.2.3 Manutenção Preditiva

Ao longo da evolução da automação nas plantas industriais com alta produtividade, paradas para manutenções corretivas e ou mesmo preventivas, geravam perdas financeiras elevadas, aumentando o custo de produção e do item final. A partir desta necessidade, técnicas não invasivas de manutenção foram se desenvolvendo, onde não se fazia necessário a parada do equipamento para manutenção, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas

(NBR 5462, 1994, p. 07), a preditiva é, “Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”.

Para Filho (2008), a manutenção preditiva é toda e qualquer monitoramento e acompanhamento de possíveis defeitos que os equipamentos possam apresentar ao longo de sua vida útil. Onde através desta técnica é possível determinar a vida útil de algum componente específico e ter a previsibilidade correta para troca, utilizando quase que por completamente o recurso deste componente.

Através da manutenção preditiva é possível monitorar as condições reais de funcionamento dos equipamentos, com o acompanhamento de fenômenos físicos e químicos como vibração, temperatura, variação em harmônicas de correntes elétricas, análises físico-químicas de óleos entre outros. Com a inspeção periódica destes fenômenos poderemos planejar a execução no momento correto para substituição ou correção do componente que apresenta defeito (ALMEIDA, 2015).

Para Almeida (2015) após a implementação e acompanhamento destes parâmetros, é possível através da manutenção preditiva, determinar as vantagens que a técnica proporciona:

- a) aproveitamento da vida útil do componente;
- b) planejamento da reposição do item no momento correto, reduzindo os estoques;
- c) redução de custos em preventivas desnecessárias e corretivas indesejadas;
- d) aumento de produtividade;
- e) confiabilidade de sistemas e aumento de segurança;
- f) planejamento de paradas programadas com execuções pontuais e com tempo de reparo mais curto.

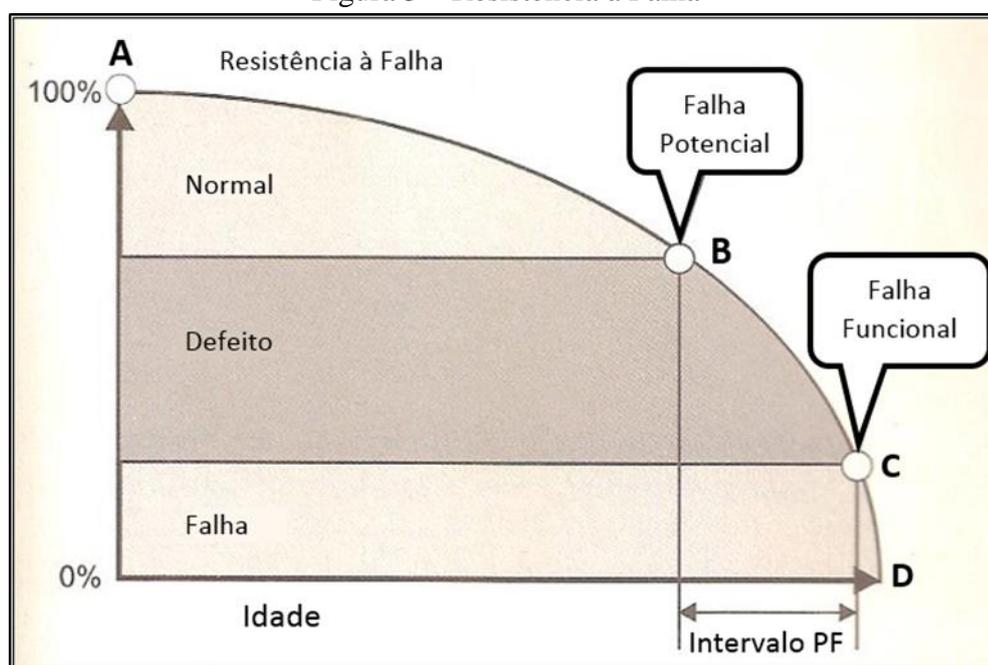
Importante salientar também que estas técnicas preditivas geralmente tem um custo elevado de ferramentas e treinamentos dos técnicos ou de possíveis terceirizações. A manutenção preditiva deve ser implementada em equipamento críticos para empresa, onde o custo da falha é muito elevado. As implementações genéricas de técnicas em vários equipamentos acabam gerando dados e análises desnecessárias e conseqüentemente, elevando o custo (FILHO, 2008).

Para Siqueira (2014), tão importante quanto ter a técnica de manutenção preditiva implementada no controle de manutenção, é escolher corretamente a degradação a ser acompanhada, onde a periodicidade de acompanhamento dos parâmetros deve reduzir

conforme a variação indesejada dos componentes em direção a uma falha. Viabilizando assim o momento correto da intervenção antes da falha funcional do sistema.

Conforme a Figura 3, mantemos um intervalo maior entre as inspeções durante o período normal de trabalho, do ponto A até o ponto B, devido ao fato da resistência à falha ainda ser elevada. Após a identificação do defeito, entre os pontos B e C, reduzimos o intervalo entre as inspeções para acompanhamento da vida útil do componente, tentando levar a troca para a linha mais próxima do ponto C.

Figura 3 – Resistência à Falha



Fonte: Siqueira (2014, p. 215).

2.2.4 Manutenção Produtiva

Como forma de organização e gerenciamento das técnicas vistas até o momento e com a visão sobre as causas das falhas serem interdependente em relação aos aspectos de má qualidade, no Japão após a segunda guerra mundial, se desenvolveu a técnica de Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*), a fim de utilizar o treinamento e a disciplina tanto da manutenção como da operação para alcançar e superar as necessidades e os desafios da alta competitividade. Essa visão do sistema gera um empoderamento não somente da manutenção, mas torna o operador dono do seu próprio equipamento, gerando assim um aliado na identificação, resolução, prevenção e melhorias dos sistemas (FILHO, 2008).

Conforme Siqueira (2014), o conceito da manutenção produtiva não contempla apenas a utilização da mão de obra de operação para realização de atividades mais simples, como

lubrificação e limpeza do equipamento. A mesma busca uma conscientização da mão de obra direta para um zelo e a busca por zero falhas, seguindo os seguintes pilares:

- a) busca pela eficiência do equipamento;
- b) autor reparo básico pelos operadores através de treinamentos e instruções;
- c) planejamento das atividades de manutenção para reduzir as perdas;
- d) capacitação e treinamento da mão de obra direta e indireta;
- e) implementação de sistemas de gerenciamento da vida completa do equipamento.

Sendo o item ‘e’ o conceito de aplicação de medidas e técnicas como PFMEA (*Project Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial), que vai ser detalhado mais à frente neste capítulo como MFMEA, na busca pela redução de falhas ocasionadas na concepção e preparação do projeto, antes mesmo da instalação e operação. Com a utilização de procedimento e limites de utilização dos equipamentos e processos, manutenção da vida útil do sistema e um sistema massivo de capacitação técnica (SIQUEIRA, 2014).

De acordo com Siqueira (2014), uma das principais vantagens na aplicação desta ferramenta é o envolvimento e a satisfação das pessoas, seguindo na mesma direção para o benefício único da empresa nos seguintes aspectos:

- a) auto realização e engajamento da equipe;
- b) redução de acidentes e defeitos de qualidade devido ao conhecimento do operador no equipamento ao qual está operando;
- c) melhores interações entre equipes e redução de barreiras para solução de problemas;
- d) redução de custos e reparos pelos conceitos aplicados na operação (cuidar da máquina como se fosse sua);
- e) reconhecimento da operação e redução da rotatividade de funcionários.

2.2.5 Manutenção Prescritiva

Com a chegada da quarta revolução industrial, a inclusão da tecnologia, informatização, conectividade e “*Big datas*”, aumentam a possibilidade de coleta e análise de dados. A manutenção prescritiva vem de encontro a esta revolução, conhecida como a manutenção do futuro, tem como conceito, a coleta de dados, como temperatura, vibração e nível de corrente, para posterior cruzamento entre todos os dados coletados e indicação das ações a serem realizadas (SIGGA, 2019).

Seu diferencial em relação a manutenção preditiva, está justamente no acompanhamento de forma *on-line* das coletas e nos cruzamentos das informações geradas por diferentes técnicas de acompanhamento. Através de análises de dados informatizadas ou inteligências artificiais, podemos ter uma previsibilidade de quando o equipamento ou componente vai gerar uma falha com mais exatidão, e através destas informações, gerar ações de manutenção mais precisas para correção da falha antes que a mesma ocorra (MAXINST, 2018).

Na manutenção prescritiva, não teremos os benefícios apenas da indicação da ação e no aumento de disponibilidade do equipamento, mas à redução da ociosidade de mão de obra, onde o próprio equipamento entra em contato com a manutenção para indicação de sua falha, não sendo mais necessário reportes técnicos de horas de execução e histórico de ações executadas. Neste momento estaremos com a inclusão da inteligência artificial, onde as análises de cada sistema são comparadas com bancos de dados de sistemas idênticos ou parecidos, para uma avaliação mais real e precisa (INDUSTRIA 4.0, 2018).

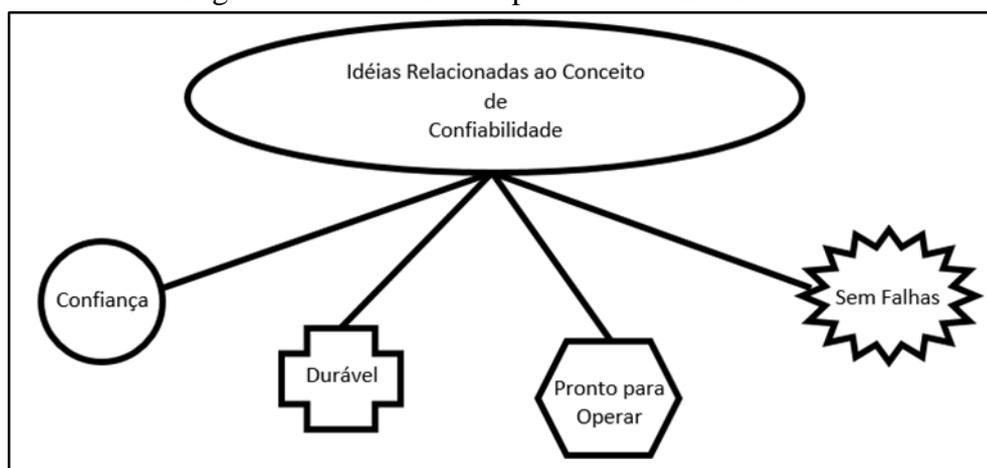
2.2.6 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

Para Associação Brasileira de Normas Técnicas, Confiabilidade é, “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.” (NBR 5462, 1994, p. 03). Na visão de Lafraia (2001, p. 01) Análise de Confiabilidade é, “A avaliação probabilística do risco/falha de um sistema ou produto...”.

Para melhoria constante do cenário atual da indústria, podemos acrescentar algumas técnicas da Manutenção Centrada em Confiabilidade, para maximização da eficácia econômica da manutenção, sendo levado em consideração, a taxa de falhas dos componentes e equipamento para determinação do tempo correto para intervenção e troca do mesmo (LAFRAIA, 2001).

Na visão de Lafraia (2001), a aplicação de confiabilidade deve ser implementada já na etapa de projeto, levando em consideração não apenas os coeficientes de segurança, mas também os estudos probabilísticos de falha do mesmo. Dando ênfase também nas condições e especificações de trabalho de um componente ou equipamento, onde para que o mesmo opere corretamente, se faz necessário o respeito a suas especificações e limitações. Para Lafraia (2001), a confiança que temos sobre a operação ou resultado de algum equipamento ou produto está diretamente relacionada com a confiabilidade dele conforme demonstrado na Figura 4 – Os diversos aspectos da confiabilidade.

Figura 4 – Os diversos aspectos da confiabilidade



Fonte: Lafraia (2001, p. 03).

Segundo Siqueira (2014), a Manutenção Centrada em Confiabilidade tem por objetivo fornecer um método de forma estruturada para especificar e selecionar o tipo de manutenção correta e na periodicidade correta de execução, para que um equipamento mantenha a sua função e atinja os resultados requeridos.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é um método que reúne várias técnicas de engenharia de Manutenção com o objetivo de assegurar a plena função especificada dos equipamentos de uma planta fabril, com uma abordagem sistemática a MCC tem se mostrado uma forma eficiente de manter as máquinas e equipamentos, alcançando excelências nos resultados de disponibilidade, custo, segurança e qualidade. Sendo estes resultados colhidos através do amplo envolvimento de áreas como engenharia, produção e segurança gerando assim um ambiente de engenharia simultânea (FOGLIATTO; DUARTE, 2009).

2.2.6.1 História da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

Após a segunda guerra mundial, o estudo de confiabilidade de projetos e sistemas se tornou cada vez mais latente para redução de falhas prematuras. Com exigências cada vez maiores e a crescente complexidade em sistemas eletrônicos, os problemas necessitam de diferentes abordagens, exigindo uma sistemática maior que a atual (PIAZZA, 2000).

Em 1952, o Departamento de Defesa americano iniciou os estudos em confiabilidade através da criação do *Advisory Group on Reability of Eletronic Equipment* (AGREE), focado em pesquisa e trabalhos relacionados com confiabilidade de equipamentos eletrônicos militares. Após a visualização dos benefícios dos estudos, as aplicações não ficaram apenas no âmbito militar, mas se espalharam pelas indústrias de bens e serviços, principalmente no Japão. Trazendo assim benefícios para economia e satisfação do cliente (PIAZZA, 2000).

