

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

LEONEL ANTÔNIO REIS DO NASCIMENTO

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO COM BASE NO PROGRAMA MCC NO SETOR DE
CORTE EM UMA EMPRESA DE POLIURETANO FLEXÍVEL**

Porto Alegre

2019

LEONEL ANTÔNIO REIS DO NASCIMENTO

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO COM BASE NO PROGRAMA MCC NO SETOR DE
CORTE EM UMA EMPRESA DE POLIURETANO FLEXÍVEL**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. PhD. Christine Tessele Nodari

Porto Alegre

2019

Ficha catalográfica

<https://www.ufrgs.br/bibeng/ficha-catalografica/>

LEONEL ANTÔNIO REIS DO NASCIMENTO

GESTÃO DA MANUTENÇÃO COM BASE NO PROGRAMA MCC NO SETOR DE
CORTE EM UMA EMPRESA DE POLIURETANO FLEXÍVEL

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Christine Tessele Nodari
Orientador: Prof. PhD.

Ricardo Augusto Cassel
Vice-Coord.: Prof. PhD.

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Alberto Costa, PhD.(Universidade de Caxias do Sul-UCS)

Prof. Marcelo Nogueira Cortimiglia – Dr. (PPGEP/UFRGS)

Prof. Michel José Anzanello, PhD. (PPGEP/UFRGS)

Dedico este trabalho a toda minha família pelo incentivo e apoio para a conclusão de meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela proteção, vida e saúde.

Agradeço a minha orientadora, Prof. Christine Tessele Nodari, ao Prof. Ricardo Cassel e aos Prof. Membros da banca: Michel Anzanello (UFRGS), Marcelo Cortimiglia (UFRGS) e Carlos Alberto Costa (UCS), pela dedicação, críticas e conhecimento transmitidos, fato que foi fundamental para a realização desta dissertação de mestrado.

Meus agradecimentos aos meus pais Constantino e Gerçi pelo incentivo e apoio para a realização de meus estudos.

Agradeço a minha esposa Vera e meu filho Guilherme, também engenheiro, que sempre estiveram ao meu lado, com incentivos e paciência para que conseguisse alcançar mais esse objetivo em minha vida.

Agradeço ao meu irmão Júlio pelos incentivos, trocas de conhecimento e informações importantes que foram agregados a este trabalho.

Agradeço aos meus sogros Hermes e Terezinha, que são como meus pais, pelo apoio e incentivos.

Agradeço ao primo Adriano pelo apoio e palavras de incentivos.

Aos colegas de empresa pela disponibilidade, proatividade e dedicação com a qual se dispuseram com informações e trocas de conhecimento, o que proporcionou a realização deste trabalho.

Por fim agradeço a todos pelo carinho e incentivo para que alcançasse mais esse objetivo.

RESUMO

O objetivo deste estudo é apresentar a implementação de procedimentos metodológicos com relação as atividades de manutenção, elaborados com base nos conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC e aplicados em uma empresa produtora de poliuretano flexível (espuma). Para a realização do projeto, foram utilizadas análises dos tempos médios de reparo (MTTR), tempos médios entre as falhas (MTBF) e também a disponibilidade do equipamento, a fim de desenvolver o estudo de caso aplicado em uma empresa nacional fabricante de poliuretano flexível, cuja produção anual chega a 1.440.000 m³. Para tanto, as principais etapas para a aplicação do método são: a) Definição e capacitação da equipe multidisciplinar; b) Seleção dos equipamentos que impactam na confiabilidade, através da coleta de dados do sistema de manutenção; c) Análise de confiabilidade dos equipamentos críticos, d) Análises das funções e falhas funcionais dos componentes críticos, e) Identificação e seleção dos conjuntos e subconjuntos; f) Desenvolvimento de uma FMEA para estabelecer os riscos relacionados a essas falhas no equipamento; g) Estabelecer ações e planos de manutenção para cada modo de falha. Dessa forma, a implantação da MCC permitiu a redução das falhas nesse equipamento, evidenciando uma maior confiabilidade. Foi possível perceber uma redução de custos na ordem de R\$ 450.000,00 anuais. Tal economia financeira diz respeito a custos com paradas não programadas, horas extras não planejadas, redução de estoques de peças de reposição, bem como a redução de 10 toneladas de estoque pulmão referente às peças cortadas para a produção. Isso equivale a 15% de produção de blocos produzidos em um dia, o que permitiu ocupar menos espaço, resultando em uma área livre de 100 m².

Palavras-chave: Confiabilidade. Manutenção. MCC. FMEA.

ABSTRACT

The objective of this study is to present the implementation of methodological procedures in relation to maintenance activities, developed based on the concepts of Reliability Centered Maintenance - MCC and applied in a company producing flexible polyurethane (foam). For the realization of the project, analyzes of mean repair times (MTTR), mean times between failures (MTBF) and also the availability of the equipment were used, in order to develop the case study applied in a national company that manufactures flexible polyurethane, whose annual production reaches 1,440,000 m³. Therefore, the main steps for the application of the method are: a) Definition and training of the multidisciplinary team; b) Selection of equipment that impacts reliability, through the collection of data from the maintenance system; c) Critical equipment reliability analysis, d) Functions and functional failures analysis of critical components, e) Identification and selection of assemblies and sub-assemblies; f) Development of an FMEA to establish the risks related to these equipment failures; g) Establish the actions and maintenance plans for each failure mode. Thus, the implementation of MCC allowed the reduction of failures in this equipment, showing greater reliability. It was possible to notice a cost reduction of around R \$ 450,000.00 annually. Such financial savings are related to costs with unplanned downtime, unplanned overtime, reduction of spare parts inventories, as well as the reduction of 10 tons of lung stock related to parts cut for production. This is equivalent to 15% of production of blocks produced in one day, which allowed to occupy less space, resulting in a free area of 100 m².

Keywords: Reliability. Maintenance. MCC. FMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do tipo de manutenção após a Segunda Guerra Mundial.....	24
Figura 2 – Desempenho dos equipamentos.....	28
Figura 3 – Curva da Banheira e ciclo de vida do equipamento	32
Figura 4 – Fluxograma: procedimentos metodológicos	60
Figura 5 – Fluxograma do processo de fabricação do poliuretano flexível.....	69
Figura 6 – MTBF dos principais equipamentos do processo.....	70
Figura 7 – MTTR dos principais equipamentos do processo.....	71
Figura 8 – Disponibilidade dos principais equipamentos do processo	71
Figura 9 – MTBF dos Subconjuntos da operação laminadora.....	75
Figura 10 – MTTR dos Subconjuntos da operação laminadora	75
Figura 11 – Disponibilidade dos Subconjuntos da operação laminadora	76
Figura 12 – Disponibilidade do equipamento laminador antes e pós MCC	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução dos custos com manutenção no Brasil	233
Tabela 3 – Nível de severidade conforme descrição e escala	633
Tabela 4 – Escala de ocorrências e quantidade de falhas por ano	644
Tabela 5 – Nível de detecção conforme descrição e escala	644
Tabela 2 – Função primária e padrão de desempenho do processo de laminação	722
Tabela 6 – Processo de corte de espuma com conjuntos e subconjuntos.....	73
Tabela 7: Síntese dos Resultados.....	85
Tabela 8 : Síntese de Ganhos Aproximados	87

LISTA DE SIGLAS

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
ANP	Processo de Rede Analítica
DVP&R	Relatório e Plano de Verificação de Projeto
FMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falha
FMECA	Análise de Criticidade e Modo de Efeito de Falhas
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MTBF	Tempo Médio de Bom Funcionamento Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	Tempo Médio para Reparo
NPR	Número de Prioridade de Risco
OEE	Eficiência Geral do Equipamento
PFMEA	Análise de Modo e Efeitos de Falha
RCM	Manutenção Centrada na Reatividade
RG	Crescimento de Fiabilidade
RPN	Número de Prioridade de Risco
TPM	Manutenção Produtiva Total
TRPN	Índice de Prioridade de Risco Total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	17
1.3 PROBLEMA	17
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo Geral	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
1.5 JUSTIFICATIVA	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 VISÃO GERAL DA MANUTENÇÃO	21
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	23
2.2.1 Manutenção Corretiva	26
2.2.2 Manutenção Preditiva	27
2.2.3 Manutenção Preventiva	27
2.3 INDICADORES DA MANUTENÇÃO	29
2.4 CONFIABILIDADE.....	30
2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE – MCC	32
2.5.1 Algumas Aplicações do Programa MCC	35
2.5.2 Diagramas de utilização da MCC	36
2.6 A ORIGEM DA FMEA.....	42
2.6.1 Tipos de FMEA	43
2.6.2 FMEA VS. FMECA	44
2.6.3 Aplicações da FMEA e Estado da Arte	46
2.6.5 Preparação da FMEA	50
2.6.6 Desenvolvimento da FMEA	51
2.6.7 Vantagens e Limitações	57
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	59
3.1 SELEÇÃO DO SISTEMA E DO EQUIPAMENTO	61
3.2 DETERMINAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS.....	62
3.3 DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DOS SUBCONJUNTOS	62
3.5 CONSTRUÇÃO DO PLANEJAMENTO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	65
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO	67

4.1 SISTEMA OU EQUIPAMENTO ELEITO	70
4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS.....	72
4.3 VERIFICAÇÃO FUNCIONAL DOS SUBCONJUNTOS	77
4.4 FMEA – ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA	78
4.5 SELEÇÃO E ELABORAÇÃO DE AÇÕES NAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO.....	81
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	85
6 CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICE A – APLICAÇÃO DA FMEA AOS SUBCONJUNTOS.....	100
APÊNDICE B – RANKING DE RISCO RESULTANTE DO MODO DE FALHA.....	102
APÊNDICE C – PLANILHA FMEA COM AÇÕES RECOMENDADAS PARA A MANUTENÇÃO .	105
APÊNDICE D – RANKING DO RISCO RESULTANTE DA PLANILHA FMEA COM AÇÕES RECOMENDADAS PARA A MANUTENÇÃO.....	111

1 INTRODUÇÃO

Devido aos novos desafios e à crescente competição entre as empresas, há um grande esforço de seus gestores para que suas metas sejam alcançadas e que possibilite a realização de melhorias nas organizações. Dessa forma, a globalização e a competitividade tão acirrada entre as organizações tornaram imperativa a necessidade de lançar no mercado produtos com alta confiabilidade a preços competitivos. Além disso, tornou-se ainda mais importante atender aos requisitos de satisfação e garantia de um bom produto para o cliente (BASTOS, 2006). O mesmo raciocínio de competição entre as empresas, em alcançarem suas metas, serve também para o contexto da manutenção em preservar os ativos e manter os equipamentos disponíveis para a produção (PEREIRA, 2010). Em virtude disso, investigar exaustivamente a falha de um equipamento é fundamental para a descoberta de sua causa. Em muitas empresas, esse comportamento de prevenção raramente ocorre, pois o processo de apuração de dados para solucionar os problemas não se enquadra nos moldes das corporações, que optam pela manutenção corretiva, deixando de lado a preventiva (XENOS, 2014).

Estudos demonstram que existe uma tendência quanto à redução da manutenção corretiva (manutenção reativa). Isso porque a relação dos custos de uma manutenção corretiva não planejada é, no mínimo, o dobro do custo de uma manutenção planejada. Nesse contexto, foi a partir dos anos 60 que houve um aumento do estabelecimento de programas que evidenciam a busca pela manutenção planejada, motivada, principalmente, pelo progresso na área eletrônica. Em vista disso, o aumento da automação nas plantas industriais e utilização de microprocessadores possibilitaram que a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos se tornassem pontos chave em setores distintos, tais como: saúde, processamento de dados, telecomunicações, dentre outras (KARDEC; NASCIF, 2001).