Para Siqueira (2014), a transformação no campo social, com a dependência de sistemas automatizados, exigiu uma mudança de conceitos e técnicas para atendimento destas necessidades cada vez maiores em torno de segurança, utilização de recursos naturais, transparência e meios auditáveis de execução. Através desta evolução se desenvolveu a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Conforme Siqueira (2014), o primeiro evento onde foi aplicada a Manutenção Centrada em Confiabilidade foi para viabilizar a certificação da nova linha de aeronaves do modelo *Boing 747* (Jumbo), pela FAA (*Federal Aviation Authority*), onde devido à complexidade de seus novos sistemas de automação, as simples técnicas de manutenção preventiva do período não se tornavam economicamente viável, além de não garantir a confiabilidade e segurança de transporte para o triplo de passageiros em relação aos modelos anteriores.

Para esta situação, foi criada uma força tarefa conhecida pela sigla MSG-1 (*Maintenance Steering Group*), liderada por, Thomas D. Matteson, vice-presidente para Planejamento de Manutenção e engenheiros como F. Stanley Nowlan e Haword F. Heap, que desenvolveram o estudo e o relatório *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), ou Manutenção Centrada em Confiabilidade, garantindo assim a certificação para operação e comercialização no dia 30 de dezembro de 1969. A partir deste documento e de novos comitês com a mesma finalidade, a aplicação da metodologia se tornou obrigatória para novas aeronaves, influenciando e contribuindo para melhorias em novos projetos (SIQUEIRA, 2014).

Após o método ser difundido pela marinha e exército americano, novas releituras e normalizações da MCC começaram a surgir. Voltados para a indústria de bens e serviços, a metodologia começou a ser utilizada em unidades de geração de energia elétrica e nuclear. Consolidando cada vez mais os resultados e benefícios da aplicação, as indústrias químicas, extração e refino de petróleo, construção civil, siderurgias, celulose, alimentação, mineração, extração e transporte de gás, sistemas de bombeamento e até hospitais adotaram tais métodos (SIQUEIRA, 2014).

2.2.6.2 Objetivos e benefícios da Manutenção Centrada em Confiabilidade

Segundo Siqueira (2014, p. 16), cabe a Manutenção Centrada em Confiabilidade, “determinar os requisitos de manutenção para modos de falhas que possam causar falhas de quaisquer itens físicos em seu ambiente operacional...”, através desse método temos uma

mudança de visão na manutenção, onde antes se buscava preservar o equipamento e seus componentes, agora temos todos os itens descritos a baixo:

- a) preservar as Funções dos equipamentos, com a segurança requerida;
- b) restaurar sua confiabilidade e segurança projetada, após a deterioração;
- c) otimizar a disponibilidade;
- d) minimizar o custo do ciclo de vida;
- e) atuar conforme os modos de falhas;
- f) realizar apenas as atividades que precisam ser feitas;
- g) agir em função dos efeitos e consequências das falhas;
- h) documentar as razões para escolha das atividades.

Para Siqueira (2014), outro objetivo da Manutenção Centrada em Confiabilidade foi o questionamento sobre os atuais métodos aplicados, trazendo os termos de inspeções ao invés de revisões, para maximizar a utilização da vida útil dos componentes. Chegando em algumas conclusões onde é mais viável deixar o item falhar do que atuar na sua correção antecipada. Esses questionamentos também foram feitos as recomendações de fabricantes que em alguns casos acabam recomendando a troca ou substituição por tempo de vida, para aumento de seus lucros, sendo indicado na ata da MSG-3, “todas as recomendações de vendedores disponíveis devem ser totalmente consideradas, discutidas pelos grupos de manutenção e aceitas apenas se forem aplicáveis e efetivas, de acordo com o critério MSG-3” (SIQUEIRA, 2014, p. 15).

Conforme Siqueira (2014), no Quadro 1 podemos comparar as diferentes visões da manutenção tradicional em comparação com a Manutenção Centrada em Confiabilidade, onde os conceitos e aplicações da manutenção tradicional, que visam a manutenção e a conservação de algum componente ou equipamento específico, são substituídos pelas ideias de manter a função requerida do sistema ou processo ao qual necessitamos.

Quadro 1 – Comparação da Manutenção Tradicional com a MCC

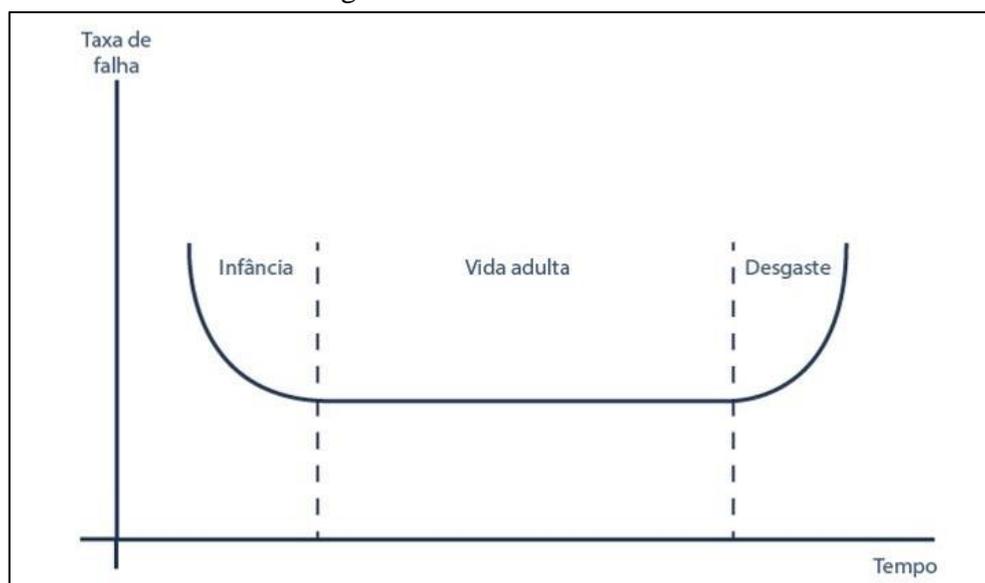
Características	Manutenção Tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o Equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatório e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Falhas	Consequências das Falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por Função

Fonte: Siqueira (2014, p. 17).

Para Moubray (1997), com a implementação correta das ferramentas da manutenção centrada em Confiabilidade, poderemos reduzir em até 70% as atividades rotineiras de manutenção, observando que o método indicado o que deve ser e na realização de atividade que realmente precisam ser feitas.

Na visão de Siqueira (2014), a MCC vem com o objetivo de trazer técnicas concretas de adequação das periodicidades corretas de execução das manutenções, quebrando muitos paradigmas como de grandes reformas para garantir a confiabilidade de sistemas, que de acordo com estudos realizado na década de 60 pela industrial aeronáutica americana, constatou que este método não produzia efeito sobre a confiabilidade do sistema, pois o mesmo se baseia na ideologia que todos os componentes tem a mesma curva característica de vida, Curva da Banheira mostrada na Figura 5. Onde é observado um maior número de falhas no início de vida do equipamento devido a erros de projetos, denominado como Infância. Seguido da Vida Adulta, onde o sistema se estabiliza através de melhorias. Apresentando na última seção, denominada como Desgaste, um aumento do seu número de falhas ao final de sua vida útil.

Figura 5 – Curva da Banheira



Fonte: NG Informática (2019).

Segundo Nowlan e Heap (1978), as reformas além de não garantirem a confiabilidade, acabavam introduzindo falhas no sistema, chegando a 68% das falhas com características de mortalidade infantil de acordo com os dados analisados.

Para Moubray (1997) os objetivos e resultados da implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade são:

- a) altos níveis de Segurança e Integridade do ambiente, o método traz um peso muito elevado em relação a segurança e a integridade do ambiente de trabalho;
- b) ganhos na performance operacional, o MCC aplica vários tipos de manutenção, trazendo para o equipamento a técnica correta e mais eficiente, assim como estudando se a ação aplicada vai gerar valor ao processo;
- c) otimização dos custos de manutenção, reduzindo significativamente as atividades que não geram valor ao processo, reduzindo também a necessidade de componentes substituídos sem necessidade assim como aplicação de mão de obra desnecessária;
- d) utilização de vida útil total de itens caros, através do acompanhamento e troca com base na condição do item;
- e) otimização dos planejamentos de manutenção, com a previsibilidade de quebra de componentes é possível planejar a compra e entrega de materiais;

- f) aumento na motivação da equipe, envolvimento nas análises e ações assim como trabalhos mais técnicos, geram mais motivações para que as equipes consigam atingir os resultados;
- g) trabalho em equipe, ganhos significativos de trabalho em equipe com produção e áreas afins, ficando claro para todos o que e quando deve ser feito, assim como esclarecendo funções e entendimento do equipamento.

Para Lafraia (2001), com a aplicação da Confiabilidade, teremos aumentos de lucro através da redução de paradas não programadas, redução do custo de manutenção e operação, redução de perdas por lucro cessante e redução da possibilidade de acidentes, além de fornecer um aumento de produtividade, flexibilidade de utilização, responder rapidamente as mudanças e cumprir com normas e legislações de segurança e meio ambiente. Aumentando também as informações quantitativas para elevar a segurança em investimentos.

Para Moubray (1997), ao término da implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em algum sistema ou equipamento, deve ser possível responder as seguintes questões:

- a) quais as funções a preservar?;
- b) quais as falhas funcionais?;
- c) quais os modos de falha?;
- d) quais os efeitos das falhas?;
- e) quais as consequências das falhas?;
- f) quais as tarefas aplicáveis e efetivas?;
- g) quais as alternativas restantes?.

Para Siqueira (2014), mais uma questão deve ser acrescentada nesta lista, com o objetivo de calcular a melhor frequência de execução:

- a) quais as frequências ideais das tarefas?.

2.2.6.3 Implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade

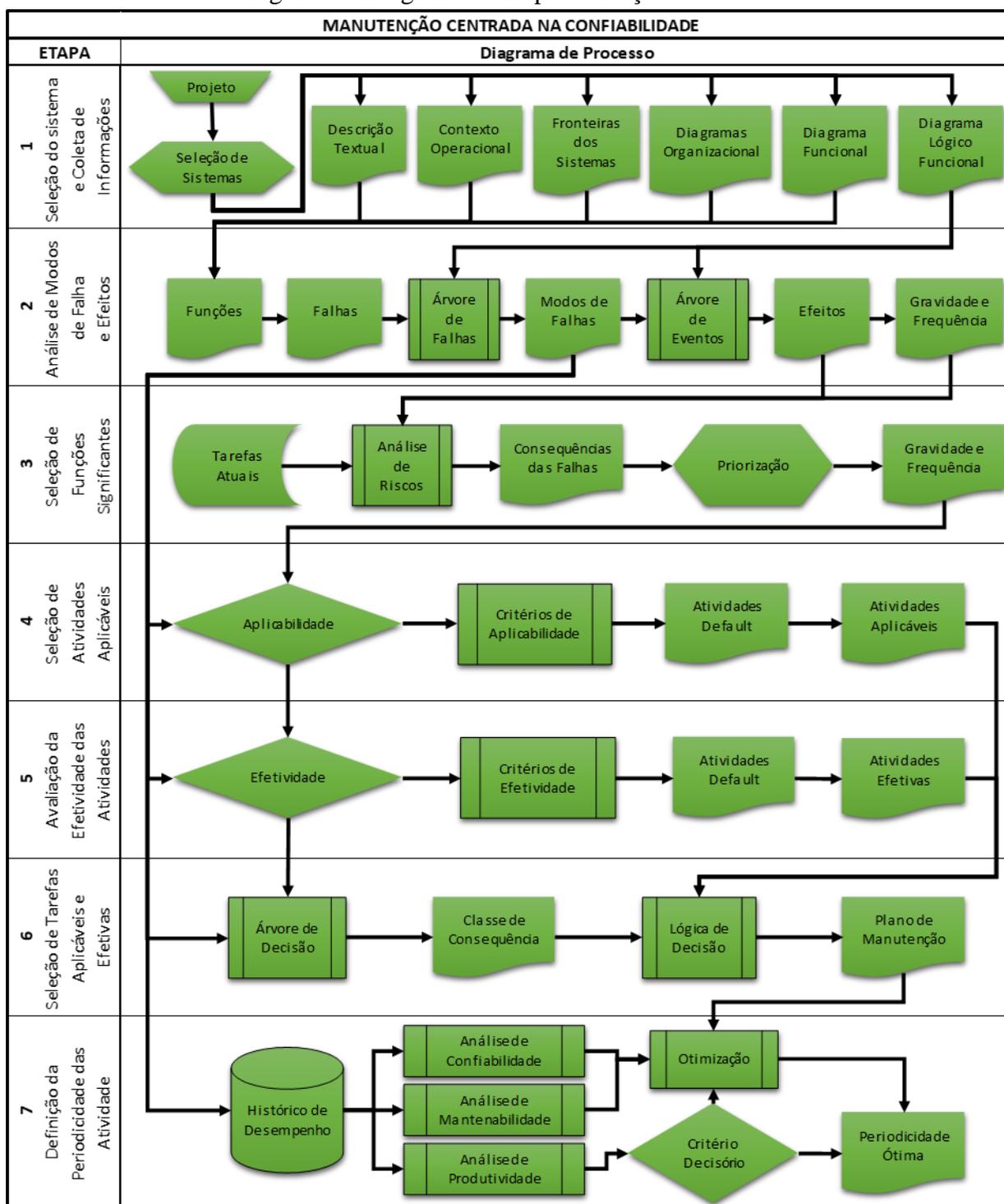
A metodologia de implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade pode variar de acordo com a visão do autor ou da literatura escolhida, adicionando ou reduzindo etapas de implementações, mas o objetivo central de responder as questões demonstradas no capítulo anterior é igual para todos.

Para Siqueira (2014), a metodologia da MCC adota uma sequência de sete etapas que é estruturada da seguinte forma:

- a) seleção do sistema e coleta de informações;
- b) análise de modos de falha e efeitos;
- c) seleção das funções significantes;
- d) seleção de atividades aplicáveis;
- e) avaliação da efetividade das atividades;
- f) seleção das atividades aplicáveis e efetivas;
- g) definição da periodicidade das atividades.