Ainda sobre manutenção planejada, a manutenção tem se colocado no plano estratégico voltado para os resultados empresariais das organizações (NASCIF; DORIGO, 2009; KARDEC; LAFRAIA, 2002; AFFONSO, 2014). É por isso, que a busca pela excelência nos processos produtivos, a um custo cada vez mais reduzido, pode comprometer a qualidade do produto, fato que acaba por exigir mais esforços dos setores de manutenção. Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), esta tem

como objetivo manter e melhorar a confiabilidade e a regularidade de operação do sistema produtivo. Assim, reduzir as falhas dos equipamentos no intuito de aumentar sua disponibilidade, confiabilidade dos processos e atividades de manutenção mais eficientes, possibilita êxito ao setor industrial (XENOS, 2014; PEREIRA; SENA, 2012).

Xenos (2014) salienta, ainda, a forma errônea de relacionar reparos com manutenção, bem como a falta de compreensão, que evidencia o mal-entendido quando se refere às atividades de manutenção nos equipamentos. O autor relata também que o conserto dos equipamentos após a falha ocorrer não pode ser chamado de manutenção, pois a mesma visa a formas sistemáticas de evitar que as falhas ocorram. Nesse mesmo sentido, Verri (2007) relaciona a alta frequência de falhas e problemas no setor industrial ao despreparo dos líderes de manutenção que reforçam um gerenciamento ruim e, assim, contribuem para os altos custos de manutenção, baixa confiabilidade e, conseqüentemente, a baixa disponibilidade dos equipamentos. Destaca-se, ainda, que a manutenção propriamente dita tem por objetivo garantir a disponibilidade dos equipamentos em desempenhar suas funções e atender o processo produtivo com confiabilidade, segurança e preservação do meio ambiente a um custo adequado, processo esse que requer a implementação de um programa adequado de manutenção (KARDEC; NASCIF, 2001; AFFONSO, 2014; LAFRAIA, 2008).

Ainda nos anos 60, um grupo de estudos, criado pela Administração de Aviação Federal dos Estados Unidos, desenvolveu um programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica, que provocou uma reorientação nos procedimentos que até hoje estão em vigor (PEREIRA, 2009). Desde então, vem provocando uma evolução na gestão da manutenção quanto aos equipamentos industriais, estimulando, dessa forma, que programas de Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC sejam implantados (MENDES, 2011). Sendo assim, a MCC tem se apresentado de uma forma eficiente de contribuição para o alcance da excelência nas atividades de manutenção (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Nesse contexto, a Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma metodologia que garante que os componentes de um sistema produtivo mantenham suas funções. Funções essas que devem ocorrer de maneira segura, com economia e sem agressões ao meio ambiente. Diante disso, a MCC visa ao empenho da análise de falhas do equipamento, redução de custos por meio da manutenção

preventiva e preditiva, além de mitigar peças de reposição e por consequência a redução da mão-de-obra. Sendo assim, a MCC é amplamente utilizada no segmento industrial como: aeronáutico, setor de alimentos, mercado automotivo, celulose e refinarias (PEREIRA, 2009).

Logo, a deficiência na área de manutenção em algumas empresas, sustentam as distorções do entendimento da manutenção com reparos corretivos. É importante ressaltar, que a manutenção corretiva se difere da preventiva, pois a manutenção preventiva zela pelo planejamento e evita transtornos por paradas produtivas não planejadas. Neste sentido, a falta de entendimento dos gestores sobre a importância do setor de manutenção, faz com que não haja investimentos nesse âmbito, negligenciando a busca por programas de manutenção que possibilitem o conhecimento dos dados para a análise das ocorrências de falhas em equipamentos. Neste contexto, o programa Manutenção Centrada em Confiabilidade em conjunto com a FMEA, permite elaborar ações às atividades de manutenção através das análises das causas das falhas operacionais, bem como, reduzir os custos de manutenção, custos operacionais e de peças de reposição (LAFRAIA, 2001; SIQUEIRA, 2005; FOGLIATTO & RIBEIRO, 2009).

1.1 TEMA

Em um mercado globalizado, a redução de custos e a busca por melhorias nas empresas de manufatura aumentam a competição. Assim, desperta o interesse de gestores por métodos ou programas para implementar em seus processos produtivos. Trata-se de uma forma de possibilitar o crescimento na produtividade, reduzindo os desperdícios e aumentando a lucratividade. Com base nisso, a FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha) e a MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) são técnicas utilizadas na manutenção que visam medir o índice de ocorrência de falhas, tipos e modos de falhas e, conseqüentemente, maximiza o tempo disponível dos equipamentos para sua utilização.

A MCC, por sua vez, é uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisando como as falhas pode ocorrer e definindo o plano de manutenção mais adequado com vistas a evitar a falha ou reduzir as perdas decorrentes das falhas (KARDEC e NASCIF, 2012). Nesse sentido, a confiabilidade do equipamento possui um impacto significativo sobre a produtividade e

consequentemente refletida aos preços finais dos produtos e, bem como, a sua entrega. Assim, a Manutenção Centrada em Confiabilidade conjuntamente com FMEA, possibilita a aplicação dos procedimentos metodológicos das atividades de manutenção, o que permitirá a elaboração de planos de manutenção mais adequados para cada falha identificada no subconjunto crítico, seu conjunto, e fatores que mais impactam na disponibilidade do equipamento.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho limita-se a uma pesquisa elaborada com estudo de caso, utilizando os princípios da MCC para possibilitar a elaboração de planos de manutenção que seja mais adequado no setor de corte de uma empresa produtora de poliuretano flexível, utilizando como equipamento de estudo um laminador. O estudo limita-se ao equipamento laminador, situado no setor de corte da empresa. Assim, não abrangerá outras máquinas instaladas no setor, o que será possível o desenvolvimento de trabalhos futuros.

1.3 PROBLEMA

Em função da importância da manutenção, como tema de estudo deste trabalho, pode ser realizado no setor de corte de uma empresa produtora de colchões, na unidade do Rio Grande do Sul, sendo a empresa de patrimônio familiar, detém de 17 unidades espalhadas pelo país, com sede no Rio de Janeiro. Nessa unidade, foram registrados altos índices de paradas para manutenção no setor de corte de espuma, e devido a esses índices, foram evidenciados o crescente aumento dos custos operacionais, alto índice de insatisfação dos clientes pelo atraso nas entregas de seus pedidos, bem como a redução da competitividade da empresa no mercado.

Nesse sentido, com a implantação do programa MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade, possibilitará aprofundar os conhecimentos do programa, o que permitirá na elaboração de um plano estratégico de manutenção mais eficiente, com o intuito de reduzir os altos índices de paradas não programadas ocasionadas por

falhas nos equipamentos. Assim, as tomadas de decisões estratégicas no âmbito da manutenção tornam-se mais assertivas, possibilitando a identificação do equipamento crítico, seus conjuntos e subconjuntos, conjuntamente com equipes da produção, manutenção e suas lideranças, permitindo prevenir, reduzir ou até mesmo eliminar a ocorrências dessas falhas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa dissertação é implementar os procedimentos metodológicos seguindo as etapas do MCC e FMEA, utilizando análises quantitativas e qualitativas, o que permiti transformar os índices decorrentes dessas falhas em parâmetros de seleção dos componentes envolvidos. Logo, possibilitará a elaboração de ações de manutenção e, que possam dar suporte às decisões estratégicas nas atividades de manutenção, em especial, ao equipamento crítico Laminador, objeto de estudo deste trabalho, no setor de corte da empresa. Com base nos dados históricos desse equipamento, detectou-se altos índices de paradas não programadas e, portanto, pretende-se identificar a causa da baixa disponibilidade do equipamento e propor ações de melhoria.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para alcançar os resultados esperados, o presente trabalho tem como objetivo específico:

- a) Selecionar os equipamentos que compõe o sistema de produção e corte de espuma;
- b) avaliar os indicadores MTBF, MTTR e Disponibilidade desses equipamentos;
- c) selecionar o equipamento de menor Disponibilidade;
- d) identificar os conjuntos e subconjuntos desse equipamento;

- e) fazer uma análise das funções primárias e padrões de desempenho de cada subconjunto;
- f) medir e avaliar os indicadores MTBF, MTTR e Disponibilidade desses subconjuntos;
- g) identificar as causas e consequências dos principais modos e efeitos de falha através da aplicação da FMEA;
- h) propor planos de manutenção mais adequados para as atividades de manutenção.

1.5 JUSTIFICATIVA

A realização deste trabalho está associada à importância da gestão da manutenção frente ao forte mercado competitivo atual, em que os custos operacionais e a confiabilidade do sistema produtivo são decisivos para o negócio da organização. Assim, os preceitos da MCC contribuem para a gestão da manutenção ao equipamento de corte da empresa em estudo, o Laminador, com o intuito de reduzir os custos operacionais e aumentar a disponibilidade do equipamento.

Com a implantação do programa MCC, a tomada de decisão torna-se mais assertiva, o que beneficia para o bom desempenho do negócio da empresa, pois, a forte competitividade no mercado global, demandam grande flexibilidade e postura por parte das organizações. Desta forma, a necessidade crescente pela produtividade e cumprimento dos prazos de entrega dos produtos depende fortemente de uma boa e integrada atuação da manutenção nas decisões de gestão da produção e operação.

O processo de expedição dos produtos da empresa em estudo da unidade do Rio Grande do Sul, seja de colchões para as lojas fraqueadas ou para grandes redes de lojas, seja a espuma para empresas do ramo mobiliário, construção civil, calçados e outros, a distribuição é realizada por caminhões terceirizados e de uso exclusivo para a empresa, atendendo o mercado da região sul do país. A empresa não dispõe de estoques de produtos acabados devido ao alto volume produzido diariamente, o que necessitaria de uma grande área para armazenamento. Além disso, o alto risco de incêndio, já que o produto é altamente inflamável e gera naturalmente uma grande preocupação da gerência e equipe responsável.

A expedição trabalha basicamente com fechamento de cargas, por isso, a produção trabalha em sintonia com a expedição e com um justo planejamento da produção. Alinhada com a produção de blocos, o setor de corte de espuma atende à demanda do setor de montagem e fechamento de carga, que é executada pela expedição, sendo, as entregas realizadas diariamente, sem a possibilidade de manter estoques de produto acabado. Para isso, alinhado com o sequenciamento da produção, a alta utilização do setor de corte atende diretamente também a demanda de clientes externos.

É por isso, que devido à alta utilização do setor de corte da empresa, os equipamentos devem ter alta confiabilidade e estar sempre disponível para o setor produtivo. Nesse sentido, a aplicação dos princípios do programa MCC torna-se importante, pois os equipamentos necessitam de níveis adequados de confiabilidade para evitar que estes falhem durante o processo, e conseqüentemente, reduza a produtividade do sistema.

Desta forma, para que se possa alcançar os objetivos desta pesquisa, o próximo capítulo versa sobre a temática da Manutenção, bem como os tipos em que se subdivide e os indicadores de Manutenção e Confiabilidade. Já no terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia empregada e estudo de caso, em que o objeto de estudo é caracterizado. Ainda, essa seção do trabalho apresenta a elaboração de ações para as atividades de Manutenção, com base nos autores estudados no referencial teórico. Por fim, procede-se à análise dos resultados, que levam ao último capítulo deste trabalho, a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta o referencial teórico sobre a manutenção, definições, sua importância, indicadores de manutenção e tipos de manutenção. Na sequência, apresentam-se os princípios da MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade e FMEA – Análise dos Modos e Efeitos de Falha, com o objetivo de facilitar o entendimento dos demais capítulos.

2.1 VISÃO GERAL DA MANUTENÇÃO

A manutenção é definida pelo dicionário Aurélio como: medidas necessárias para a conservação ou permanência de alguma coisa ou situação ou também, como cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento de motores ou máquinas. Já pela norma NBR 5462 -1994 (ABNT, 1994), a manutenção é definida por ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções requeridas para as quais fora projetado. Segundo Pereira (2010), a manutenção, do latim “*manus tenere*”, traduz-se para o português como algo como “manter o que se tem”, termo utilizado para definir uma atividade, e é através da manutenção que as organizações conservam seus ativos patrimoniais.