Em cada uma das sete etapas citadas, temos métodos analíticos e ferramentas de modelagem para possibilitar uma análise sistemática e que possibilite responder a todas as perguntas que foram desenvolvidas. Poderemos observar os detalhes de cada etapa na Figura 6, onde a mesma segue um fluxo de implementação, delimitando cada objetivo e desenvolvimento que deve ser executado no estudo e aplicação. O fluxo leva em consideração os impactos em segurança, meio ambiente, operação e economia do processo, analisando assim cada função do sistema, viabilizando a identificação de falhas significantes. Observamos também a utilização do item Modo de Falha em várias entradas de diferentes etapas, sendo um ponto crucial para a boa implementação do método (SIQUEIRA, 2014).

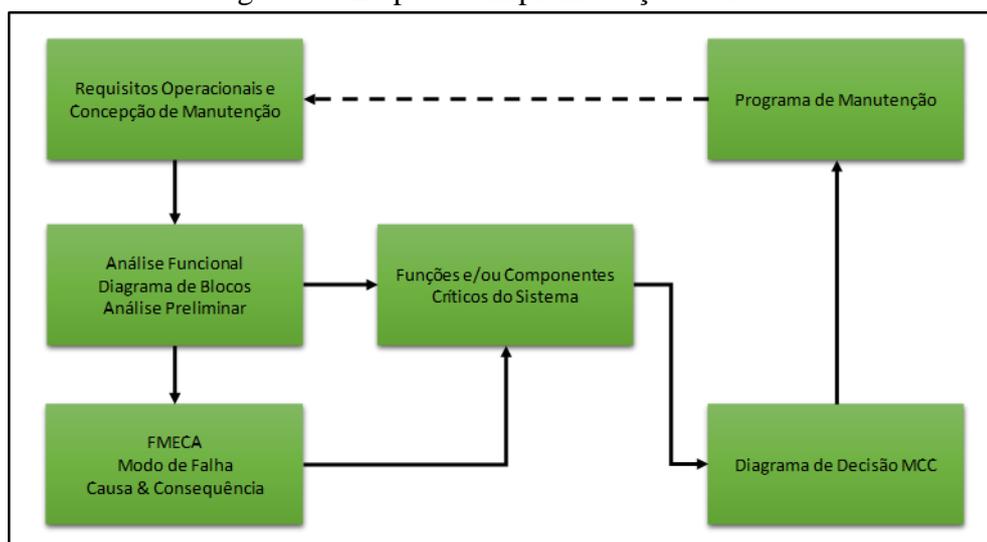
Figura 6 – Diagrama de Implementação da MCC



Fonte: Siqueira (2014, p. 21).

Para Lafraia (2001), o processo de implementação da MCC pode ser demonstrado através das Figuras 7 e 8:

Figura 7 – Etapas de Implementação da MCC



Fonte: Lafraia (2001, p. 241).

Onde o mesmo contempla processos parecidos de implementação, comparado a Siqueira (2014), mas não possui todos os conceitos de avaliação, principalmente relacionado ao dimensionamento correto da periodicidade. Retornando sempre ao início do processo para reavaliar as ações implementadas.

Quadro 2 – Objetivos de cada etapa de implementação da MCC

Requisitos Operacionais	Análise Funcional	Elaborar FMEA	Diagrama de Decisões	Programa de Manutenção
Montar equipe de análise	Identificar funções	Definir os modos de falhas	Aplicar diagrama de decisões	Comparar com atividades existentes
Identificar dados	Definir funções	Definir as causas das falhas	Identificar tarefas Manutenção Preventiva	Detalhar instruções
Coletar dados	Definir falhas funcionais	Definir efeitos das falhas	Selecionar tarefas efetivas	Revisar planos
Descrever sistema		Classificar consequências	Estabelecer intervalos	Conduzir auditorias
Identificar elementos		Identificar sistema críticos	Identificar mudanças de projeto	Conduzir mudanças de projeto
Definir fronteiras e interfaces				

Fonte: Lafraia (2001, p. 241).

No quadro 2 podemos verificar todas as cinco etapas de implementação indicadas por Lafraia (2001) separadas por objetivos individuais de cada etapa.

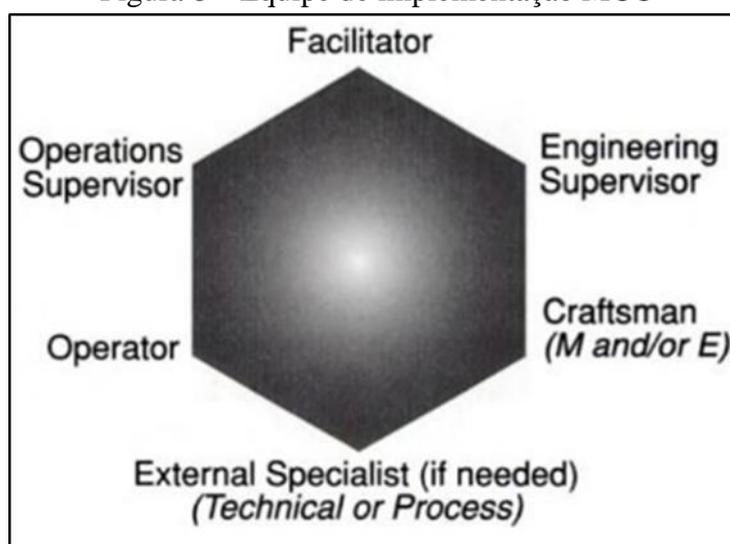
2.2.6.3.1 Primeira Etapa de Implementação

Para Siqueira (2014), durante a primeira fase de implementação, ocorre a coleta de informações e documentação do sistema escolhido, devendo utilizar os documentos de engenharia, teremos o entendimento do funcionamento do sistema e os seguintes resultados e análises nesta etapa:

- a) descrição textual do sistema;
- b) definição do contexto operacional;
- c) definição de fronteira e interferências entre subsistemas;
- d) diagrama organizacional da hierarquia dos subsistemas e componentes;
- e) diagrama funcional do sistema;
- f) diagrama lógico funcional do sistema.

Para Moubray (1997) e Fogliatto e Duarte (2009), nesta etapa também devem ser definidas as pessoas que integrarão o comitê de implementação e equipes de trabalho da Manutenção Centrada em Confiabilidade, aonde a multidisciplinaridade deve atender aos requisitos para que todos os oito questionamentos apresentados no capítulo anterior, sejam respondidos. Segundo Figura 8, com indicação das posições.

Figura 8 – Equipe de implementação MCC



Fonte: Moubray (1997, p. 17).

2.2.6.3.2 Segunda, Terceira e Quarta Etapa de Implementação

Para Siqueira (2014), durante a segunda etapa, analisaremos os modos e efeitos de falha, com a implementação da ferramenta Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial de Máquina (MFMEA), gerando os seguintes resultados:

- a) função do sistema;
- b) falha associada à sua função;
- c) modos de origem das falhas;
- d) efeito provocado pelas falhas;
- e) severidade de cada efeito.

— Falhas

Para Siqueira (2014, p. 51), as falhas consistem em “interrupção da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada...”. Podendo esta falha ser classificada por vários aspectos, assim como divididas entre falhas funcionais e falhas potenciais:

- a) falha funcional: Incapacidade de um item desempenhar sua função requerida;
- b) falha potencial: Condição identificável que indica um defeito em algum componente ou sistema.

— Modos de Falhas

Segundo Siqueira (2014), os modos de falhas são definidos das seguintes formas:

- a) “Um evento ou condição física, que causa uma falha funcional...” (SIQUEIRA, 2014, p. 54);
- b) “Um dos possíveis estados de falha de um item, para uma dada função requerida...” (SIQUEIRA, 2014, p. 54).

Conforme Siqueira (2014), o modo de falha é associado ao fenômeno físico que causa a transição do estado normal de operação de um componente ou sistema para um estado de falha funcional ou potencial.

— Efeitos de Falhas

Para Siqueira (2014, p. 93), o efeito de uma falha é definido por “o que acontece quando um modo de falha se apresenta”, ou seja, representa a consequência e os impactos dos modos de falhas quando eles ocorrem.

— MFMEA

Para Lafraia (2001), a Análise de Modo de Falhas e Efeitos (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*), é a técnica estruturada que possibilita a identificação antecipada dos efeitos de cada um dos modos de falha, gerando assim ações de correção e contenção de acordo com a criticidade daquele efeito de falha.

Na visão de Fogliatto e Duarte (2009), FMEA é uma ferramenta que fornece uma avaliação de risco da falha, permitido ao comitê, analisar e focar os esforços nos componentes e sistemas que apresentam o maior risco.

Através da ferramenta FMEA que inicialmente foi utilizada para estudos em projetos e processos, com uma visão mais sistemática e generalista, não voltada totalmente a visão mais focada no item ou componente, foi desenvolvida a ferramenta MFMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial de Máquina), com uma visão mais focada nos processos que um equipamento desempenha e na busca pelas falhas de seus componentes (SIQUEIRA, 2014).

Para Siqueira (2014), com a ferramenta MFMEA, documentamos todas as funções e seus possíveis modos de falhas registrando todos os itens em planilha padronizado conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Formulário FMEA

Análise do Tipo e Efeito de Falha																			
Código produto								FMEA Processo											
Nome produto								FMEA Produto											
Data																			
Descrição Produto/ Processo	Função (ções) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações de Melhoria										
					S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável / prazo	Medidas Implantadas	Índices							

Fonte: Soares *et al.* (2017).

Para Lafraia (2001), a metodologia deve ser aplicada seguindo alguns passos, onde neles já estão definidas as etapas de definição da função significativa e de seleção das atividades aplicáveis na implementação:

- a) identificação do equipamento a ser desenvolvida a análise;

- b) registrar todos os dados técnicos pertinentes ao equipamento;
- c) definir os componentes e as etapas dos processos;
- d) definir as funções pertinentes a este processo;
- e) identificar os modos de falhas;
- f) identificar as causas básicas das falhas;
- g) identificar os efeitos das falhas;
- h) definir os meios possíveis de detecção;
- i) analisar Criticidade;
- j) definir ações preventivas.

Dentre os itens citados vamos detalhar a partir do oitavo, devido ao fato de já termos definido os outros itens em capítulos anteriores.

Para Lafraia (2001), registramos durante o processo de levantamento, os possíveis meios de detecção dos modos de falha para a situação atual do equipamento.

Para a definição de criticidade e priorização das ações, são utilizados critérios de pesos em notas de acordo com tabela e quadro pré-estabelecidos, Tabela 1 e Quadros 3 e 4, conforme a probabilidade da ocorrência, severidade da ocorrência e a probabilidade de detecção. Onde juntos e multiplicados formam o índice NPR demonstrado na Figura 10 (LAFRAIA, 2001).

Tabela 1 – Probabilidade de Ocorrência

Tabela de Probabilidade de Ocorrência		
<i>Probabilidade de Falha</i>	<i>Ranking</i>	<i>Taxa de Falhas</i>
<i>Remota: A falha é improvável</i>	1	< 1 em 10 ⁶
<i>Baixa: Relativamente poucas falhas</i>	2	1 em 20.000
	3	1 em 4.000
<i>Moderada: Falhas ocasionais</i>	4	1 em 1.000
	5	1 em 400
	6	1 em 80
<i>Alta: Falhas repetitivas</i>	7	1 em 40
	8	1 em 20
<i>Muito Alta: Falhas quase que inevitáveis</i>	9	1 em 8
	10	1 em 2

Fonte: Lafraia (2001, p. 112).

Conforme a Tabela 1, a primeira pontuação é definida pela probabilidade da ocorrência da falha, utilizando o conhecimento tácito dos técnicos que contemplam a equipe, além do histórico de falhas do equipamento retirados de sistemas digitalizados. Sendo a pontuação iniciada em um, como a menor probabilidade da ocorrência e dez como a maior probabilidade da ocorrência.

Quadro 3 – Severidade das Consequências

Tabela de Severidade	
<i>Severidade das Consequências</i>	<i>Ranking</i>
<i>Marginal:</i> A falha não teria efeito real no sistema. O cliente provavelmente nem notaria a falha	1
<i>Baixa:</i> A falha causa apenas pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará provavelmente leves variações no desempenho do sistema.	2
	3
<i>Moderada:</i> A falha ocasiona razoável insatisfação no cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema.	4
	5
	6
<i>Alta:</i> Alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperável. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou descumprimento de requisitos legais.	7
	8
<i>Muito Alta:</i> A falha envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento de requisitos legais.	9
	10

Fonte: Lafraia (2001, p. 112).

No Quadro 3 é possível pontuar a Severidade das consequências das falhas, as quais podem ser definidas como, um para as severidades mínimas, que não afetam o sistema e passa despercebida pela operação, até dez para as maiores severidades, que geram riscos a operação e ou descumprimento de requisitos legais.

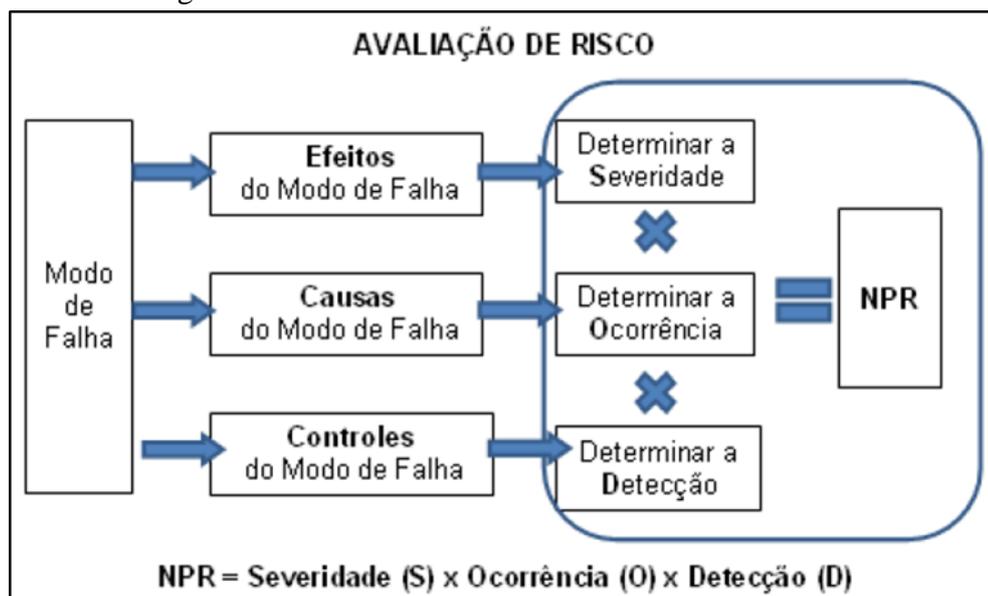
Quadro 4 – Detecção de Falhas

Tabela de Probabilidade de Detecção	
<i>Probabilidade de Detecção</i>	<i>Ranking</i>
<i>Muito Alta</i> : A falha será certamente detectada durante o processo de projeto/fabricação/montagem/operação.	1
	2
<i>Alta</i> : Boa chance de determinar a falha.	3
	4
<i>Moderada</i> : 50% de chance de determinar a falha	5
	6
<i>Baixa</i> : Não é provável que a falha seja detectável.	7
	8
<i>Muito Baixa</i> : A falha é muito improvável detectável.	9
<i>Absolutamente indetectável</i> : A falha não será detectável com certeza	10

Fonte: Lafraia (2001, p. 113).

No Quadro 4, pode ser observado e pontuado a possível detecção da falha após a sua ocorrência, sendo pontuado como um, as falhas que são certamente detectadas durante o projeto ou operação, até dez pontos, onde a falha não é detectada. Observa-se na Figura 10 o cálculo do número de prioridade de risco.

Figura 10 – Cálculo do Número de Prioridade de Risco



Fonte: Bastos (2011).

Na Figura 10, são demonstrados os valores selecionados em Severidade, Ocorrência e Detecção da falha, onde multiplicados entre si, poderemos determinar o valor de NPR (Número de Prioridade de Risco) para cada modo de falha.

Para Laffraia (2001), tal índice possibilita uma pontuação de criticidade do maior valor para o menor valor. Sendo assim, as ações de correção e de maior esforço, se iniciam naqueles itens que apresentarem os maiores valores. Onde para que ocorra a contenção do risco, poderemos definir possíveis ações de:

- a) redução das severidades das consequências como exemplo aplicando limitações de capacidades;
- b) aumentar a probabilidade de detecção através de menores periodicidades de inspeção ou técnicas de preditivas;
- c) reduzir a probabilidade da ocorrência através de sistemas redundantes ou aplicar fatores de segurança mais elevados.

Sendo estas ações registradas e documentadas através de um plano de ação resultante da análise MFMEA.

2.2.6.3.3 Quinta Etapa de Implementação

Para Siqueira (2014), durante esta etapa, vamos avaliar a efetividade das ações definidas anteriormente, gerando neste processo algumas das opções a baixo:

- a) manutenção preventiva é recomendada;
- b) manutenção preventiva é desnecessária;
- c) outra ação sugerida.

Onde nem sempre a ação determinada na quarta etapa é definida como efetiva para ser implementada.

2.2.6.3.4 Sexta Etapa de Implementação

Conforme Siqueira (2014), na sexta etapa vamos definir e selecionar a tarefa aplicável e efetiva através de um método estruturado de Árvore de Decisão ou Lógica de Decisão para comparar os resultados do processo com uma variável econômica ou outro indicador escolhido. Baseando-se na MCC onde se busca a maior efetividade possível das ações, maximizando os resultados à serem obtidos seguindo a seguinte sequência:

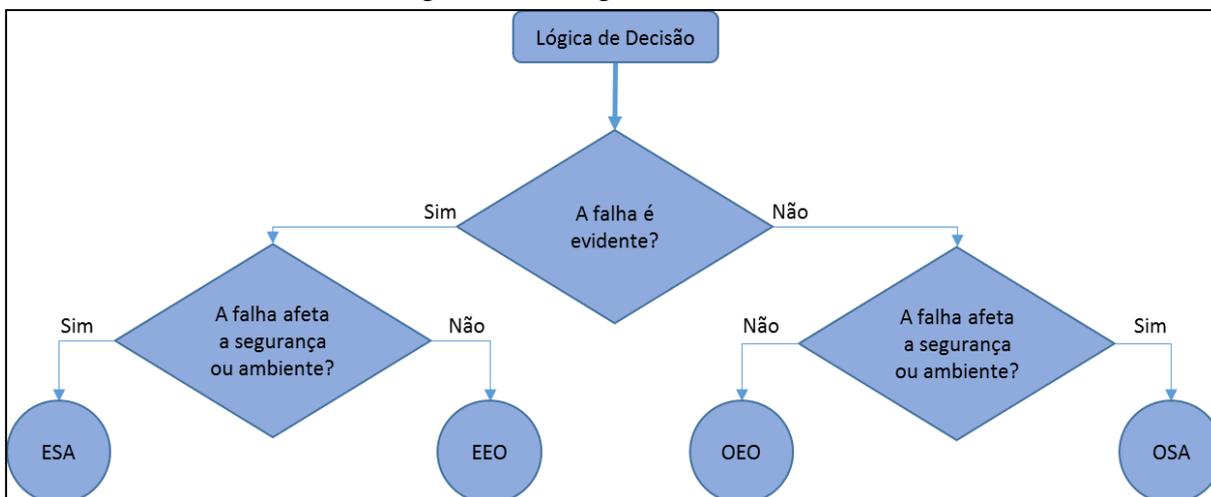
- a) serviço operacional;

- b) inspeção preditiva;
- c) restauração preventiva;
- d) substituição preventiva;
- e) inspeção funcional.

Segundo Siqueira (2014), o processo de seleção da MCC, as ações serão escolhidas e definidas após a classificação do modo de falha escolhido, podendo o mesmo variar entre quatro tipos de falhas. Após a definição destes modos de falhas, teremos a aplicação de uma lógica de decisão ideal, para evidenciar qual a atividade mais adequada ao processo que deve ser implementada. É possível observar na Figura 11, a seqüência lógica que leva a escolha de qual o tipo de falha que vamos trabalhar, conforme lista a baixo:

- a) ESA - Segurança e Meio Ambiente Evidente;
- b) OSA - Segurança e Meio Ambiente Oculta;
- c) EEO - Operacional ou Econômica Evidente;
- d) OEO - Operacional ou Econômica Oculta.

Figura 11 – Diagrama de Decisão



Fonte: Siqueira (2014).

Para cada tipo de visibilidade ou consequência, temos uma lógica de decisão específica, podendo ser visualizado nas Figuras 12 e 13. Definindo assim se teremos uma ou mais ações para controle do modo de falha e de sua consequência.

Divididas as lógicas entre efeitos em segurança ou operação, as diferenças entre as lógicas podem ser observadas através de algumas ações que são exclusas da seleção conforme a visibilidade da falha, sendo as mesmas destacadas em vermelho para indicação que em caso de escolha da árvore em questão, a atividade não seja utilizada.

Outro ponto de diferença entre as lógicas de decisão que tem impacto na segurança ou operação são as quantidades de atividade definidas para escolha. Para as lógicas utilizadas em segurança são indicados o maior número de atividades possíveis de aplicação que garantam a confiabilidade. Já para as lógicas de decisão que impactam em produtividade, seguimos uma ordem de prioridade que se encerra ao se encontrar uma atividade a qual consiga garantir a confiabilidade esperada.

Figura 12 – Lógica de Segurança



Fonte: Siqueira (2014).

Figura 13 – Lógica de Operação



Fonte: Siqueira (2014)

2.2.6.3.5 Sétima Etapa de Implementação

Para Siqueira (2014), temos vários tipos de modelo e teorias que viabilizam a aplicação de análises para definir corretamente a frequência das atividades a serem desenvolvidas. Alguns destes modelos estão descritos a seguir:

- a) exploração de idade;
- b) diagramas de influência;
- c) árvores de eventos;
- d) teoria dos jogos;
- e) teoria bayesiana;
- f) processos markovianos;
- g) decisões multicritérios.

Segundo Siqueira (2014), o modelo de exploração de Idade é um dos mais utilizadas atualmente na manutenção, quando empiricamente são determinadas periodicidades iniciais de execução das atividades aplicáveis e após a formulação de alguns históricos de inspeção ou corretivas, revisitamos esta periodicidade a fim de determinar o tempo correto de atividade preventiva do item selecionado.

Para Lafraia (2001), além das aplicações anteriores, podemos utilizar da ferramenta de Análise Weibull, que consegue determinar a probabilidade que alguma falha ocorra em um determinado período e incluído o cruzamento com os custos de manutenção e parada dos lucros cessantes em caso de falha, podemos determinar a melhor periodicidade de manutenção a ser realizada na substituição preventiva do componente.

A Análise Weibull pode ser determinada através da Equação 1, com a finalidade de determinar a confiabilidade ou probabilidade de falha de um sistema através do seu histórico de falhas ou manutenção, tendo o conceito que em toda a manutenção realizada neste histórico, o item foi restaurado para a sua condição original.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

onde: $F(t)$ é a probabilidade de falha para uma determinada amostra;

t é o tempo até a falha;

η é a característica de vida ou parâmetro de escala;

β é o parâmetro de inclinação ou forma.

Com a informação de confiabilidade do sistema, é possível desenvolver a comparação do custo de manutenção corretiva com o custo de manutenção preventiva, definindo assim o ponto ótimo de troca ou reforma do componente de forma a restaurar a originalidade do sistema.

Para Lafraia (2001), o custo da manutenção corretiva pode ser definido pela seguinte Equação 2.

$$CMC = cmo + cm + clc \quad (2)$$

onde: *CMC* é o custo da manutenção corretiva;

cmo é o custo da mão de obra total para execução da corretiva;

cm é o custo do material utilizado para a manutenção corretiva;

clc é o custo de perda do lucro cessante durante a corretiva do equipamento;

Já o custo de preventiva pode ser definido pela seguinte Equação 3.

$$CMP = cop + cmp \quad (3)$$

onde: *CMP* é o custo da manutenção preventiva;

cop é o custo da mão de obra utilizada para a manutenção preventiva;

cmp é o custo de material utilizado na manutenção preventiva;

O produto do custo de manutenção corretiva com a probabilidade de falha irá gerar o custo da manutenção corretiva para a confiabilidade, assim como o custo da manutenção preventiva multiplicado pela confiabilidade irá gerar o custo da manutenção preventiva para a confiabilidade, o somatório destes dois itens resultará no custo total da manutenção para a confiabilidade analisada.

3 PROPOSTA DE TRABALHO

Neste capítulo, será descrito o cronograma de trabalho que será desenvolvido para implementação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade no Misturador Semco de 1200 Litros.

3.1 CENÁRIO ATUAL

O equipamento em questão, está atualmente instalado no setor de mistura da linha leve. Setor este que é vital para o início de toda a cadeia produtiva de fabricação para o material de atrito dos componentes de frenagem. Para o setor que tem uma capacidade produtiva de 18.000 kg por dia, o equipamento em questão, produz cerca de 98% desta demanda.

Equipamento único devido a sua capacidade de produção, onde o mesmo tritura, desenvolve a mistura e a homogeneização de várias matérias primas, viabilizando lotes variados de matéria prima em pó para os processos posteriores.

O sistema consiste em três etapas conforme Figura 14. Sendo a primeira basicamente na movimentação da carga de matéria prima através de caçambas de carga, movimentadas por um elevador, tracionadas por cabo de aço e guiado através de trilhos. Já na segunda etapa, são desenvolvidas as misturas de todas as matérias primas, através de navalhas em alta rotação que desenvolvem o trituramento do material assim como pás de mistura que desenvolvem a homogeneização através de movimentos circulares com baixa rotação. Na etapa final é desenvolvida a descarga e pesagem de todo o material homogeneizado através de transportadores helicoidais e balanças de carga.

Figura 14 – Misturador MFR-0410



Fonte: elaborada pelo autor (2019).

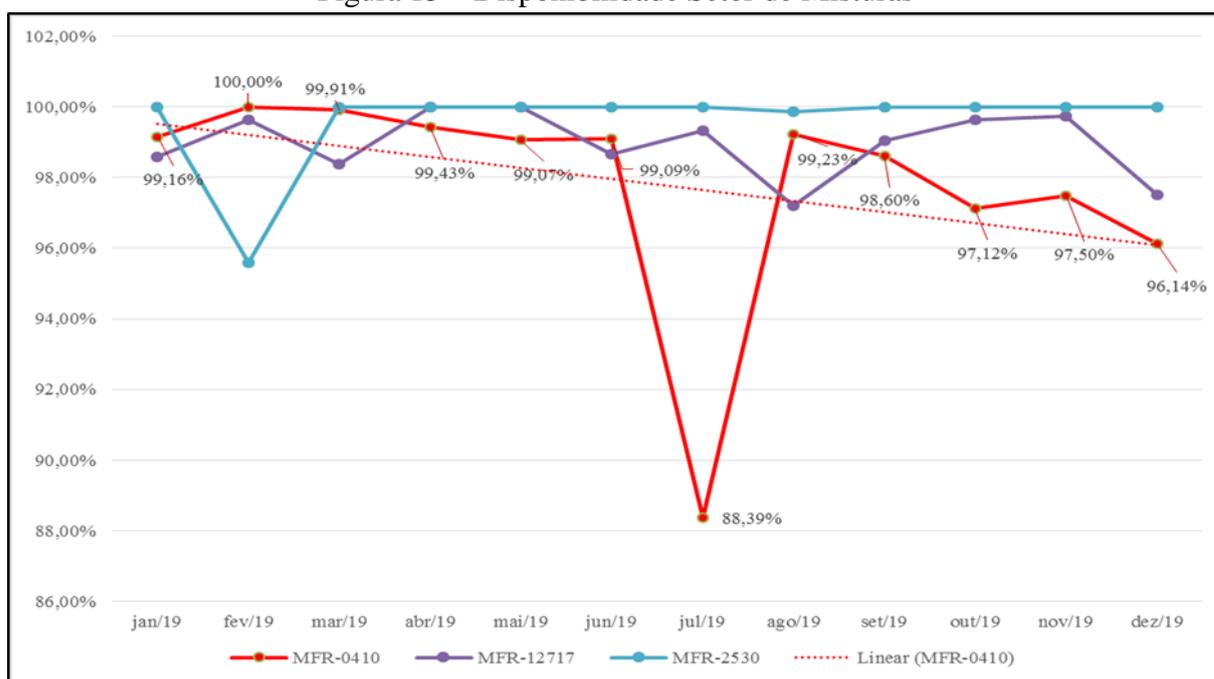
As técnicas de manutenção que são aplicadas no equipamento atualmente se resumem em manutenções corretivas com parada de equipamento, manutenções corretivas sem parada de equipamento, manutenções preventivas de troca baseado no tempo e grande parte de manutenções preventivas de inspeção visual.