Para um melhor entendimento do termo manutenção, com a Segunda Guerra Mundial, muitos aspectos sobre o gerenciamento da manufatura foram influenciados fortemente pelos métodos vindos da Europa e Estados Unidos. Atualmente, esses métodos estão sendo estudados e existe uma tendência dos profissionais da área gerencial a desviar suas atenções aos aspectos técnicos ao invés de aspectos mais indicados que resultariam em uma solução imediata dos problemas (TAKAHASHI; OSADA, 1993). Hoje, as empresas de manufatura e de serviços têm gerado produtos cada vez mais mecanizados e automatizados, podendo ser notados em diversas atividades do mercado. Com isso, as empresas garantem maior produtividade, competitividade e com maiores volumes, conseqüentemente, custos reduzidos. Para tanto, os processos produtivos das empresas que atendem seus clientes com desempenho, qualidade e segurança estão com o gerenciamento da manutenção alinhado com as estratégias gerenciais da organização (XENOS, 2014).

No passado, as fábricas eram menores, os equipamentos eram basicamente mecânicos com projetos simples, que facilitassem a manutenção e seu funcionamento. Com produções menores, permitiam também que os reparos nos equipamentos fossem feitos pelos próprios operadores, o que possibilitava inspeções diárias, como: limpezas, lubrificações e ajustes. Assim, o que se conhece por manutenção autônoma já se praticava no passado (XENOS, 2014).

Segundo Cabral (2006), a manutenção era considerada um mal necessário da função produtiva nas empresas. Desde o início dos anos 2000, essa visão vem se transformando e a manutenção passa a ser considerada uma área importante que mantém a setor de produção competitivo, mantendo o desempenho dos ativos, segurança, qualidade e a rentabilidade econômica do processo produtivo. Pode-se dizer que o objetivo da manutenção tem de estar ligado aos objetivos globais da organização. Nesse sentido, a manutenção, outrora considerada um mal necessário, hoje em dia é considerada uma função estratégica para a organização (FERNÁNDEZ; MÁRQUEZ, 2012; AFFONSO, 2014).

Sabe-se que muitas empresas rumam à nova era industrial, modernizando sua produção e implantando gestões de qualidade. Essas empresas reconhecem o sentido da manutenção e trabalham para elevar o seu nível. Mas, quando se fala na má gestão da manutenção, de um modo geral, exemplos podem ser citados como alguns tipos de manutenção: a má conservação de estradas, máquinas, prédios e outros, e que ocasionam sérios problemas de riscos de acidentes no dia a dia, resultando em desperdícios de recursos públicos e privados (XENOS, 2014).

No que se refere a custos de manutenção, as empresas apontam apenas custos de reparo, o que é julgado como tratamento errôneo. Isso porque devem ser considerados também os custos de:

- a) perda de produção;
- b) perda de matéria prima;
- c) retrabalhos;
- d) perdas por desperdícios energéticos e outros.

No Brasil, o trabalho de manutenção em muitas empresas não possui hábitos repetitivos (rotina de inspeção de manutenção, rotina operacional, dentre outras) e acabam focando apenas em consertar o que realmente necessita de uma

manutenção emergencial (conhecida como manutenção corretiva). Nesse sentido, a manutenção deve ser simples e que conserve a rotina de inspeção diária, suas medições, ajustes, trocas de peças e melhorias dos equipamentos (XENOS, 2004).

A Tabela 1 demonstra a evolução dos custos com manutenção no Brasil, como retrata pesquisa no ano base 2012 com relação a 2010, pois os custos com manutenção no País tiveram um aumento de quase 50%, ultrapassando os R\$ 200.000.000,00 (ABRAMAN, 2013).

Tabela 1 – Evolução dos custos com manutenção no Brasil

Ano da pesquisa	Ano base	Custo Milhões (R\$)
2013	2012	206.500,700
2011	2010	145.162,500
2009	2008	120.060,000
2007	2006	90.325,800
2005	2004	72.537,282
2003	2002	57.475,396
2001	2000	49.226,099
1999	1998	32.545,093
1997	1996	34.193,139
1995	1994	14.876,133

Fonte: Adaptado de Abramam (2013).

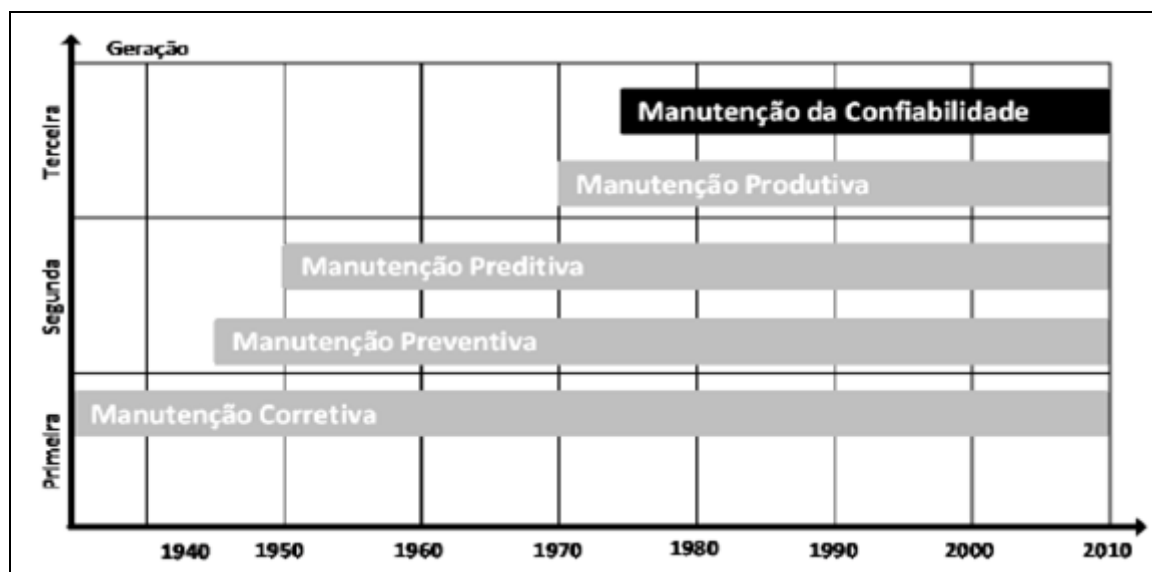
Para Kardec e Lafraia (2002), a disponibilidade do equipamento é o resultado de uma boa gestão da manutenção - à medida que a disponibilidade aumenta, a demanda por serviços de manutenção diminui. Nesse sentido, a relação de disponibilidade e demanda é amplamente discutida quando se adota a terceirização da manutenção nas empresas, pelo fato da fidelidade da contratada perante a contratante em aumentar a disponibilidade dos equipamentos.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção adotados nas empresas possuem forte relação com os resultados estratégicos da organização (TAKAHASHI; OSADA, 1993). A manutenção pode ser dividida em categorias que foram surgindo a partir da

manutenção clássica. As principais são: corretiva, preventiva, preditiva e produtiva. Segundo Siqueira (2005), a manutenção pode ser dividida em três gerações, como: Mecanização, Industrialização e Automatização. Tais gerações refletem no surgimento das categorias de manutenção. A Figura 1 apresenta as fases da manutenção em um determinado período, após a Segunda Guerra Mundial.

Figura 1 – Evolução do tipo de manutenção após a Segunda Guerra Mundial



Fonte: Siqueira (2005).

A Figura 1 ilustra três gerações de manutenção em períodos e cinco categorias diferentes de manutenção (eixo vertical) por décadas (eixo horizontal), caracterizando um processo de evolução.

A primeira geração, que inicia na década de 40, em que a categoria de manutenção corretiva é predominante, caracteriza-se por uma indústria pouco mecanizada, com projetos simplificados e superdimensionados, e a manutenção corretiva não planejada nesse período era o que se aplicava. Siqueira (2005) relata que a manutenção planejada era inexistente e o programa de manutenção se limitava em lubrificação e tarefas corretivas para reparação de falhas.

Já na segunda geração, que ocorre a partir da década de 60, as empresas começam a inserir a manutenção preventiva e preditiva como aborda Siqueira (2005). Nesse período, as empresas necessitavam de maior disponibilidade de equipamento e, conseqüentemente, maior confiabilidade do mesmo, além de aumento da mecanização, devido ao baixo contingente de mão-de-obra industrial e crescente demanda por diferentes tipos de produtos.

A terceira geração, a partir da década de 70, tornou a confiabilidade e a disponibilidade de equipamentos pontos vitais para a estratégia das empresas. Esse fato possibilitou que as mesmas fizessem investimentos em automação e mecanização, para reforçar a preocupação com qualidade e garantia de desempenho dos produtos, bem como preservação do meio ambiente e segurança dos produtos e dos processos industriais (SIQUEIRA, 2005).

Após a década de 70, é possível verificar que todas as categorias de manutenção estão presentes. A partir dos anos 2000, houve ainda um forte direcionamento à manutenção preditiva, sem deixar de se preocupar com preservação ambiental, qualidade e disponibilidade. Isso ocorreu pois se verificou a necessidade de reduzir possíveis ocorrências de falhas e o controle no monitoramento da condição do equipamento. Foram buscadas, então, técnicas de manutenção, tais como: técnicas de confiabilidade, redução de manutenção preventivas e corretivas não planejadas, análises de falhas e projetos voltados à manutenabilidade.

Atualmente, mantém-se as práticas utilizadas desde a década de 40, focando em resultados empresariais com base na soma de esforços resultantes do conjunto de gestão de equipamentos e processo como um todo. Assim, um olhar mais atento está voltado ao projeto do equipamento, que visa reduzir ou mesmo eliminar falhas com alteração de projeto, manutenção preditivas e monitoramento da condição do equipamento. Para um melhor entendimento, o Quadro 1 ilustra uma síntese da evolução da manutenção.

Quadro 1 – Evolução da manutenção

Geração	Primeira	Segunda	Terceira	Quarta	Quinta
Ano	1940-1950	1960-1970	1980-1990	2000-2005	2010-2015
Aumento das expectativas em relação à manutenção	- Conserto após a falha.	- Disponibilidade crescente - Maior vida útil do equipamento	- Maior confiabilidade; - Maior disponibilidade; - Melhor relação custo-benefício; Preservação do meio ambiente.	- Maior confiabilidade; - Maior disponibilidade; - Preservação do meio ambiente; Segurança; - Gerenciar ativos; - Influir nos resultados do negócio.	- Gerenciar ativos; - Otimizar o ciclo de vida dos ativos; - Influir nos resultados do negócio.
Visão quanto à falha do ativo.	- Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham.	- Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira.	- Existência de outros padrões de falhas.	- Reduzir drasticamente as falhas prematuras.	- Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas.
Mudanças nas técnicas de manutenção.	- Habilidades voltadas para o reparo	- Planejamento manual da manutenção. - Computadores grandes e lentos; - Manutenção preventiva (por tempo).	- Monitoramento da condição; - Manutenção preditiva; - Análise de risco; - Computadores pequenos e rápidos; Grupos disciplinares; - Projetos voltados para a confiabilidade.	- Aumento da Manutenção Preditiva; - Redução Da Manutenção Preventiva E Corretiva; - Análise De Falhas; - Técnicas De Confiabilidade; - Projetos voltados para disponibilidade; - Contratação por resultados.	- Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição on e off-line; - Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação; - Excelência em engenharia de manutenção.

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2012).

2.2.1 Manutenção Corretiva

É preciso diferenciar os trabalhos de manutenção planejado dos não planejados. Do ponto de vista de gestão, a intervenção da manutenção planejada é feita de forma que não altere o processo produtivo. Já a intervenção da manutenção não planejada são operações reativas e não previstas pela equipe de manutenção, ou seja, sua execução será determinada pela natureza da situação (CABRAL, 2006).

A manutenção corretiva também é definida por reparar falhas quando elas ocorrem sem aviso prévio (CABRAL, 2006). Quando ocorre a manutenção corretiva, é porque a falha já ocorreu. Por isso, não se deve apenas levar em conta os custos da manutenção, mas também os custos da parada produtiva como um todo. Sabendo disso, é indispensável que as peças de reposição estejam disponíveis para

uma ação rápida, para que os impactos dessas falhas em equipamentos da produção sejam potencialmente reduzidos (XENOS, 2014).

2.2.2 Manutenção Preditiva

A expressão preditiva está associada à palavra “predizer”, que busca a maior disponibilidade dos ativos por meio de parâmetros pré-estabelecidos para verificar a condição da máquina durante sua operação. Esse tipo de manutenção está associado à condição ou estado do equipamento, pois existe uma sistemática que obedece a verificação de parâmetros para definir se o equipamento está ou não em boas condições (KARDEC; NASCIF, 1998).

De acordo com Xenos (2014), com a manutenção preditiva consegue-se prolongar o tempo de troca ou reforma de peças e também o intervalo de manutenção. Com esta técnica, é possível determinar quando a peça estará próxima de seu limite de uso. Quando a utilização deste controle é viável, permite-se que reparos e substituições sejam feitas exatamente quando necessário. Além disso, essa modalidade de manutenção permite empregar algumas técnicas como: vibração, termografia e sensoriamento remoto para detecções de algumas anomalias (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Através do emprego da manutenção preditiva, é possível conhecer o real estado dos equipamentos, permitindo assim que reparos sejam realizados no momento mais propício, através de uma manutenção planejada, de forma a não acarretar prejuízos por paradas de produção. Dessa forma, ganhos são obtidos por redução de perdas de produção e redução de custos de manutenção, pois ao controlar a condição do equipamento, obtém-se uma melhoria na relação da empresa com o cliente, mediante o cumprimento dos prazos de entrega do produto (CABRAL, 2006).

2.2.3 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é a mais cara das modalidades quando se considera apenas custos de manutenção, já que peças e/ou componentes são substituídos antes que atinjam sua vida útil (XENOS, 2014). Ainda, diz o autor, a manutenção preventiva é o coração das atividades de manutenção, pois envolve

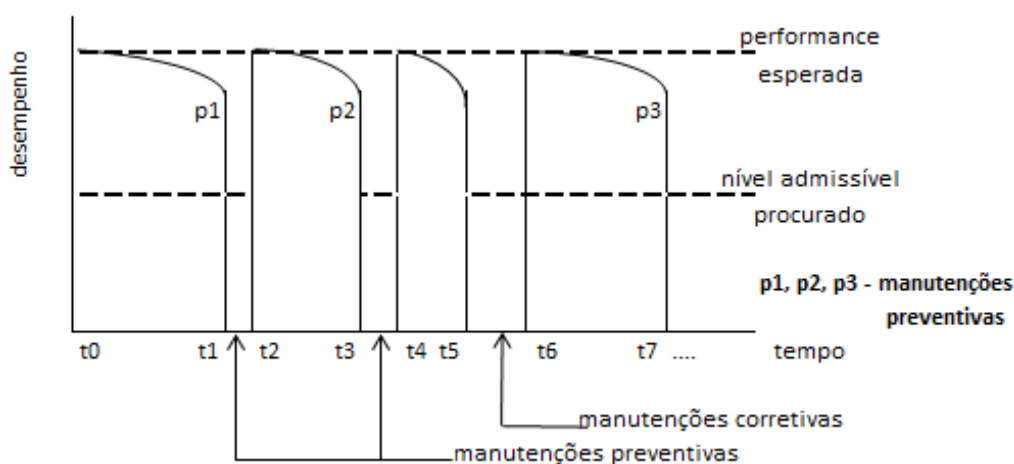
rotinas sistemáticas, como inspeções e troca de peças antecipadamente. Assim, o custo, apesar de ser mais oneroso que a manutenção corretiva, compensa-se pela redução da frequência da ocorrência das falhas e, por consequência, o aumento da disponibilidade do equipamento, além da diminuição das interrupções inesperadas da produção.

Reforça-se, também, que a manutenção preventiva objetiva a inibição de avarias, pois se consegue ter um melhor planejamento das operações de manutenção (CABRAL, 2006; LAFRAIA, 2008). Dessa forma, para que a manutenção preventiva seja realizada, os equipamentos têm que estar em condições de operação, apresentando ou não qualquer tipo de defeito (BRANCO FILHO, 2008). Esse tipo de manutenção busca evitar a falha ou a quebra do equipamento, atendendo a um plano já elaborado e que deva ser obedecido a espaços de tempo entre cada intervenção.

Além disso, como dito anteriormente, esta modalidade de manutenção é bastante onerosa e um dos motivos para tal consequência é que exige um planejamento de peças sobressalentes e, na maioria das vezes, é necessário que a peça seja trocada mesmo que esteja em boas condições (BRANCO FILHO, 2008).

A Figura 2 ilustra alguns fatores como contaminação dos sistemas de lubrificação, falhas de procedimentos de manutenção, ambiente de trabalho. Esses fatores influenciam diretamente o tempo de vida útil de alguns componentes da máquina, fazendo com que o tempo de intervenção ao equipamento seja maior ou menor ao pré-estabelecido no plano de manutenção.

Figura 2 – Desempenho dos equipamentos



Fonte: Kardec e Nascif (1998, p. 36).

2.2.3.1 Manutenção Proativa

A Manutenção Proativa possibilita o monitoramento das condições operacionais, condicionando maior estabilidade funcional ao equipamento. Esse tipo de manutenção exige da equipe um aprofundado conhecimento do equipamento e, para isso, adota-se uma capacitação adequada ao tipo de conserto do qual fora destinado. Assim, essa técnica oferece aos gestores um melhor gerenciamento do processo de desgaste dos componentes inerentes ao equipamento, e faz com que a manutenção proativa seja reconhecida como uma evolução da Manutenção Preventiva (PEREIRA, 2010).

2.3 INDICADORES DA MANUTENÇÃO

Indicadores de manutenção e de performance são um conjunto de informações que possibilitam otimizar e mensurar funcionamento de processos com o intuito de ampliar a produtividade e eficiência de uma empresa. Para Pereira (2009), os indicadores são itens de controle de extrema importância para a manutenção, pois, além de possibilitar a visualização de ponto de melhora na produção, cria um ambiente de responsabilidade e de comprometimento dos resultados esperados com a equipe de manutenção.

Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que metas e indicadores devem ter coerência. Em outras palavras, quer dizer que há uma necessidade de que as metas impostas às equipes de trabalho sejam factíveis, levando em consideração os indicadores obtidos. Essa coerência motiva as equipes a trabalharem para superar as metas. Nesse mesmo sentido, para o bom gerenciamento de um programa MCC, deve-se estar constituído de metas e indicadores devidamente definidos e que disponibilizam informações gerenciais de equipamentos e/ou processos. Assim, esses indicadores devem retratar os tempos de paradas, disponibilidade de equipamento e qualidade do processo.

Com relação às exigências das normas da qualidade, tais indicadores podem ser descritos como:

- a) MTBF e MTTR;
- b) custos de manutenção por produto produzido;

- c) consumo e gastos com energia;
- d) número de ordens de serviços atendidas e tempo médio para atendimento (*backlog*);
- e) índice de manutenção preventiva x manutenção corretiva;
- f) eficiência Global de Equipamento – (OEE - *Overall Equipment Efficiency*).

Para Ribeiro (2016), a confiabilidade, dentro da engenharia, tem importância crescente e é definida de forma objetiva e mensurável. Então, uma forma alternativa de mensurar a confiabilidade de um produto é o MTBF, usado para produtos que falham e podem ser consertados, como veículos e equipamentos industriais. Para produtos que não podem ser consertados, ou seja, quando a primeira falha inutiliza o produto, usa-se o MTTF.

Outra medida utilizada com frequência é a disponibilidade, que tende a 1 quando o MTBF tende a infinito (alta confiabilidade) ou o MTTR tende a zero (reparo instantâneo), conforme segue abaixo as Equações 1, 2 e 3.

$$DISPONIBILIDADE = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{[Equação 1]}$$

$$MTBF = \frac{\text{Tempo}_\text{medio}_\text{de}_\text{bom}_\text{funcionamento}_\text{no}_\text{periodo}}{N^\circ_\text{de}_\text{intervalo}_\text{de}_\text{bom}_\text{funcionamento}_\text{no}_\text{periodo}} \quad \text{[Equação 2]}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tempo}_\text{medio}_\text{de}_\text{reparo}_\text{no}_\text{periodo}}{N^\circ_\text{de}_\text{interrupções}_\text{no}_\text{periodo}} \quad \text{[Equação 3]}$$

As equações acima descritas serão a base utilizada no caso de estudo deste trabalho.

2.4 CONFIABILIDADE

A Confiabilidade significa “confiança” em um componente, equipamento ou sistema, por um período de tempo em condições ambientais predeterminados

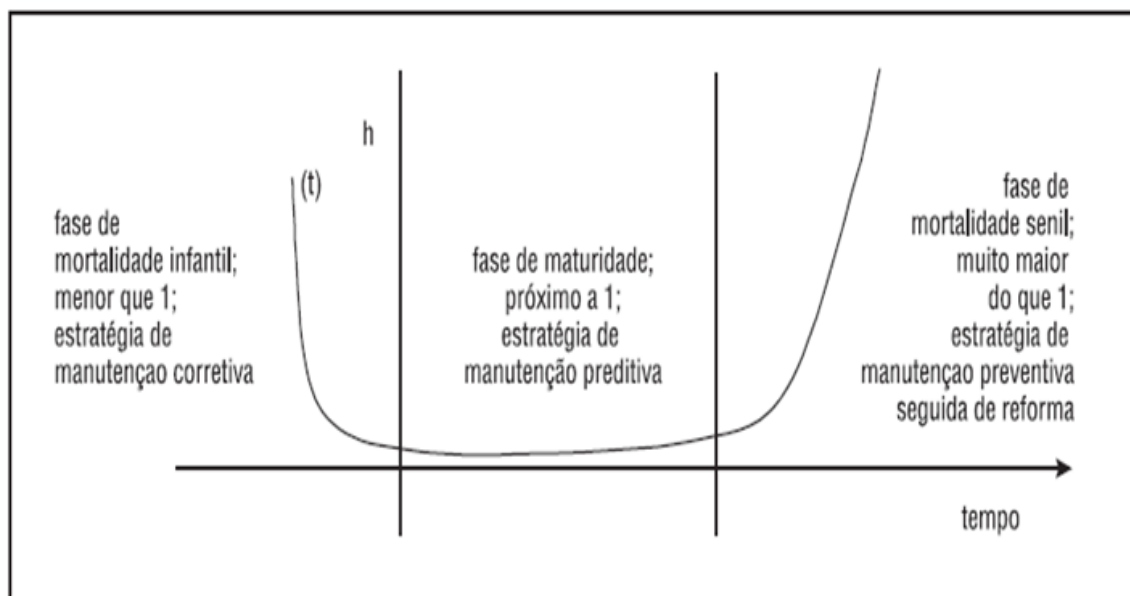
(KARDEC; LAFRAIA, 2002; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). O aumento da demanda por produtos e serviços cada vez mais produtivos, confiáveis e com custos cada vez mais competitivos, reforça a necessidade pela redução da ocorrência de falhas no processo, de forma a não onerar o produto final (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Sabe-se que o conceito de confiabilidade em sistemas técnicos vem sendo aplicado por mais de cinco décadas, ganhando notoriedade após a Primeira Guerra Mundial. Diversos estudos já foram elaborados, desde estudos comparativos realizados em aviões de um a quatro motores, sendo o indicador principal o número de acidentes por hora de voo, até a análise de riscos associados à construção e operação de usinas nucleares. Foi a partir desse período que outros estudos sobre confiabilidade em diversas áreas se consolidaram (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Tendo em vista o cenário atual globalizado e competitivo, muitas empresas perceberam a evolução da manutenção propriamente dita, para uma manutenção voltada à confiabilidade de equipamentos e processos. Para que a manutenção voltada à confiabilidade fosse colocada em prática, algumas empresas optaram por mudanças a partir de treinamento das equipes de manutenção. Viu-se a necessidade de investir em treinamentos, a fim de que as equipes obtivessem conhecimento prático, e que agregasse o conhecimento teórico da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. A partir dessa mudança de cultura nos treinamentos de manutenção, algumas empresas adquiriram vantagens estratégicas de competitividade em disponibilizar e manter seus ativos para a produção (LAFRAIA, 2008).