Os principais indicadores que são controlados para este equipamento são os indicadores de disponibilidade, tempo médio entre falhas e tempo médio para reparo, onde o equipamento escolhido, desenvolveu a menor disponibilidade do ano de 2019 entre os equipamentos classificados como críticos ao processo, conforme Apêndice A.

Indisponibilidade de 2,3% que impactam em uma média mensal de sete horas e quinze minutos de equipamento parado devido a corretivas indesejadas.

Outro ponto que pode ser observado é a redução em sua disponibilidade ao longo do período analisado, demonstrando uma redução em sua confiabilidade de operação conforme Figura 15.

Figura 15 – Disponibilidade Setor de Misturas



Fonte: elaborada pelo autor (2019).

O equipamento escolhido demonstra a mais baixa disponibilidade dentre todos os três misturadores do setor além de uma tendência de redução do mesmo item ao longo do ano de 2019.

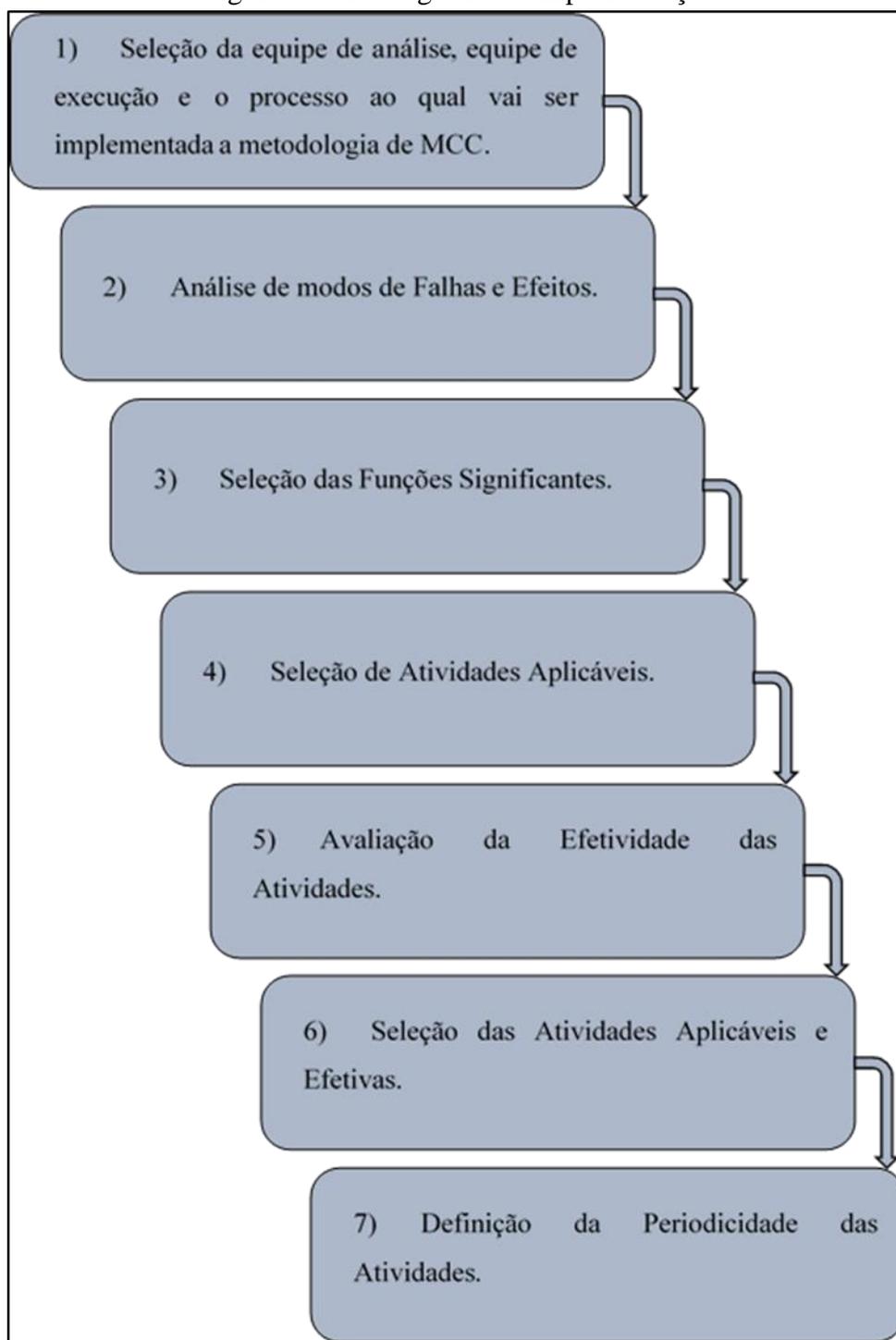
3.2 PROPOSTA DE TRABALHO

A proposta deste trabalho é a implementação dos métodos definidos na Manutenção Centrada em Confiabilidade para atingir os objetivos que foram antes estabelecidos no capítulo 1. O foco de implementação do método de MCC se dará nos processos críticos do equipamento, que serão definidos ao longo da execução da etapa 1 de implementação.

Para este trabalho, seguiremos todas as sete etapas de implementação definidas por Siqueira (2014) e pode ser observado no Fluxograma da Figura 16, onde em suma, serão estabelecidas formas de controle para redução da probabilidade da ocorrência das falhas, possibilitando assim, um aumento na confiabilidade do processo ao executar a sua função, no momento requerido e de forma correta.

Cada etapa possui suas particularidades e pontos de atenção, onde nelas, a equipe multidisciplinar deverá seguir o planejamento estabelecido. Como um ponto de atenção, teremos um esforço mais elevado para detalhamento e conclusão da segunda até a quarta etapa, definida basicamente pelo estudo de MFMEA, que detém todo o início do processo de implementação e guiará a equipe para definição dos principais pontos de falha do processo, que necessitam o maior esforço para resolução dos problemas encontrados e das mais variadas medidas à serem adotadas.

Figura 16 – Fluxograma de implementação



Fonte: elaborada pelo autor (2019).

3.2.1 Seleção da equipe e do processo

Nesta etapa de introdução do processo, definiremos o equipamento, assim como os processos desenvolvidos pela produção na utilização deste equipamento e suas expectativas frente a necessidade de produção como um ativo da empresa. Iniciando com a coleta de todos

os manuais, desenhos técnicos, projetos, esquemas elétricos, hidráulicos e pneumáticos que estão disponíveis para utilização. O processo continua através do levantamento de dados e históricos de falhas, assim como seus indicadores que serão levados em consideração. Indicadores como de Disponibilidade, Tempo Médio Para Reparo, Tempo Médio Entre Falhas serão balizadores para definir entre todos os processos do equipamento, quais serão priorizados para implementação do método.

Neste momento também definiremos a equipe multidisciplinar que vai analisar os dados técnicos, definir as ações para serem implementadas e executar as atividades. Para este processo é indicado a participação de:

- a) engenheiros de manutenção;
- b) engenheiros de automação;
- c) técnicos de manutenção;
- d) líder de produção;
- e) analista de processo;
- f) planejadores de manutenção.

Temos também a equipe de apoio que pode ser solicitada em casos de necessidades e dúvidas sobre algum processo ou norma reguladora pontual, sendo estas áreas definidas em:

- a) segurança do trabalho;
- b) meio ambiente;
- c) qualidade.

3.2.2 Análise de modos de falhas e efeitos

Iniciar o preenchimento da planilha MFMEA com as informações correlacionadas anteriormente e definição de todos os modos de falha possíveis no processo escolhido. Após a definição de todos os Modos de Falhas, definir os possíveis Efeitos que aquelas falhas iram gerar no momento da falha.

3.2.3 Seleção da função significativa

Nesta terceira etapa, as funções significantes do processo do equipamento vão ser definidas junto a visão dos usuários do equipamento e do corpo técnico da empresa. Resultando assim nas funções as quais serão analisadas para que ocorra o aumento da confiabilidade sobre ela.

3.2.4 Seleção de atividades aplicáveis

Na quarta etapa, serão avaliadas as possíveis técnicas de manutenção que são aplicáveis ao processo para redução da falha ali existente. Sendo possível a aplicação de preventivas, preditivas, meios de redundância ou contenção após a falha.

3.2.5 Avaliação da efetividade das ações

Na quinta etapa, serão avaliadas através de um modelo estruturado a efetividade de cada ação que fora antes definida, para encontrar a maneira mais sustentável de aplicação das técnicas escolhidas, sendo avaliado através de uma visão financeira junto com a técnica.

3.2.6 Seleção das atividades aplicáveis e efetivas

Na sexta etapa, serão reavaliadas todas aquelas ações que se mostraram sem eficiência na etapa anterior, analisando de modo estruturado como podemos aplicar as técnicas de maneira mais coerente e sustentável.

3.2.7 Definição da periodicidade das atividades

Na sétima e última etapa, serão definidos através de dados estatísticos e critérios de avaliação já definidos no capítulo dois, o momento correto para aplicar o método de manutenção escolhido para controle dos componentes e funções do sistema.

4 IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo tem por finalidade, apresentar os processos de implementação do método de manutenção centrada em confiabilidade conforme descrito no capítulo 3, demonstrando também as ações para aumento de confiabilidade do sistema.

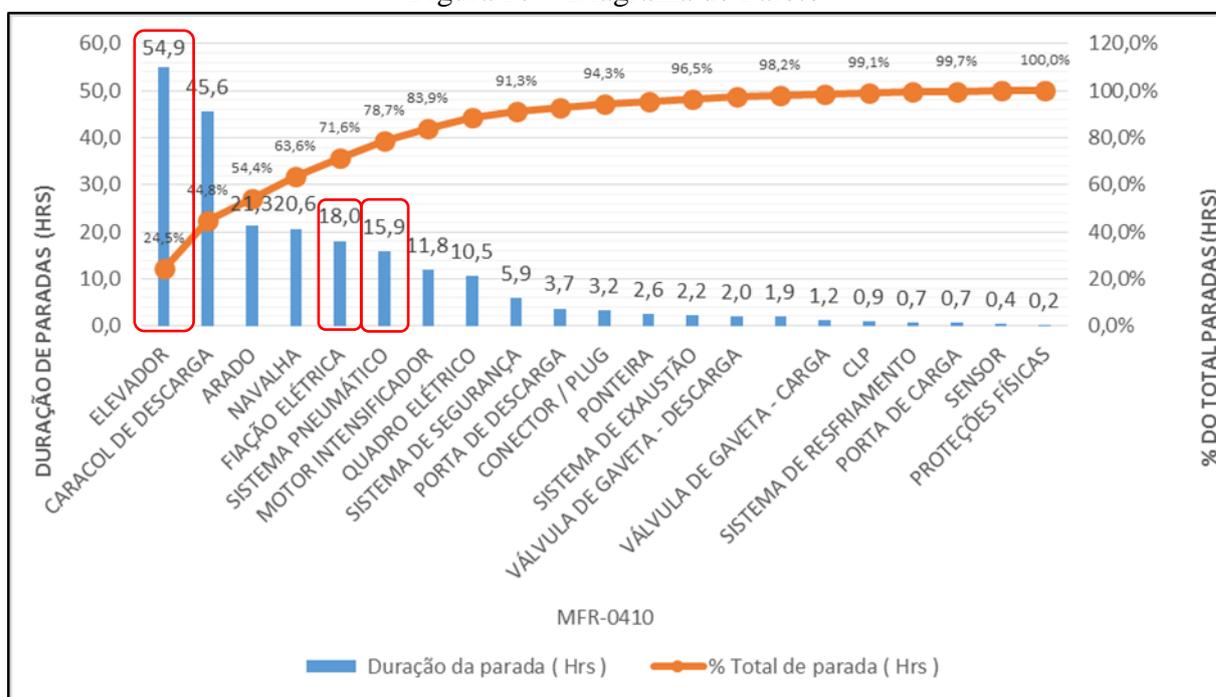
4.1 SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO E EQUIPE DE IMPLEMENTAÇÃO

Após a escolha do equipamento MFR-0410, definido pela criticidade e indicadores de disponibilidade conforme mencionado no capítulo 3, o sistema foi dividido e analisado em três processos diferentes, sendo eles:

- elevador de carga;
- sistema de mistura;
- sistema de descarga.

Através do histórico de falhas registrado no período de dois anos do equipamento, entre janeiro de 2018 até dezembro de 2019, foi possível a análise destas informações, evidenciando-se assim as diferentes falhas que são encontradas no sistema.