Uma das ferramentas utilizadas para traçar a confiabilidade dos equipamentos é a Curva da Banheira, como popularmente é conhecida. Para Lafraia (2001) apud Sellitto (2005), a Figura 3 sintetiza as informações em função de $h(t)$ ao longo do ciclo de vida do equipamento. Assim, a Curva da Banheira expressa uma construção de dados que representa uma expectativa de falha de um item ao longo do tempo. No entanto, o dado que ainda não falhou até este tempo é o valor esperado da taxa de falha ao longo de todo tempo de observação.

Figura 3 – Curva da Banheira e ciclo de vida do equipamento



Fonte: Lafraia (2001) apud Sellitto (2005).

Para Xenos (2014), a falta de confiabilidade em equipamentos, processos e o aumento da ocorrência de falha em um sistema podem significar a incapacidade total ou parcial de um item em atender o desempenho padrão previsto por um período de tempo. O autor ainda descreve que as falhas possuem causas de origens diferentes como: erros de projetos, de instalação e operacional.

2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE – MCC

A Manutenção teve seu início nos anos 50, nos Estados Unidos da América, com base em pesquisas de análises de falhas nos equipamentos no setor militar. Foi criado um grupo governamental de estudos liderado por Thomas Matteson, vice-presidente de planejamento de manutenção, e sua equipe de engenheiros, que faziam parte do departamento de Administração Federal de Aviação em 1960. Esse grupo desenvolveu um programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica, com o propósito de aumentar a confiabilidade dos equipamentos a um custo viável economicamente, pois técnicas existentes no período não suportavam tais exigências de confiabilidade (LAFRAIA, 2008; SIQUEIRA, 2005; PEREIRA, 2010).

Segundo Lafraia (2008), foi na década de 70, momento que ocorreu a análise de confiabilidade especialmente no setor nuclear, na qual R. Billinton publicou um texto voltado às aplicações específicas em sistemas eletro energéticos, que se

consolidou a análise de confiabilidade. Foi também nesse período que surgiram os primeiros *softwares* designados por modelos de análise de confiabilidade em programas computacionais. Esses acontecimentos iniciaram o processo de desenvolvimento da Manutenção Centrada e Confiabilidade – MCC.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é um programa que possibilita que os equipamentos continuem operando por meio de técnicas aplicadas de engenharia, sendo reconhecido como uma forma eficiente de atingir os resultados estimados pela manutenção. Mas, para que isso seja possível, é fundamental o engajamento da equipe de engenheiros, técnicos e operadores sobre a importância do conhecimento das consequências das falhas e ao seu combate. Entende-se, dessa forma, o quanto é relevante que essas falhas sejam analisadas em sua abrangência às áreas de segurança, operação, custos e meio ambiente (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; PEREIRA, 2009).

A função da manutenção vem se transformando à medida que a indústria também está sofrendo uma mudança de paradigma em busca de uma sociedade sustentável. O objetivo da manufatura não é mais apenas produzir produtos de maneira eficiente, mas também fornecer funções necessárias à sociedade, contribuindo com a produção enxuta. Nesse contexto, para Hilber (2018), o papel da manutenção é redefinido como um meio essencial para o gerenciamento do ciclo de vida. Trata-se de um planejamento estratégico de longo prazo, que integra todas as fases do ciclo de vida de um produto, incluir e antecipar mudanças nas tendências sociais, ambientais, econômicas e exige benefícios de tecnologias inovadoras. Assim, a manutenção centrada na confiabilidade (MCC) passa a ser entendida como a estratégia mais eficiente em comparação com a supervisão existente das estratégias de manutenção.

O MCC é um processo sistemático para o desenvolvimento e otimização dos requisitos de manutenção de um recurso físico em seu contexto operacional. Assim, segundo Bertling, Allan e Eriksson (2005) e Sana, M. et al (2018), a confiabilidade intrínseca incorpora logicamente as estratégias de manutenção, como manutenção reativa, preventiva, baseada em condições e pró-ativa. A MCC desenvolve um método econômico para gerenciar intencionalmente os procedimentos de manutenção do ponto de vista da confiabilidade.

Na visão de Dehghanian et al. (2012), o processo de MCC inclui cinco etapas básicas. O primeiro estágio é a seleção do sistema e do subsistema. A segunda (e

crucial) etapa na MCC é a identificação do componente crítico, que tem uma influência considerável na confiabilidade do sistema. O terceiro estágio é o modo de falha e a análise de efeitos (FMEA) de componentes críticos, o que ajuda a evitar as causas de falhas críticas. Em seguida, segue a seleção de estratégia de manutenção ideal (o quarto estágio) que precede uma análise de custo no estágio final. Além disso, o MCC fornece uma estrutura adequada para o gerenciamento da complexidade dos problemas de manutenção, complementando todas as estratégias tradicionais.

Portanto, parece bastante lógico que os operadores concentrem suas prioridades em alguns componentes críticos para evitar perder as possíveis oportunidades de decisões econômicas. Só então é possível concentrar e alocar recursos de forma eficaz e eficientemente para tornar as ações tão úteis quanto possível. Para atender a esse desafio, na etapa essencial da MCC, seria de grande valor priorizar o equipamento encontrando o componente mais crítico para aplicar as estratégias de manutenção de maneira mais eficiente.

Birnbaum (1969) foi o primeiro a medir a importância de um componente de maneira estrutural para o sistema coerente, que avalia a "criticalidade" de um componente. Barlow (1975) e Boland (1995) estudaram a importância estrutural dos componentes de um sistema. A análise de criticalidade do componente é de grande relevância para o sistema, uma vez que se trata de uma parte que pode comprometer o funcionamento do todo. Um componente é considerado crítico se a falha do mesmo tiver sérios impactos (JEYAMALA, 2013).

Carot (2000) estudou a análise de criticidade de cada componente para sistemas não reparáveis. Dehghanian et al. (2012) apresentaram uma metodologia para identificação de componentes críticos de um sistema de distribuição de energia usando a abordagem AHP fuzzy. Elyasi-Komari (2011) apresentou análise de criticalidade para um sistema de redes de computadores usando FMECA. Ye e Kelly (2004) apresentaram uma metodologia para análise de criticidade para avaliar o impacto de falhas de componentes de software em relação à segurança do sistema. Silvestri (2012) propôs um índice de prioridade de risco total (TRPN) usando o processo de rede analítica (ANP) para melhorar o processo de FMECA para sistemas de manufatura.

A partir dos estudos supracitados, fica evidente que a análise para identificação de componentes críticos de um sistema com base nos critérios

relacionados à criticidade do sistema está disponível principalmente para redes de distribuição de energia, de computadores e sistemas de *software* até o momento. No entanto, a implementação da MCC não se limita apenas a essas áreas – precisa estar também no setor de manufatura, já que a complexidade das máquinas de fabricação está aumentando, devido ao aumento da automação.

2.5.1 Algumas Aplicações do Programa MCC

Como já visto, o programa MCC possibilita que os equipamentos continuem realizando suas funções, pois reúne técnicas de engenharia que sustentam o programa. Assim, ele aborda de uma forma racional e sistemática os métodos de manutenção, reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A MCC é utilizada em diversos setores, como o alimentício, automobilístico, entre outros. Em um estudo realizado por Nascimento (2014), em que foi aplicado o Programa MCC no processo de envase de bebidas, foi possível identificar com precisão os conjuntos e subconjuntos que impactavam na confiabilidade do equipamento em estudo. Com a implantação do programa, pôde-se obter um aumento no faturamento anual em cerca de R\$ 1.000.000,00. Além dos ganhos monetários, percebeu-se um aumento da satisfação da equipe que participou do programa, bem como redução de horas extras e também a redução de 10% no descarte de produtos não conformes.

Outro exemplo de aplicação da MCC foi em prensas de fardos de celuloses em linhas de enfardamento da empresa Suzano Papel e Celulose (SPC). O estudo tratou da aplicação do programa para encontrar a melhor estratégia de manutenção do pilar “Manutenção Planejada” da TPM - *Total Productive Maintenance* (Manutenção Produtiva Total, em português). Com o uso de um *software*, detectou que as prensas estavam em fase de falhas aleatórias da curva da banheira. A partir dessa análise, foi possível estabelecer orientações para elaboração de um plano de manutenção mais eficaz (MENEZES; SANTOS; CHAVES, 2015).

Já o estudo de Mendes e Ribeiro (2014), com a aplicação dessa ferramenta, possibilitou um ensaio em uma linha de rotulagem e enchimento de galões em uma empresa do setor de tintas e corantes. Essa investigação identificou o desenvolvimento de uma melhor análise quantitativa de orientação às revisões e a

elaboração de um plano de manutenção em um cenário *Just in Time*, pois esse tipo de cenário possui estoques reduzidos e a necessidade de atender à programação da produção no próprio turno de trabalho. O estudo apresentou também uma maior assertividade ao levantar os dados, possibilitando estipular melhorias exatas, como novos intervalos de manutenção preventiva para os subconjuntos e, dessa forma, melhorou a disponibilidade dos equipamentos.

2.5.2 Diagramas de utilização da MCC

No processo de utilização da MCC, devem ser sistematicamente identificadas e avaliadas, como primeiro passo, as funções e o padrão de desempenho dos equipamentos em seu contexto operacional. Em sequência, devem ser definidas as falhas funcionais e seus respectivos modos de falha, bem como o efeito ou impactos dessas falhas. Para Bokrantz (2017), essa análise se completa com a determinação das tarefas de manutenção adequadas, técnica e economicamente, para prevenir cada falha. Nesse sentido, a metodologia recomenda o reprojeto do equipamento (ou mesmo assumir o fato de que o sistema irá operar até a falha), caso não possa ser encontrada uma tarefa preventiva adequada para a prevenção da falha.

Uma importante ferramenta de confiabilidade utilizada na aplicação da MCC é a de *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA), que foi traduzido para o português como Análise de Modos e Efeitos das Falhas. Esta ferramenta tem um papel vital no desenvolvimento dos programas de qualidade e de confiabilidade das organizações, conforme Palady (1997), utilizada com frequência na análise de falhas e riscos, na indústria nuclear, espacial, de processos químicos, de produção de bens de consumo e de serviços. A FMEA pode ser considerada uma ferramenta de análise de projetos, com o intuito de caracterizar os prováveis modos de falha potenciais e estabelecer seus efeitos sobre o desempenho do sistema, com base em raciocínio dedutivo (HELMAN; ANDEREY, 1995; YANG et al. 2016; HAIANY, 2016).

Em síntese, conforme Cotnareanu (1999), pode-se afirmar que a FMEA constitui-se em uma abordagem simples, sistemática e direta para a identificação das fontes básicas de falhas, suas causas e impactos, verificando os métodos existentes para a constatação ou controle dessas falhas, e definindo as ações corretivas necessárias para eliminar as causas ou reduzir seus efeitos.

A partir da caracterização da falha, na utilização da FMEA, devem ser identificados os modos de falha, ou seja, a maneira pela qual um determinado item deixa de executar sua função. Modo de falha é definido na norma militar americana Mil-Std 1629A, citada por Oliveira e Diniz (2001), como a maneira pela qual a falha é observada. Cabe destacar, contudo, que, para cada modo de falha, são relacionadas as respectivas causas das falhas, podendo um mesmo modo de falha ter mais de uma causa.

Sendo assim, com a finalidade de avaliar o impacto da ocorrência de falha para o desempenho do sistema ou equipamento, em análise, são associados aos modos de falha, os efeitos ou impactos das falhas. Estes, portanto, podem afetar a produção, a qualidade do produto ou serviço a ser oferecido, a segurança, o meio ambiente, apresentando reflexos nos custos operacionais e/ou mesmo prejudicando a imagem institucional. Conforme Ylipää et al. (2017), as empresas industriais estão enfrentando importantes desafios nos ambientes de mercado atuais: uma contínua tendência para a redução do tempo de desenvolvimento de ciclos de vida de produto encurtados.

Caso esses impactos sejam relevantes, a empresa deve se empenhar com vigor na direção de prevenir aquela falha, evitando a ocorrência do modo de falha a ela associado. Por outro lado, se os impactos não são importantes, é aceitável que nenhuma ação seja requerida. Dessa forma, para a MCC, são os impactos que mais fortemente influenciam o processo de prevenção de cada falha, a ponto de Moubray (2000, p. 91) afirmar que os impactos das falhas são mais importantes que suas características técnicas: “[...] a principal razão para fazer qualquer tipo de manutenção pró-ativa é evitar, reduzir ou eliminar as conseqüências das falhas [...]”. Isso ajuda a assegurar que qualquer gesto em manutenção será onde trará o maior benefício.

Assim, a estratégia de manutenção não deve somente estar dirigida para prevenir as falhas, mas principalmente para evitar ou minimizar os impactos delas decorrentes. Sobre o assunto, Nowlan e Heap (1978, p. 25) enfatizam que os equipamentos “[...] são compostos por um número muito grande de partes e acessórios. Todos estes itens podem falhar em determinado momento, mas algumas falhas trazem impactos mais sérias do que outras”.

É imperiosa uma avaliação detalhada do processo produtivo, então, visando reconhecer com a maior precisão possível, os impactos das falhas. Em outras

palavras, “[...] a consequência da falha funcional determina a prioridade de esforço da manutenção” (NOWLAN; HEAP, 1978, p. 25). Complementando essa ideia, Slack et al. (1997) ressaltam que os gerentes de produção precisam aceitar que as falhas ocorrem apesar de todo o esforço para preveni-las.

Na literatura especializada, encontram-se vários relatos a respeito dos impactos, às vezes com repercussões trágicas, da ocorrência das falhas e da administração ineficiente de desses impactos. Entre eles, os acidentes na Hoechst e Chernobyl, citados por Slack et al. (1997), ou Amoco Cadiz, Bhopal e Piper Alpha, citados por Moubray (2000).

Os impactos das falhas, segundo Nowlan e Heap (1978), podem ser classificados em: com impactos de falhas ocultas, com impactos para a segurança ou meio ambiente, e com impactos operacionais ou não operacionais. Para a MCC, as falhas ocultas e aquelas com impactos para a segurança ou meio ambiente são mais importantes que as falhas com impactos operacionais. Esta é uma visão diferenciada dos demais métodos de manutenção que, normalmente, priorizam as falhas com impactos operacionais.

A MCC atribui alta prioridade à avaliação e prevenção da falha oculta. Este conceito de falha oculta está associado a uma função cuja falha não se torna evidente para o operador ou profissional de manutenção. No estudo de Huang et al. (2018) observa-se que algumas falhas podem ocorrer sem que seja possível perceber que determinado item está em estado de falha, a menos que outra ocorra. E o diagnóstico do sistema de falhas operacionais pode reduzir o perigo oculto e evitar os eventos de desastre, tanto quanto possível.

As falhas ocultas não têm impacto direto na produção, mas expõem as instalações à possibilidade de ocorrência das chamadas falhas múltiplas. Ou seja, uma falha ocorre quando um dispositivo de proteção, que deveria proteger a instalação em relação a aquela falha, já havia falhado. McLaren et al. (2016) listavam, por exemplo, dispositivos de saída *Light Emission Diode* (LED), tinta termocromo, vibração e ligas com memória de forma como dispositivos de proteção têm-se os diversos sensores, dispositivos de supervisão, botoeiras de comando, relés de proteção, sistemas anti-incêndio, equipamentos instalados em *stand-by*.

Dessa forma, a consequência dessas falhas, por envolver dispositivos de proteção, pode ser muito séria, transformando-se, em alguns casos, em um evento catastrófico, com reflexos significativos para a imagem institucional. Uma tendência

natural, ao se avaliar os riscos associados e os impactos das falhas ocultas, é deduzir-se que a única forma de minimizar o risco de falha múltipla seja a adoção de equipamentos redundantes, mais confiáveis e modernos. Moubray (2000) enfatiza que é necessário um cuidado especial nesta área, porque funções extras instaladas com esta finalidade também tendem a ser ocultas.

Nesse sentido, Oliveira e Diniz (2001) recomendam que, para reduzir a possibilidade de sua indisponibilidade, esses dispositivos devem ser testados periodicamente. Observa-se, porém, que para a realização desta tarefa, deve-se interferir o mínimo possível na instalação, para não se introduzir um problema durante a remontagem ou reinstalação. Tal aspecto torna-se especialmente relevante na medida em que, frente a uma situação de falha oculta, não é possível saber se o equipamento passará a operar em estado de falha. Por essa razão, deve-se desenvolver meios para testar a funcionalidade dos dispositivos de proteção durante o processo de manutenção, evitando-se desconectá-los, ou mesmo alterar alguma de suas características operativas.

De acordo com a prioridade que a MCC confere à falha oculta, Moubray (2000) apresenta como calcular o intervalo a ser aplicado em uma tarefa de busca de falha, em dispositivos de proteção, nos seguintes termos: a possibilidade de uma falha múltipla ocorrer em qualquer período de tempo é dada pela possibilidade com que a função protegida possa falhar, enquanto o dispositivo de proteção estiver em estado de falha neste mesmo período.

Assim, a possibilidade de uma falha múltipla = Possibilidade de falha da função protegida X Indisponibilidade Média do dispositivo de proteção a literatura técnica, citada por Moubray (2000), apresenta uma correlação linear entre o intervalo de busca de falha e a confiabilidade do dispositivo de proteção, para o caso da indisponibilidade requerida igual ou menor que 5%, conforme segue: $0,5 \times \text{Intervalo de Busca de Falha Indisponibilidade} = (\text{MTBF}) \text{ Tempo Médio Entre Falhas}$.

A MCC apenas apresenta uma sugestão de cálculo para a determinação da periodicidade das falhas ocultas, o que não ocorre para as demais tarefas baseadas no tempo e na condição. Para estas tarefas, são encontradas recomendações, no sentido de analisar o histórico de falhas, pesquisar bancos de dados genéricos, obter informações com os fabricantes, e de equipamentos similares, conforme indicam Oliveira e Diniz (2001).

Existem autores, como Resnikoff, citado por Moubray (2000), que apresentam questionamentos contundentes à necessidade de análise de dados históricos para a definição da política de manutenção. Diz ainda que em relação à atenção dedicada à coleta de dados de falhas, a inferência estatística com objetivo de prevenção da ocorrência das falhas, fica prejudicada, pois as falhas mais importantes são menos frequentes. Moubray (2000), sugere a adoção de um intervalo inicial, para a periodicidade de inspeção das formas de manutenção, diferentes das tarefas de busca de falha, a ser refinado a partir da execução da manutenção ao longo do tempo. Tal recomendação reforça a afirmativa que a MCC apresenta indicação de cálculo apenas para a periodicidade das tarefas de busca de falha.

A esse respeito, Smith (1992), Nowlan e Heap (1978) confirmam que a frequência das inspeções deve evoluir com a experiência da realização da manutenção, ou seja, a MCC define a tarefa, mas não define a sua periodicidade. A coleta e análise dos dados de falha é importante para auxiliar na definição das periodicidades das inspeções, apesar da metodologia MCC fundamentar-se na análise qualitativa. Grandezas como taxa de falhas, frequência de inspeções, análise das falhas ocorridas, tempo médio entre falhas e tempo médio entre reparos, estão entre os principais dados que podem auxiliar a utilização da MCC. Cabe observar que, mesmo que estes dados não estejam disponíveis, a utilização da MCC é viável. Em outro caso, ao ser instalado um equipamento ou sistema novo, é possível aplicar a MCC, valendo-se de informações disponíveis em banco de dados genéricos de falhas em equipamentos e componentes similares, bem como de referências dos fabricantes.

O processo de utilização da MCC compreende uma sequência de etapas, utilizando-se planilhas e diagramas de decisão, condicionando a indicação da tarefa de manutenção mais adequada. Fleming et al. (1997) comentam que o diagrama de decisão utiliza um conjunto de perguntas do tipo 'sim ou não', para classificar os impactos dos modos de falha e, em seguida, buscar as tarefas de manutenção que sejam aplicáveis e eficazes na prevenção ou mitigação das mesmas. Um conjunto de questões sistematizadas pode também ser utilizado para a utilização da MCC, conforme apresentado por Moss (1985). Se aplicado corretamente, afirma Moubray (2000), a MCC transforma as relações entre os empreendimentos que o utilizam, seus ativos físicos e as pessoas que operam e mantêm os ativos. Ela também permite que novos ativos sejam postos em serviço efetivo com muita rapidez,

confiança e precisão. De acordo com Siqueira 2005, dessa forma é possível priorizar o atendimento às necessidades do processo ou utilização, em detrimento das necessidades próprias ou individuais dos itens.

Moubray (1997, p. 312) afirma que, se aplicado corretamente, leva a uma redução de 40 a 70% da carga de trabalho de rotina. Isso se deve não apenas à redução em parte do número de tarefas, mas também no aumento de seus intervalos. Conforme Moubray (1997, p. 308), os resultados da MCC podem ser percebidos na melhoria da segurança e integridade ambiental, no aumento da disponibilidade e confiabilidade da planta, na melhoria do produto, melhoria no custo efetivo da manutenção.

A metodologia de MCC começa pela avaliação da criticidade dos sistemas e subsistemas objetos da análise. Verifica-se o nível de risco sistêmico da instalação sem descer ao detalhe do componente físico. Em seguida, entra-se na fase da análise detalhada, com utilização da técnica FMEA associada à análise de risco dos modos de falha. Na sequência, com base nos parâmetros de falha (modos de falha, causas, efeitos, criticidade), são definidas as tarefas de manutenção preventivas e corretivas, visando preservar as funções dos sistemas e subsistemas (JÚNIOR et al., 2001 apud CAIADO et al., 2015; HAIANY, 2016).

Durante sua implantação, há sete perguntas sobre cada um dos itens sob revisão ou sob análise crítica devem ser respondidas, diz Moubray (2000). A saber:

- a) Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- b) De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- c) O que causa cada falha funcional?
- d) O que acontece quando ocorre cada falha?
- e) De que forma cada falha importa?
- f) O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
- g) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

Essas respostas, segundo Kardec e Nascif (2010), devem ser dadas por uma equipe multidisciplinar, formada por pessoas da operação, manutenção e segurança do trabalho. A próxima etapa é a definição de alguns conceitos fundamentais na

utilização da MCC, tais como: funções, padrões de desempenho, contexto operacional, falhas funcionais e potenciais, modos de falhas, causas das falhas funcionais, efeitos das falhas. Apresentação FMEA e definidos os conceitos de ações proativas.

De acordo com Siqueira (2005), os impactos das falhas são analisados na MCC pelos impactos dos efeitos dos modos de falha na operação do sistema, no meio ambiente.

2.6 A ORIGEM DA FMEA

Uma das primeiras referências escritas sobre o método FMEA é o procedimento militar US MIL-P-1629, em 1949, intitulado *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* (Procedimentos para Realização de Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade), como afirma McCOLLIN (1999), desenvolvido pelo exército norte americano e usado na determinação dos efeitos das falhas de sistemas e equipamentos e classificação segundo o seu impacto sobre o sucesso da missão e sobre as condições de segurança referente ao pessoal e aos equipamentos.

Durante a década de 60, esse procedimento foi desenvolvido e utilizado na indústria aeroespacial NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) no programa *Apollo* de modo a identificar de uma forma sistemática, potenciais falhas em sistemas, processos ou serviços, identificar os seus efeitos, as suas causas e, conseqüentemente, definir ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas. Os requisitos exigentes da NASA permitiam evitar falhas em equipamentos que ficariam impossibilitados de serem reparados após decolagem e garantiam a segurança da tripulação.

Em novembro de 1974, a metodologia FMEA passa a ser norma quando a marinha Norte-Americana substitui o procedimento MIL-P-1629 pela norma militar MIL-STD-1629A (USA DEPARTMENT OF DEFENSE, 1980).

A norma militar foi aplicada de forma comercial na indústria automóvel na década de 70, pela *Ford Motor Company* depois do caso Ford Pinto, um modelo automóvel que sofreu inúmeros *recalls* devido a graves falhas de concepção (problemas estruturais, sistema de combustível, problema no acelerador) e vários

processos na justiça. Após adotar a metodologia FMEA, a Ford ultrapassou os problemas de confiabilidade e imagem perante o cliente final (AIAG, 1995).