Figura 17 – Diagrama de Pareto

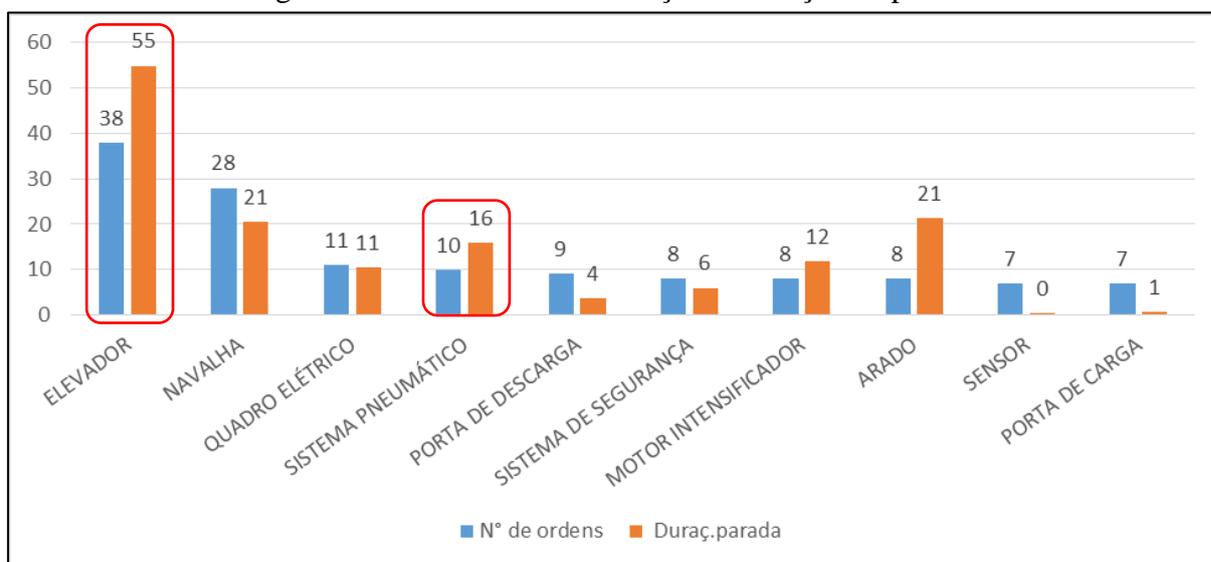


Fonte: elaborada pelo autor (2019).

Conforme o diagrama de Pareto de paradas do equipamento demonstrado na Figura 17, é possível identificar que o processo do elevador é o que mais impacta em paradas deste equipamento, sendo o mesmo, detentor de 39,6% de um total de 224,2 horas de equipamento parado durante o período de análise, onde as falhas de fiação elétrica e sistemas pneumáticos estão diretamente correlacionadas com o elevador.

Outro ponto analisado foi a relação entre as horas de parada com o número de ordens corretivas, Figura 18.

Figura 18 – Ordens de Manutenção x Duração de parada



Fonte: elaborada pelo autor (2019).

O gráfico da Figura 18 indica que além do elevado tempo dedicado às manutenções corretivas que temos no equipamento, o número de ordens de manutenção corretivas também é elevado, indicando assim que o sistema apresenta um tempo entre falhas baixo e demonstra que as falhas ocorrem de maneira sistêmica e não apenas algumas grandes quebras do equipamento que podem gerar o tempo elevado de corretivas.

Conforme Lafraia (2001) um dos principais aspectos sobre a implementação da confiabilidade é a percepção do cliente em relação ao sistema estar sempre disponível para a operação, a quantidade elevada de falhas no sistema, acabam indo contra este conceito.

Através dos dados demonstrados nas Figuras 17 e 18 é possível determinar o sistema de elevador de carga como o mais crítico para o equipamento, impactando no maior número de corretivas e no maior tempo de indisponibilidade do mesmo, confirmando assim a aplicação do método de manutenção centrada em confiabilidade no elevador de carga do equipamento.

Concluída a definição sobre em que o método será aplicado, foi definida a equipe para auxiliar nos levantamentos de informações para as próximas etapas de implementação.

A equipe de implementação foi selecionada conforme descrito no capítulo 3, onde de uma forma multidisciplinar fizeram parte da seleção os seguintes responsáveis:

- a) 1 Engenheiro Mecânico;
- b) 1 Engenheiro Elétrico;
- c) 1 Técnico Mecânico;
- d) 1 Técnico Elétrico;
- e) 1 Técnico de Automação;
- f) 1 Líder de Produção;
- g) 1 Preparador de Produção;
- h) 1 Técnico de Segurança;
- i) 1 Analista de Processos;
- j) 1 Líder de Manutenção.

Esta equipe reúne-se por seis horas semanais para preenchimento da planilha MFMEA, auxiliando com as informações necessárias e apoiando nas possíveis ações de aumento de confiabilidade.

4.2 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS

Nesta etapa de implementação, foi desenvolvido uma parte do preenchimento da planilha de MFMEA, conforme Anexo A, com os levantamentos de modo e efeito de falha vivenciados pelo corpo técnico, histórico do equipamento e falhas possíveis que ainda não constavam no histórico.

Durante o preenchimento da planilha MFMEA, foi possível determinar os modos de falhas para cada item levantado, conforme um dos exemplos ilustrados na Figura 19. Durante a análise foram determinadas 17 possíveis falhas do sistema com 454 possíveis modos de falha.

Figura 19 – Modo de Falha MFMEA

MODO DE FALHA										
x										2.9 Falha no eixo de tração do cabo de aço
	x									2.9.1 Falha na mancalização
		x								2.9.1.1 Falha no rolamento do Mancal
		x								2.9.1.2 Mancal quebrado
			x							2.9.1.2.1 Impacto externo
			x							2.9.1.2.2 Excesso de carga
				x						2.9.1.2.2.1 Mau dimensionamento do conjunto
				x						2.9.1.2.2.2 Travamento mecânico do sistema
			x							2.9.1.2.3 Desalinhamento do conjunto
				x						2.9.1.2.3.1 Falha na montagem
	x									2.9.1.3 Desgaste do mancal
		x								2.9.1.3.1 Excesso de carga
		x								2.9.1.3.2 Falhas no rolamento do mancal
	x									2.9.1.4 Falha na fixação do mancal
		x								2.9.1.4.1 Falta de parafusos de fixação
			x							2.9.1.4.1.1 Erro na montagem
			x							2.9.1.4.1.2 Parafusos quebrados
				x						2.9.1.4.1.2.1 Excesso de torque na montagem
				x						2.9.1.4.1.2.2 Dimensionamento incorreto
		x								2.9.1.4.2 Parafusos soltos
			x							2.9.1.4.2.1 Vibração elevada
				x						2.9.1.4.2.1.1 Vibração do processo
				x						2.9.1.4.2.2 Falta de torque durante a montagem
				x						2.9.1.4.2.2.1 Erro na montagem
				x						2.9.1.4.2.3 Falta de arruela de pressão durante a montagem
				x						2.9.1.4.2.3.1 Erro na montagem
x										2.9.2 Eixo danificado
	x									2.9.2.1 Falha no Mancal
	x									2.9.2.2 Dimensionamento incorreto do projeto

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Neste momento a equipe também determinou as consequências das falhas levantadas que além da descrição, destacou os pontos de impacto em segurança, meio ambiente e produtividade, conforme observado na Figura 20, servindo como base para a pontuação do NPR.

Figura 20 – Consequência da Falha

MODO DE FALHA	CONSEQUÊNCIAS DA FALHA			
	DESCRIÇÃO	SEG.	M. A.	OPE.
1.1. Sistema pneumático da porta não aciona	Porta de entrada do processo não movimenta.	N	N	S
1.2 Falha devido a porta trancada	Porta de entrada do processo não movimenta.	N	N	S
2.1 Falha na botoeira de acionamento da movimentação do elevador	Elevador permanece parado na posição inferior.	N	N	S
2.2 Falha de liberação do pokayoke	Elevador permanece parado na posição inferior.	N	N	S
2.3 Falha nos sensores de condições de liberação para movimentação do elevador	Elevador permanece parado na posição inferior.	N	N	S
2.4 Falha no motor	Elevador permanece parado na posição atual.	N	N	S
2.5 Falha no redutor	Elevador permanece parado na posição atual.	N	N	S
2.6 Falha no inversor	Elevador permanece parado na posição atual.	N	N	S
2.7 Falha no encoder absoluto	Elevador permanece parado na posição atual.	N	N	S
2.8 Falha no acoplamento	Falta de tração no elevador, podendo ocasionar decida brusca do elevador.	S	N	S
2.9 Falha no eixo de tração do cabo de aço	Falta de tração no elevador, podendo ocasionar decida brusca do elevador.	S	N	S
2.10 Falha no cabo de aço	Falta de tração no elevador, podendo ocasionar decida brusca do elevador.	S	N	S
2.11 Falha no carro de movimentação	Falta de tração no elevador, podendo ocasionar decida brusca do elevador.	S	N	S
2.12 Falha no trilho de movimentação	Rompimento do cabo de aço de tração, podendo ocasionar decida brusca do elevador.	S	N	S
2.13 Falha no sensor de redução de velocidade	Parada do elevador na posição superior ou inferior	N	N	S
3.1 Falha de alimentação	Descarregamento insuficiente da mistura	N	N	S
3.2 Falha no vibrador	Descarregamento insuficiente da mistura	N	N	S

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Com o auxílio dos dados gerados no levantamento da consequência da falha e através do histórico de falhas do equipamento, assim como o conhecimento tácito da equipe de implementação, foram determinados os pesos de cada modo de falha através da pontuação NPR, conforme demonstrado na Figura 21.

Figura 21 – Número de Prioridade de Risco

MODO DE FALHA	F	C	D	NPR = F x C x D
1.1.1.3.4.1 Acúmulo de sujeira na base do elevador	10	6	6	360
1.1.1.3.5 Atuador fora de posição devido a deslocamento do elevador com a entrada da caixa	6	6	6	216
1.1.5.3.4.1 Acúmulo de sujeira na base do elevador	10	6	6	360
1.1.5.3.5 Atuador fora de posição devido a deslocamento do elevador por entrada da caixa	6	6	6	216
2.1.1.3.1 Falha na vedação do painel elétrico	6	8	6	288
2.1.1.3.2 Filtro saturado	6	8	6	288
2.8.1.1.1 Torque de aperto incorreto	4	10	6	240
2.8.1.2.1 sobrecarga do sistema	4	10	6	240
2.10.1.5.2.1.2 Vibração do sistema	4	10	6	240
2.11.1.1.1.1 Desalinhamento da polia em relação ao trilho	5	10	6	300
2.11.1.1.1.2 Trilho torto ou danificado	5	10	6	300
2.11.1.1.2.3.2 Falta de rolamento correto no estoque	5	10	6	300
2.11.1.3.3.1 Material do eixo incorreto	3	10	9	270
2.12.1.2.1 Falta de projeto do elevador	5	10	5	250
2.12.1.3.1 Falta de projeto do elevador	5	10	5	250
2.12.1.4.1 Erro de montagem	5	10	5	250
2.12.1.4.2 Falta de projeto	5	10	5	250
2.12.2.1.1 Erro de montagem ou procedimento	5	10	5	250

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Neste levantamento foi possível determinar um total de 18 modos de falha com alta criticidade, 84 modos de falhas com média criticidade e 122 modos de falha com baixa criticidade. Viabilizando assim um foco maior para determinação de ações e análises nos itens com alta criticidade.

4.3 DEFINIÇÃO DE FUNÇÃO SIGNIFICANTE

Foram determinadas três funções significantes do sistema de Elevador de Carga, onde por se tratar de um subconjunto dentro do equipamento, todas as funções do sistema selecionado se mostraram significantes para a confiabilidade do processo ao qual o mesmo está inserido, sendo as mesmas:

- a) movimentar a porta de acesso ao elevador;
- b) movimentar o Carro elevador para descarga da mistura com retorno a sua posição inferior;
- c) desenvolver vibração do carro de descarga na posição de descarga.

Como todas as funções do subconjunto foram determinadas como significantes, as ações de confiabilidade definidas foram priorizadas através unicamente pelo resultado obtido na análise NPR.

4.4 AÇÕES APLICÁVEIS

Na planilha de análise MFEMA, foi adicionado um campo para escolha de possíveis atividades aplicáveis para aumento de confiabilidade do sistema. As possíveis atividades disponibilizadas foram as seguintes:

- a) manutenção preditiva;
- b) lista de verificação da manutenção;
- c) lista de verificação da produção;
- d) troca ou reforma preventiva baseado no tempo;
- e) rodar até falhas;
- f) melhoria;
- g) procedimentos ou treinamentos;
- h) peças sobressalentes disponíveis.

Viabilizando assim a escolha de inúmeros tipos de ações para cada modo de falha conforme demonstrado na Figura 22, onde é possível que em um mesmo modo de falha possa ser aplicado mais de uma ação para o aumento de confiabilidade.

Figura 22 – Ações Aplicáveis

MODO DE FALHA	Manutenção preditiva;	Lista de verificação da manutenção;	Lista de verificação da produção;	Troca preventiva baseado no tempo;	Rodar até falhar;	Melhoria;	Procedimentos ou Treinamentos;	Peças sobressalentes disponíveis;
1.1.1.3.4.1 Acúmulo de sujeira na base do elevador	N	N	S	N	N	S	S	N
1.1.1.3.5 Atuador fora de posição devido a deslocamento do elevador com a entrada da caixa	N	S	N	S	N	S	N	N
1.1.5.3.4.1 Acúmulo de sujeira na base do elevador	N	N	S	N	N	S	S	N
1.1.5.3.5 Atuador fora de posição devido a deslocamento do elevador por entrada da caixa	N	N	N	S	N	S	N	N
2.1.1.3.1 Falha na vedação do painel elétrico	N	S	N	S	N	S	S	N
2.1.1.3.2 Filtro saturado	N	S	N	S	N	S	S	S

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Após a definição de possíveis ações aplicáveis, foram selecionados os modos de falha considerados como críticos para o critério de NPR, ou seja, com a pontuação final superior a duzentos pontos. Com o levantamento inicial de ações aplicáveis já definido, foi possível descrever uma atividade para cada item selecionado como aplicável, gerando 55 ações disponíveis conforme Figura 23.

Com as ações já definidas também foram observados e indicados neste momento a lista de peças de reposição que seriam cruciais para o controle de estoque e implementação de sua descrição na lista técnica do equipamento. Controlando assim para que não falte o componente correto e necessário para manutenção preventiva ou corretiva no equipamento. A seleção foi desenvolvida em todos os modos de falha indicados como críticos para o NPR.

Figura 23 – Tarefas Propostas

MODO DE FALHA	TAREFA PROPOSTA
1.1.1.3.4.1 Acumulo de sujeira na base do elevador	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar checklist padrão TPM para limpar acumulo de sujeira no elevador 2. Avaliar Melhoria de implementação de exaustão no ponto inferior do elevador. 3. Criar Procedimento com os pontos que forem específicos de limpeza padrão TPM e definir periodicidade de acordo com o histórico de falhas.
1.1.1.3.5 Atuador fora de posição devido a deslocamento do elevador com a entrada da caixa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar tarefa no plano de preventiva para folga nos trilhos e roldanas do elevador 2. Troca dos Trilhos e roldanas de entrada do elevador com base no tempo (Restaurar a condição Original) 3. Desenvolver Projeto de melhoria nos convites dos trilhos de entrada das caixas
1.1.5.3.4.1 Acumulo de sujeira na base do elevador	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar checklist padrão TPM para limpar acumulo de sujeira no elevador; 2. Criar Procedimento com os pontos que forem específicos de limpeza padrão TPM e definir periodicidade de acordo com o histórico de falhas; 3. Avaliar Melhoria de implementação de exaustão no ponto inferior do elevador;
1.1.5.3.5 Atuador fora de posição devido a deslocamento do elevador por entrada da caixa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Troca dos Trilhos e roldanas de entrada do elevador com base no tempo (Restaurar a condição Original); 2. Verificar a possibilidade de amenizar o impacto da caixa no elevador e a utilização de um atuador com dimensões maiores, para amenizar os desalinhamentos;
2.1.1.3.1 Falha na vedação do painel elétrico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar plano de preventiva para inspeção da vedação e limpeza do quadro; 2. Criar plano de preventiva para troca de vedações com base no tempo e troca dos filtros; 3. Instalação de sistema de climatização com ciclo fechado dentro do painel. Onde não tenha entrada de ar do ambiente para o interior do Painel; 4. Descrever detalhadamente o procedimento durante a criação da preventiva;
2.1.1.3.2 Filtro saturado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar plano de preventiva para inspeção da vedação e limpeza do quadro; 2. Criar plano de preventiva para troca de vedações com base no tempo e troca dos filtros; 3. Instalação de sistema de climatização com ciclo fechado dentro do painel. Onde não tenha entrada de ar do ambiente para o interior do Painel;

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Podemos analisar pela Figura 23 que as ações de aumento de confiabilidade foram definidas apenas para o último nível dos modos de falha, atuando na causa raiz do problema. Outro ponto de análise foi a disponibilidade de mais de uma ação viável para cada modo de falha, indicando assim uma análise mais profunda para escolher a atividade que corresponda a uma maior confiabilidade de maneira sustentável e efetiva.

4.5 SELEÇÃO E EFETIVIDADE DAS AÇÕES

Para escolha da atividade efetiva, foi seguido o modelo definido por Siqueira (2014), que prioriza uma de uma forma sequencial a atividade que atende à necessidade e que ofereça uma sustentabilidade financeira ao negócio, atendendo simultaneamente os seguintes critérios:

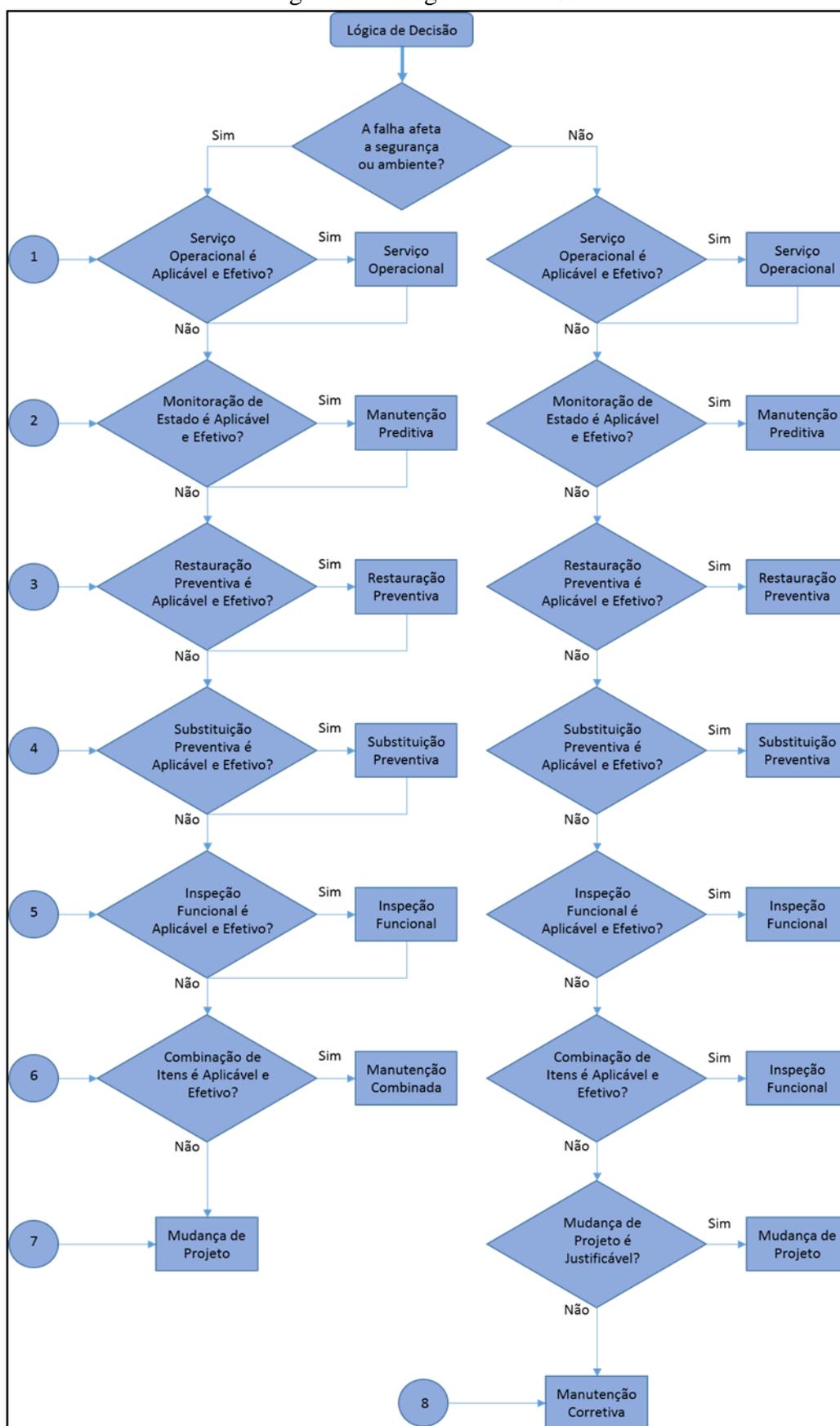
- a) viabilidade de aplicação técnica;
- b) viável com os recursos existentes;
- c) alcançar os resultados esperados;
- d) ter a periodicidade de execução dentro de um intervalo razoável;

Respeitando aos critérios anteriores foram definidas as atividades através da seguinte sequência de aplicação conforme consequência da falha:

- a) serviço operacional;
- b) manutenção preditiva;
- c) restauração preventiva;
- d) substituição preventiva;
- e) inspeção funcional;
- f) melhoria de projeto.

Tendo como um dos pontos de análise do modo de falha com a consequência da mesa, foi definida uma lógica de seleção adaptada aos métodos de lógica de seleção de Siqueira (2014), sendo essas lógicas mencionadas no Capítulo 2, que facilita a escolha da ação conforme a sua consequência, podendo ser observado conforme Figura 24.

Figura 24 – Lógica de Decisão



Fonte: adaptada de Siqueira (2014).

Lógica esta que aplicou uma diferença entre modos de falha que impactam na segurança operacional e meio ambiente ou apenas em perdas operacionais. Indicando que para modos de falha com risco de segurança e meio ambiente, mais de um método deve ser aplicado além da busca pela falha zero, já nas atividades com implicação em perdas produtivas, temos ações isoladas que podem já obter o ganho de confiabilidade necessário, além de poder rodar o item até falhar.

Como resultado da aplicação desta lógica para os modos de falha, foi possível obter as ações mais específicas e direcionadas ao modo de falha e seu real impacto no equipamento ou sistema onde o mesmo atua. Na Figura 25 é possível identificar as ações selecionadas para aplicação.

Figura 25 – Ações Efetivas e Aplicáveis

MODO DE FALHA	TAREFA PROPOSTA
2.1.1.3.1 Falha na vedação do painel elétrico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Criar plano de preventiva para inspeção da vedação e limpeza do quadro; 2. Criar plano de preventiva para troca de vedações com base no tempo e troca dos filtros; 3. Instalação de sistema de climatização com ciclo fechado dentro do painel. Onde não tenha entrada de ar do ambiente para o interior do Painel; 4. Descrever detalhadamente o procedimento durante a criação da preventiva;

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Seguindo a lógica de seleção das ações de aumento de confiabilidade onde apenas a preventiva de troca não se mostra totalmente eficaz devido as quantidades variadas de abertura e fechamento do quadro de acordo com as demandas do equipamento, foi selecionado também a ação preventiva de inspeção periódica do sistema de vedação, podendo assim evitar que defeitos prematuros da vedação venham a se tornar falhas do sistema. Outro ponto analisado foi que a implementação de melhoria não se torna necessário no momento, pois as ações anteriores já atenderiam a confiabilidade necessária para os modos de falha levantados.

Conforme Apêndice B, é possível averiguar todas as ações selecionadas para aplicação no equipamento para os modos de falha selecionados como críticos ao sistema seguindo a lógica de decisão adaptada de Siqueira (2014), onde que para itens relativos a segurança do operador, à maior quantidade de ações viáveis devem ser implementadas.

4.6 PERIODICIDADE DAS AÇÕES

Após as especificações das ações, foram definidas as periodicidades de aplicação das atividades que foram antes selecionadas como aplicáveis e efetivas, conforme Figura 26.

As atividades preventivas de inspeção de manutenção foram determinadas através da base em histórico de outros sistemas similares da empresa, definindo-se uma periodicidade inicial e adotando a teoria de Exploração de Idade descrita por Siqueira (2014), que altera a frequência de inspeção conforme os históricos de execução, aumentando ou reduzindo periodicidade pela condição do componente após as avaliações técnicas.

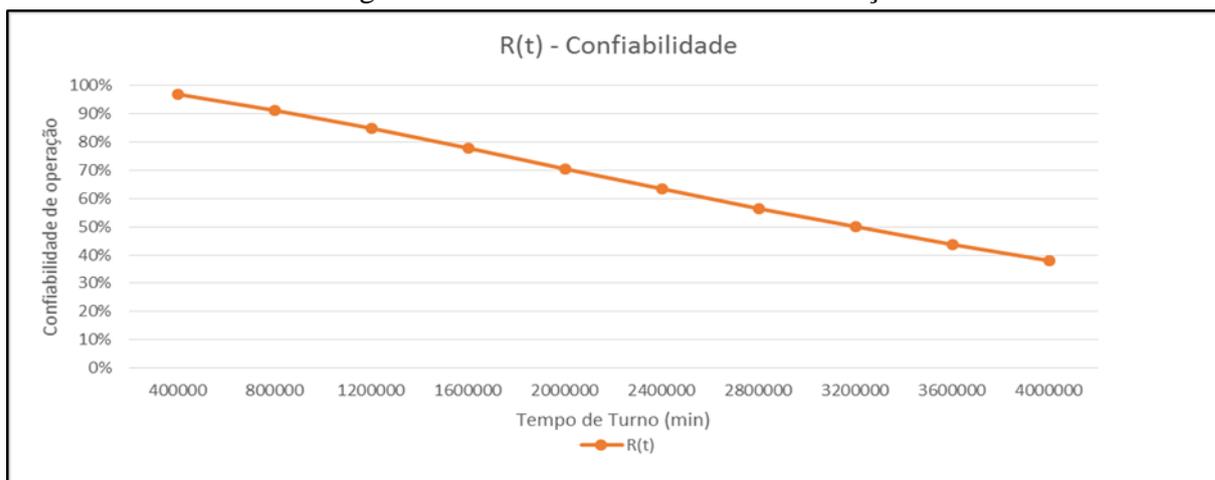
Figura 26 – Frequência de Tarefas

TAREFA PROPOSTA	Frequência da Tarefa
1. Criar checklist padrão TPM para limpar acúmulo de sujeira no elevador 2. Avaliar Melhoria de implementação de exaustão no ponto inferior do elevador.	1. Diária
2. Troca dos Trilhos e roldanas de entrada do elevador com base no tempo (Restaurar a condição Original)	2. Anual
1. Criar checklist padrão TPM para limpar acúmulo de sujeira no elevador 3. Avaliar Melhoria de implementação de exaustão no ponto inferior do elevador;	1. Diária
1. Troca dos Trilhos e roldanas de entrada do elevador com base no tempo (Restaurar a condição Original);	1. Anual
1. Criar plano de preventiva para inspeção da vedação e limpeza do quadro; 2. Criar plano de preventiva para troca de vedações com base no tempo e troca dos filtros;	1. Trimestral 2. 2 Anos / Semestral
1. Criar plano de preventiva para inspeção da vedação e limpeza do quadro; 2. Criar plano de preventiva para troca de vedações com base no tempo e troca dos filtros;	1. Trimestral 2. 2 Anos / Semestral
1. Preventiva de inspeção e ajuste do disco da embreagem; 2. Troca da embreagem com base no tempo;	1. Semestral 2. 2 Anos
1. Manutenção preventiva no sistema de trilhos, roldanas do carro e roldanas do cabo de aço;	1. Semestral
1. Preventiva de inspeção de carenagens soltas, roldanas, tubos de passagem do cabo de aço sobre o carro e desgaste da polia que recolhe o cabo de aço assim como presilhas de fixação do cabo e inspeção do cabo através de número de vias rompidas; 2. Troca do cabo de aço com base no tempo;	1. Semestral 2. Weibull

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Em relação as atividades de troca preventiva do cabo de aço, devido ao fato do mesmo oferecer risco a segurança e um elevado tempo de parada, foram definidas as periodicidades através do Análise de Weibull que demonstra através da Figura 27, a confiabilidade que possuímos no sistema de cabo de aço ao longo de sua vida útil no equipamento, buscando o ponto ótimo de troca do componente com base no histórico de falhas.