A norma AIAG (1995) foi depois integrada pela IATF (*International Automotive Task Force*) como requisito obrigatório dos sistemas QS9000, criada em conjunto pelos três grandes da indústria automóvel Americana, a General Motors, Chrysler e Ford em 1994, de modo a definir critérios de inspeção mais rigorosos e uma mentalidade de controle de qualidade preventivo, normalizando os sistemas de qualidade dos fornecedores. Ou seja, aplicar uma FMEA de processo e de produto e também de desenvolvimento de planos de controle.

Posteriormente, em 1988, a ISO (*International Organization for Standardization*), desenvolveu a norma ISO9000, que recomenda a implementação de sistemas de qualidade em empresas assentes num método de cariz preventivo, focando a melhoria dos seus processos e produtos como constante objetivo a cumprir. Essa norma é aplicada em outras indústrias, como a eletrônica, sendo a norma QS9000 específica para a Indústria Automóvel desenvolvida *a posteriori*.

Em 14 de dezembro de 2006, as certificações QS9000 foram substituídas pela norma *Technical Standard* ISO/TS16949:2002 (ISO, 2002). Em 2016, a IATF publicou a norma IATF 16949:2016 (IATF, 2016) que substituiu a norma ISO/TS 16949:2009 (ISO, 2009).

A metodologia FMEA foi criada centrada no projeto de novos produtos e processos, mas devido à sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diferentes formas e em diferentes tipos de organizações. A construção de uma FMEA deverá ser efetuada por uma equipe multidisciplinar, cujas ideias e criatividade são imprescindíveis para o sucesso na sua utilização. A FMEA é atualmente utilizada nos mais diversos locais, desde indústrias do ramo automóvel até a indústria farmacêutica e área médica (RAMOS, 2006).

2.6.1 Tipos de FMEA

Em relação aos tipos ou classes de FMEA, não há uma unanimidade de classificações e tipos. Mas, segundo Stamatis (1995), há quatro tipos de FMEA, classificados de acordo com o tipo de aplicação:

- a) FMEA de Sistemas, usado na análise de sistemas em fase de concepção ou projeto;
- b) FMEA de Projeto, utilizado em projetos antes que virem produtos;
- c) FMEA de Processo, usado na análise de processos de produção;
- d) FMEA de Serviço, utilizado na análise de serviços antes que estes cheguem ao consumidor.

2.6.2 FMEA VS. FMECA

A FMEA e a FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*) são técnicas que utilizam a mesma metodologia, um método analítico indutivo essencialmente preventivo, para identificar e prevenir falhas em produtos e processos antes que eles ocorram, excetuando algumas diferenças. De uma maneira geral, a FMEA dá a informação de forma qualitativa, indicando os potenciais modos de falha e a falha priorizada. A FMECA, abordada por Georgi et al. (2016) além dessas informações, quantifica os dados capazes de serem mensuráveis alcançados pela FMEA, ou seja, é uma FMEA + Análise de Criticidade.

Tem-se, assim, uma extensão da FMEA, ou seja, além da priorização da falha, que é calculada pelo Número de Prioridade de Risco NPR ou em inglês RPN (*Risk Priority Number*) $RPN=(S)\times(O)\times(D)$ (S Severidade, O Ocorrência, D Detecção), a FMECA vem adicionar dois tipos de análise de criticidade: quantitativa e qualitativa de acordo com a norma MIL-STD-1629A (USA DEPARTMENT OF DEFENSE, 1980).

Em relação à Severidade da falha (S) ou grau de Severidade, podem ser classificadas como falhas catastróficas, falhas críticas, falhas maiores e falhas menores (SOBRAL; ABREU, 2013).

- a) falhas catastróficas: originam a degradação irreversível e mesmo colapso dos equipamentos, podendo causar inclusivamente perdas humanas. Exemplo: paragem por falhas de todos os motores de indução de acionamento das bombas hidráulicas de uma aeronave, que teria como impactos uma provável queda;
- b) falhas críticas: degradação significativa dos equipamentos, acima do que é aceitável, podendo verificar-se situações de perigo. Exemplo: destruição

térmica do isolamento de um motor elétrico, que, embora seja uma falha grave, não causa a destruição do motor, mas que poderá originar intoxicações por inalação dos gases de combustão;

- c) falhas maiores: afetam o desempenho para além de limites considerados aceitáveis;
- d) falhas menores: não afetam o desempenho para além de limites considerado aceitáveis.

Por exemplo, os índices de severidade das falhas propostos pela norma MILSTD-1629A (USA DEPARTMENT OF DEFENSE, 1980), dividem-se em Catastrófico (Código 5), Crítico (Código 4), Médio (Código 3), Marginal (Código 2) e Insignificante (Código 1). A possibilidade de ocorrência de falhas pode ser determinada a partir do registo histórico de falhas, experiência do fabricante e ensaios de fiabilidade (SOBRAL; ABREU, 2013). Do mesmo modo, pode ser quantificada em Quase certo (Código 5), Provável (Código 4), Ocasional (Código 3), Remota (Código 2), Improvável (Código 1) e em relação ao nível de detectabilidade como, quase impossível (Código 4), difícil (Código 3), moderada (Código 2) e fácil (Código 1).

Os números de prioridade de risco RPN's só deverão ser comparados dentro de uma mesma análise e não entre análises distintas. Para RPN's altos, devem ser concentrados esforços a fim de reduzir o risco calculado através de ações corretivas. De um modo geral, deve ser dada atenção especial quando o índice de severidade é alto, independentemente do valor de RPN (BANGHART, 2018). Em relação à FMECA, para usar o método quantitativo de criticidade, é necessário (RELIASOFT CORPORATION, 2018):

- a) definir a fiabilidade para cada item, num dado tempo de operação;
- b) identificar se a taxa de falha de um item pode originar um potencial de modo de falha;
- c) definir a possibilidade de cada grau de severidade originar um potencial modo de falha;
- d) calcular a criticidade para cada potencial modo de falha; Criticidade = Fiabilidade do item x Taxa de falha x Possibilidade de perda;

- e) calcular a criticidade para cada item somando os respectivos modos de criticidade para cada potencial modo de falha.

Para usar o método qualitativo de criticidade, é necessário avaliar o risco e priorizar ações corretivas. Desse modo, de acordo com a ReliaSoft Corporation (2018), é preciso:

- a) definir uma avaliação para a severidade dos potenciais efeitos de falha;
- b) definir a probabilidade para a ocorrência de cada potencial modo de falha;
- c) comparar os vários modos de falha via matriz de criticidade, colocando a severidade no eixo horizontal e a ocorrência (possibilidade de ocorrência) no eixo vertical.

De um modo geral, a FMECA diferencia-se da FMEA quando há uma análise de fiabilidade de cada item para cada modo de funcionamento, entrando com possibilidades de ocorrência versus severidade. A FMEA só por si é útil para priorizar e comparar modos de falha, sendo possível fazer uma triagem dos problemas mais graves do produto/projeto, processo ou serviço.

2.6.3 Aplicações da FMEA e Estado da Arte

Desde a introdução da FMEA após a segunda grande guerra mundial, inicialmente usada para estudar os problemas dos sistemas militares, que a FMEA tem sido modificada ao longo do tempo, principalmente desde os finais dos anos noventa. Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a FMEA é uma técnica de confiabilidade que tem como principais objetivos:

- a) identificar e analisar as falhas potenciais que possam ocorrer em um produto ou processo;
- b) eliminar ou reduzir a ocorrência de falhas através da identificação de ações que visam inibir essas falhas;
- c) possibilitar que projetos ou processos futuros sejam facilitados pelos dados históricos documentados pela ferramenta.

Essa técnica é muito utilizada na engenharia de manufatura e nas áreas de projetos de produto. Dessa maneira, dizem Pereira (2009) e Lafraia (2008), contribui também com os seguintes benefícios:

- a) reduzir os riscos ao consumidor;
- b) uso da metodologia para identificar possíveis defeitos;
- c) reduzir o tempo de ciclo de um produto;
- d) reduzir possíveis falhas potenciais;
- e) reduzir custos de projetos.

A FMEA é uma técnica que se consolida desde a década de 60 e pode ser aplicada como uma ferramenta, procedimento ou como diário de projeto, processo ou serviço. Além disso, também é conhecida como uma técnica de baixo custo, e sabe-se que sua eficiência na prevenção de problemas e identificação de soluções é eficaz, especialmente quando os custos são consideráveis.

Conforme Helman e Andery (1995), a FMEA é usada para identificar todos os possíveis modos potenciais de falhas e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo. Portanto, o uso consistente da FMEA permite identificar os problemas que não eram identificados até então e, conseqüentemente, estabelecer prioridades para a devida correção (PALADY, 1997).

Essa ferramenta, quando aplicada à área de manutenção, estimula uma metodologia estruturada que possibilita a identificação dos modos de falha, suas causas e efeitos de cada modo. Logo, é possível reduzir ou evitar a ocorrência de falhas na produção por paradas não programadas. Por isso, cada modo de falha é identificado e avaliado conforme sua severidade, capacidade de detecção e ocorrência (PALADY, 1997; PEREIRA, 2009).

Esse método é largamente utilizado na indústria automotiva, aeroespacial, eletrônica, química, construção civil, em diferentes fases e a vários níveis da empresa, nomeadamente: durante a fase de concepção e desenvolvimento do projeto (FMEA de Projeto ou Produto) para otimizar e melhorar as características do produto ou analisar a concepção de produtos/sistemas inovadores, antes da fase de execução/produção deste, e durante a fase de execução (FMEA de Processo), possibilitando a redução de falhas e otimização de processos. A seguir, são exibidos

alguns exemplos da vasta gama de aplicações práticas da FMEA/FMECA encontradas nas áreas já referidas, em que se incluem nos dias de hoje (RELIASOFT CORPORATION, 2014):

- a) usada para analisar o design de produtos e processos (linhas de produção, procedimento do serviço e outros), antecipar e resolver potenciais modos de falha no início do processo, quando é mais econômico de os resolver;
- b) contribui para o desenvolvimento de procedimentos de manutenção eficazes. Como por exemplo, a análise com Manutenção Centrada na Fiabilidade RCM (*Reliability Centered Maintenance*) e análise MSG-3 (*Maintenance Steering Group-3*) para a indústria aeronáutica.
- c) integração na política de gestão de crescimento de fiabilidade RG (*Reliability Growth*);
- d) integração nos processos de DVP&R Relatório e Plano de Verificação de Projeto (*Design Verification Plan & Report*) e APQP (*Advanced Product Quality Planning*) Planeamento Avançado da Qualidade do Produto;
- e) analisar planos para modificar/melhorar um processo existente;
- f) investigar a fiabilidade de sistemas/processos atuais;
- g) providencia uma base de dados de conhecimento para ajudar em futuras identificações e resoluções de problemas;
- h) funciona como ferramenta de aprendizagem para novos engenheiros;
- i) providencia *inputs* a outros sistemas de análise, como diagramas de blocos RBD (*Reliability Block Diagram*), Análises de Markov, Árvores de Falhas etc;
- j) contribui para a identificação de requisitos para o BITE (*Built-In Test Equipment*) equipamento de teste (são usados equipamentos de teste no auxílio da manutenção no teste e diagnóstico, alguns exemplos: multímetros, osciloscópios etc);
- k) utilização de técnicas de Análise Probabilística de Riscos PRA (*Probabilistic Risk Assessment*) na indústria. Usado em indústrias onde há risco de vida elevado (Severidade alta e Possibilidade alta de falha), como por exemplo: companhias aéreas, central nuclear etc.;

- l) efetuada de modo a cumprir com os requerimentos do cliente e/ou estar conforme os requisitos de Segurança e Qualidade:
- o ISO 9001, QS 9000;
 - o ISO/TS 16949;
 - six Sigma;
 - FDA (*Food and Drug Administration*) e GMP (*Good Manufacturing Practices*); PSM (*Process Safety Management Act*);

A seguir, referem-se alguns trabalhos recentes em que a metodologia FMEA foi utilizada, em diversas áreas, com diversos objetivos e diferentes abordagens. Por exemplo, na área das energias renováveis, a FMEA foi utilizada para turbinas eólicas aplicada nos componentes, controlo e fiabilidade de sistemas, tendo por base métodos probabilísticos usando um histórico de falhas de turbinas eólicas na Alemanha e Dinamarca (COSTA, 2010).