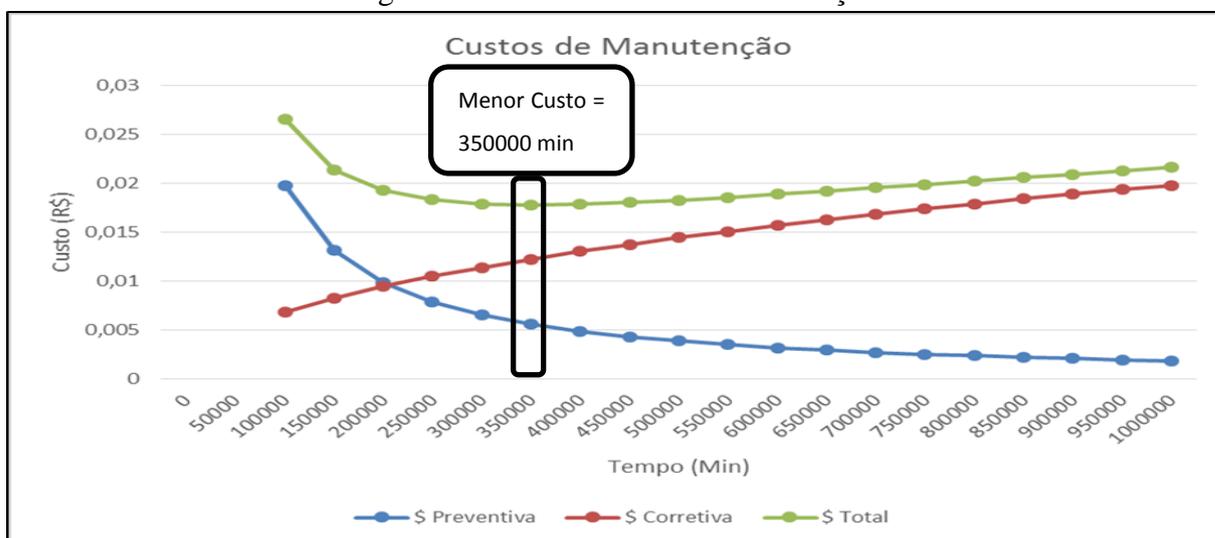
Figura 27 – Confiabilidade do Cabo de Aço



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Conforme demonstrado na Figura 28, é possível identificar o menor ponto do somatório de custo entre a preventiva e a corretiva, determinando assim o ponto ótimo e sustentável de troca do cabo de aço, indicando a troca com 350000 minutos de turnos de trabalho. Transformado para a realidade da operação do setor, indica a troca preventiva a cada 14 meses com uma confiabilidade de operação de 97,32%.

Figura 28 – Ponto Ótimo de Manutenção



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Nesta mesma análise é possível identificar que mesmo com uma periodicidade de corretivas desenvolvidas a cada 5 anos, a comparação entre os custos de preventiva e corretiva indicam a troca com um quarto deste valor do período de corretiva, já que a análise compara também a visão de lucro cessante do equipamento a partir de sua parada corretiva.

5 CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho é possível concluir que o objetivo principal de implementação do sistema de manutenção centrada em confiabilidade foi alcançado, desenvolvendo ações que aumentam a confiabilidade do equipamento assim como definindo um método a ser seguido pela empresa. Importante salientar que o principal ponto de implementação é a mudança da cultura da manutenção, saindo do conceito de manter apenas o equipamento e entrando na ideia de preservar a função significativa do sistema, mostrando a evolução para a busca dos melhores resultados para o negócio.

Possível concluir também que os objetivos específicos foram totalmente alcançados, onde as decisões de escolha de equipamentos e subconjuntos se basearam em análises de desempenho destes equipamentos. Deixando como um legado para a empresa, através da planilha MFMEA uma base de histórico de falhas deste equipamento, que pode ser replicado para outras linhas de produção, priorizando de uma forma estruturada as ações que devem ser implementadas. Durante a implementação foram observados pontos de melhoria para as próximas análises que serão desenvolvidas, melhorando a visão sobre o MFMEA e a correlação entre os possíveis modos de falhas de um mesmo item avaliado. Foi possível concluir também que nem todas as ações aplicáveis devem ser implementadas, trazendo a visão da sustentabilidade do negócio para que o custo de manutenção do equipamento não comprometa a margem de lucro e a continuidade da operação da empresa.

Após todas as ações de implementação serem definidas, as atividades aplicáveis foram iniciadas, sendo necessário ainda um período de tempo para avaliação de seus reais resultados em disponibilidade e ganhos financeiros mensuráveis.

Outro ponto de destaque sobre a implementação é que a partir do trabalho desenvolvido, a disseminação da cultura de manutenção centrada em confiabilidade foi adicionada como um dos pilares estratégicos da manutenção dentro do planejamento estratégico da empresa. Importante mudança de patamar que viabiliza recursos e gera um peso para continuidade nas atividades que se alinham com o objetivo de atingir uma manutenção de classe mundial.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Paulo Samuel. **Manutenção mecânica industrial: princípios técnicos e operações**. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade: terminologia**. Rio de Janeiro, 1994.
- BASTOS, José J. **Análise de Modo e Efeitos da Falha Potencial – FMEA**. Manual de Treinamento, Excelência Gestão Empresarial, 2011.
- FILHO, Gil Branco. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2008.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; DUARTE, José Luís Ribeiro. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- GUTIÉRREZ, Alberto Mora. **Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: enfoque sistémico kantiano**. 1ª. ed. Colômbia: AMG, 2005.
- IND 4.0, Manufatura avançada. **Por que a manutenção prescritiva é o futuro da indústria?** 02 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/noticias/18997-por-que-a-manutencao-prescritiva-e-o-futuro-da-industria>>. Acesso em: 16 nov. 2019.
- KARDEC, Alan; LAFRAIA, João. **Gestão estratégica e confiabilidade**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- MAXINST, Blog. **O futuro da manutenção: de preventiva a preditiva e prescritiva**. 16 out. 2018. Disponível em: <<https://maxinst.com.br/o-futuro-da-manutencao-de-preventiva-a-preditiva-e-prescritiva/>>. Acesso em: 16 out. 2019.
- MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance: second edition**. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.
- NG Informática, Blog. Disponível em: <www.ngi.com.br/novidades/curva-de-banheira>. Acesso em: 16 nov. 2019.
- NOWLAN, F. Stanley; HEAP, Howard. F. **Reliability-Centered Maintenance**. 1ª. ed. Califórnia: Dolby Access Press, 1978
- PIAZZA, Gilberto. **Introdução à engenharia da confiabilidade**. 1ª. ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2000.
- SIGGA, Blog. **Manutenção prescritiva: entenda o que é e use o potencial na indústria**. 04 abr. 2018. Disponível em: <<https://sigga.com.br/blog/manutencao-prescritiva/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção centrada na confiabilidade**: manual de implantação. 3ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.

SOARES, Carina; DE BONI, Carolina; BALLEZ, Mariane; DA SILVA, Viviane. **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha**. Programa de pós-graduação em Engenharia da Qualidade – UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

APÊNDICE A – Disponibilidade de equipamento críticos 2019

Equipamento	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19	Média Harmônica
MFR-10220	100,00%	100,00%	99,83%	100,00%	99,38%	100,00%	99,79%	100,00%	99,49%	100,00%	98,86%	100,00%	99,78%
MFR-10766	99,46%	99,89%	100,00%	99,88%	99,89%	99,97%	100,00%	99,94%	99,93%	100,00%	100,00%	99,62%	99,88%
MFR-0410	99,16%	100,00%	99,91%	99,43%	99,07%	99,09%	88,39%	99,23%	98,60%	97,12%	97,50%	96,14%	97,70%
MFR-12717	98,58%	99,63%	98,39%	100,00%	100,00%	98,66%	99,34%	97,21%	99,04%	99,63%	99,74%	97,52%	98,97%
MFR-2530	100,00%	95,58%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,85%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,60%
MFR-10919	96,21%	100,00%	100,00%	100,00%	97,55%	99,09%	96,71%	100,00%	100,00%	100,00%	97,59%	100,00%	98,91%
MFR-12900	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,17%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,94%	100,00%	99,93%
MFR-2819	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,92%	100,00%	100,00%	99,88%	99,57%	99,26%	99,35%	97,28%	99,60%
MFR-8797	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MFR-10250	98,09%	100,00%	99,92%	99,46%	99,97%	99,44%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,74%
MFR-11278	99,69%	99,74%	99,96%	100,00%	99,90%	100,00%	99,82%	95,98%	99,73%	100,00%	100,00%	99,69%	99,53%
MFR-11346	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
MFR-12987	100,00%	100,00%	100,00%	99,34%	97,52%	95,64%	98,58%	100,00%	97,46%	99,96%	100,00%	100,00%	99,02%
MFR-13947	100,00%	99,71%	99,97%	96,18%	100,00%	99,98%	98,87%	99,74%	95,31%	100,00%	99,57%	100,00%	99,09%
MFR-14310	100,00%	100,00%	100,00%	99,74%	100,00%	98,80%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,88%

APÊNDICE B – Planilha MFMEA

ID	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	MODO DE FALHA	DESCRÇÃO	CONSEQUÊNCIAS DA FALHA		Nº	Folha	Rev.	Frequência da Tarefa	
						SEGURANÇA	M. AMBIENTE					
						TAREFA VIÁVEL						
UNIDADE: FRS-LE SISTEMA: M3stms Passilhas EQUIPAMENTO: Misumador Senzco TAG: MFR-0410					Coordenador: Alex N. Frageso		Nº 1		Rev. 0			
					OPERAÇÃO Manutenção preditiva: Lista de verificação da manutenção. Lista de verificação da manutenção. Troca preventiva baseada no tempo. Rodar até falhar. Melhorar: Procedimentos ou Treinamentos. Peças sobresselvas.		TAREFA VIÁVEL		RISCO FREQUÊNCIA = F DETECTIVIDADE = D CONSEQÜÊNCIA = C RPN = F x C x D			
1	Abertura da porta de carga e descarga do elevador liberando acesso a entrada ou saída do carro de matéria prima.	Porta de entrada do elevador não movimento		1.1. Sistema pneumático da porta não funciona	N N S	N N S						
2				1.1.1 Sensor de presença do elevador na posição inferior não atua								
3				1.1.1.1 Sensor danificado (queimado)								
4				1.1.1.1.1 Fim da vida útil do componente	N N S	N N S	N N S	N N S	1	3	6	18
5				1.1.1.1.2 Curto circuito do sistema	N N S	N N S	N N S	N N S	1	3	6	18
6				1.1.1.1.3 Cabo rompido	N N S	N N S	N N S	N N S	1	3	6	18
7				1.1.1.1.4 Falha na entrada do CLP	N N S	N N S	N N S	N N S	1	3	4	12
8				1.1.1.2 Sensor danificado (quebrado na movimentação)	N N S	N N S	N N S	N N S	2	3	6	36
9				1.1.1.3 Atuador não está no local devido para acionamento do sensor								
10				1.1.1.3.1 Atuador quebrado	N N S	N N S	N N S	N N S	2	4	6	48
11				1.1.1.3.2 Atuador torto	N N S	N N S	N N S	N N S	2	3	6	36
12				1.1.1.3.3 Atuador desafiado	N N S	N N S	N N S	N N S	2	3	6	36
13				1.1.1.3.4 Elevador travado antes de chegar na posição								
14				1.1.1.3.4.1 Acúmulo de sujeira na base do elevador	N N S	N N S	N N S	N N S	10	6	6	360
15				1.1.1.3.5 Atuador fora de posição devido a deslocamento do elevador com a entrada da caixa (Folga)	N N S	N N S	N N S	N N S	6	6	6	216
16				1.1.1.4 Falha na atuação do sensor devido a posição (Fora do range de atuação)	N N S	N N S	N N S	N N S	2	3	6	36

TAREFA PROPOSTA

- 1. Clear checklist padrão TPM para limpar acúmulo de sujeira no elevador
- 2. Avaliar Melhorias de implementação de exaustão no ponto inferior do elevador.
- 3. Clear Procedimento com os pontos que tem específicos de limpeza padrão TPM e definir periodicidade de acordo com o histórico de falhas.

- 1. Clear tarefa no plano de preventiva para foga nos trilhos e condutas do elevador
- 2. Troca dos Trilhos e rodanas de entrada do elevador com base no tempo (restaurar a condição Original)

Alinhar projeto mecânico dos guias do elevador (Força Tarefa)

Fonte: elaborada pelo autor (2019).