A FMEA é uma das metodologias de análise de risco mais efetivas, sendo largamente adotada na melhoria da segurança e fiabilidade de sistemas. Wang et al. (2018) apresentam um estudo sobre um sistema de aterragem de aeronaves baseado num modelo híbrido de FMEA com fatores de risco, comparando no fim os resultados obtidos com os resultados alcançados numa FMEA tradicional.

Hirayama et al. (2018) desenvolveram uma investigação relativa à aceitabilidade de instalações de hidrogênio em áreas públicas, tendo por base uma avaliação de risco. Para tal, os vários cenários foram identificados através de uma FMEA e de um estudo HAZOP (*Hazard and Operability*). Através desse estudo, os autores concluíram que este tipo de instalações em áreas públicas possui um risco considerado aceitável.

Ho e Chen (2018) também realizaram uma análise para identificar os fatores de risco presentes num contentor de líquidos usados em laboratório. Neste caso, foi aplicada a metodologia fuzzy-FMEA. O estudo revela que, após a implementação de ações, a taxa de melhoria aumentou para 60,2%.

Kang et al. (2017) conduziram uma avaliação do risco através de uma FMEA modificada, chamada Correlação-FMEA, estudando a ligação entre os modos de falha e seus efeitos na possibilidade de falha do sistema global de turbinas eólicas *offshore* através do método do vetor do índice de fiabilidade. Os resultados levaram

a sugestões para o projeto de turbinas eólicas, tendo em consideração aspetos de segurança e fiabilidade.

Fattahi e Khalilzadeh (2018) apresentam um novo modelo *fuzzy* híbrido para a FMEA, considerando um número *fuzzy* de prioridade de risco ponderado FWRPN (*Fuzzy Weighted Risk Priority Number*) em vez do tradicional RPN. Esta metodologia incorpora os pesos para os três fatores e dos modos de falha por computação pelas metodologias *fuzzy* AHP (*Analytic hierarchy Process*) e *fuzzy* MULTIMOORA (*Multiple Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis plus Full Multiplicative Form*), respetivamente. Os resultados apurados após implementação de ações de melhoria mostram uma diminuição de 56% no risco.

2.6.5 Preparação da FMEA

Sucintamente, a FMEA de produto visa prevenir as falhas de produto, como assegurar a segurança do consumidor, cumprir os requisitos estabelecidos, evitar efeitos colaterais perigosos e minimizar impactos desastrosas em caso de acidente. Já a FMEA de processo visa evitar matérias primas ou componentes defeituosos, erros de montagem e não atendimentos aos requisitos do processo de fabricação. E segundo Al-Najjar, Algabroun (2016), para cada ação de falha, a economia as perdas precisam ser determinadas para cada falha. O próximo passo é avaliar os custos das ações e investimentos necessários para evitar a reincidência. As perdas devidas às falhas devem, então, ser comparadas com os investimentos necessários para evitá-las, selecionando-se a ação de manutenção mais lucrativa.

De acordo com a classificação de risco, o nível de aceitação de risco, as decisões de precaução e as medidas prioritárias da precaução podem ser determinadas (DAĞSUYU et al., 2016). A elaboração de uma FMEA é um processo moroso e a altura mais apropriada para a aplicação é na fase inicial do Projeto/Processo, quando as alterações podem ser implementadas com menores custos e maior facilidade. No entanto, a FMEA também pode ser realizada em produtos ou processos que já se encontram em funcionamento e comercialização, como é o caso de estudo deste trabalho. Neste caso, o objetivo da FMEA passa por estudar os sistemas e subsistemas do produto e propor soluções de melhoria, também podem ser usados dados estatísticos e históricos de falhas.

Há necessidade de rever uma FMEA em qualquer fase do ciclo de vida de um produto quando (NPD SOLUTIONS, 2016):

- a) se procede ao desenvolvimento inicial de um novo produto ou processo;
- b) se pretende maximizar o lucro, por exemplo usando um material equivalente com menor custo (situação comum na área automóvel, mesmo em produtos já em comercialização);
- c) são impostas novas normas ou requisitos;
- d) em casos de insatisfação de um grande número de clientes, devido a uma falha no produto;
- e) há mudanças nas condições de utilização de um produto ou processo;
- f) há mudanças no design do produto ou processo, o que implica mudanças por exemplo no fabrico, dado que o produto e o processo estão relacionados.

Stamatis (2003) defende que uma FMEA bem implementada é um processo iterativo sem fim, quando bem aplicada.

2.6.6 Desenvolvimento da FMEA

O documento usado como base para explicar o desenvolvimento da FMEA é a 2ª edição do Manual QS9000 (AIAG, 1995), em que a Análise de Modos de Falha e seus Efeitos divide-se em 22 passos. Existem outras referências com diferentes números de etapas, mas optou-se por esta referência desenvolvida pelo grupo AIAG, constituído pela Chrysler, Ford e General Motors.

Tal como mencionado no capítulo anterior, na MCC, dizem Bengtsson et al. (2016), o procedimento consiste em sete etapas:

- a) investigar necessidades e requisitos;
- b) traduzir necessidades atividades de manutenção e manutenção;
- c) identificar, agrupar, e medir os resíduos relacionados à manutenção;
- d) desenvolver soluções;
- e) estimar o valor econômico das soluções;
- f) implementar soluções de baixo custo;

g) acompanhamento soluções implementadas.

Este modelo pode ser usado para identificar possíveis áreas de investimento no que diz respeito a resíduos, e acompanhar os investimentos. E, para se efetuar uma FMEA eficiente, é importante aplicá-la na fase inicial de concessão do produto ou caso se trate de uma melhoria de um produto em comercialização, recolher toda a informação existente relativa a produtos semelhantes anteriores e respectivos relatórios de falhas. Logo, numa fase inicial, é necessário um profissional responsável pela elaboração da FMEA e todos os documentos necessários para preparação da DFMEA ou PFMEA. A interação dos vários departamentos de desenvolvimento com reuniões periódicas contribui para uma eficiente utilização da metodologia.

Na DFMEA, é útil a elaboração de um QFD (*Quality Function Deployment*) de modo a determinar o que o cliente quer e precisa do produto a desenvolver (ou melhorias de um produto já em comercialização). Uma DFMEA deve começar por um diagrama de blocos dos sistemas, subsistema ou componente a ser analisado. A DFMEA é benéfica para os Engenheiros responsáveis e equipe de desenvolvimento/fabrico na fase de concepção/testes, como também pode ser elaborada a partir do histórico de falhas do cliente final, melhorando um produto já em comercialização.

No documento original da 2ª Edição do Manual QS9000 (AIAG, 1995), há alguma divergência nos 22 passos entre PFMEA e DFMEA e uma utilização objetiva na indústria automóvel. A seguir, descrevem-se os 22 passos para uma FMEA genérica, de modo a resumir este capítulo.

- a) Numeração da FMEA: Colocação de o número do documento da FMEA que poderá ser usado para rastreabilidade;
- b) Sistema, Subsistema, ou Nome ou Número do Componente: Indicação do nível de análise apropriado, nome, número do componente, subsistema e sistema a ser analisado;
- c) Entidade à qual vai ser aplicada a DFMEA ou PFMEA: Preencher grupo/departamento do fabricante de equipamento original OEM (*Original Equipment Manufacturer*). Incluir também o nome do fornecedor se aplicável;

- d) Responsável da utilização da metodologia FMEA: Preencher, nome, telefone e a empresa do Engenheiro responsável;
- e) Produto ou Processo a ser analisado: exemplo de produto “*Model Year/Veículo*”);
- f) Prazo de conclusão da FMEA, *Key Date*: Data de conclusão prevista para finalizar a FMEA, que não deve exceder a data de início de produção de um produto;
- g) Data da FMEA: Data em que a FMEA inicial foi compilada e a data da última revisão;
- h) Membros da Equipe, *Core Team*: Agregar todos os responsáveis dos vários departamentos que têm a autoridade para a identificação e/ou realizar tarefas relacionadas com a FMEA. É recomendado o uso de uma lista de distribuição de modo a otimizar a troca de informação entre equipes;
- i) Identificação dos Componentes ou Processos: Preencher o nome e número de item a ser analisado no caso de uma DFMEA ou descrição do processo ou operação (exemplo: soldadura, montagem, pintura, etc.) a ser analisada no caso de uma PFMEA. Descrever detalhadamente a função do item ou processo consoante o tipo de FMEA, no caso do item, descrever ambiente de operação, com amplitudes no qual o sistema opera (exemplo: temperatura, pressão humidade, etc) na função do produto, se o produto tiver mais que uma função que origine diferentes modos de falha, listar as restantes funções. No caso de um processo, indicar o objetivo do processo e suas operações/passos que correspondam a diferentes potenciais modos de falha;
- j) Potenciais Modos de Falha: É definido como potencial falha de um componente, subsistema ou sistema, a atingir a função para a qual foi desenhado. Ou no caso de uma PFMEA definido como potencial falha de um processo numa lista de requerimentos ou objetivo, entrando em não conformidade com as normas estabelecidas. Nota que a falha tem possibilidade de ocorrer, mas poderá não ocorrer. É recomendado um *brainstorming*, discussão de ideias entre os envolvidos/responsáveis pela FMEA, recorrendo a histórico de dados/falhas para identificar com rigor todos os potenciais modos de falha;

- k) **Efeitos Potenciais da Falha:** São definidos como os modos de efeito de falha no cliente final, ou seja, a forma como o cliente final percebe a falha. Para o preenchimento deste campo, é recomendado o uso de histórico de dados, reclamações, acionamentos de garantia, falhas de fiabilidade etc. Um exemplo de falha de PFMEA: veículo com defeito de pintura na chegada ao concessionário, decorrente de uma falha no processo de pintura, um exemplo de DFMEA pode ser uma infiltração de água devido a uma falha de *design* de um componente do veículo.
- l) **Severidade (S):** A severidade é uma classificação da gravidade do efeito do potencial modo de falha. No estudo da FMEA, utiliza-se, para medir esta característica, um índice (S) que varia entre 1 e 10, de acordo com as tabelas 1 e 2, para DFMEA e PFMEA respectivamente;
- m) **Classificação:** Este campo pode ser usado para classificar características de um produto no caso da DFMEA ou processo no caso da PFMEA, que necessitem de um controle adicional;
- n) **Causas e Mecanismos Potenciais da Falha:** É definida como uma indicação de uma deficiência do projeto, cuja consequência é o modo de falha. Devem-se listar todos os mecanismos/causas que possam impedir que o processo (no caso da PFMEA) cumpra os seus objetivos ou que um produto/projeto não cumpra a sua função ou não esteja em conformidade (no caso DFMEA). Um exemplo na metodologia PFMEA; aperto de um parafuso com binário incorreto ou usando o exemplo da metodologia DFMEA; material com especificações incorretas aplicado no fabrico do produto. As causas apresentadas devem ser as mais específicas possíveis, devendo-se evitar a justificação de falhas com situações redundantes como a falha do operador ou mau funcionamento da máquina;
- o) **Ocorrência (O):** A ocorrência é a possibilidade de um mecanismo/causa ocorrer. Esta possibilidade pode ser estimada numa escala de “1” a “10”. Para se reduzir efetivamente o índice de ocorrência (de “1” a “10”), é necessário alterar o processo (PFMEA) ou o produto/projeto (DFMEA). Na determinação da possibilidade de ocorrência, devem-se considerar questões como “a experiência/histórico de capo com os componentes a

usar ou sistemas similares?”, “A utilização do componente mudou?”, etc., no caso da DFMEA;

- p) Controles atuais do Produto/Projeto (DFMEA) e Processo (PFMEA): É a listagem das ações de controle que podem detectar ou prevenir a ocorrência de um modo de falha, de maneira a assegurar que o projeto ou processo esteja em conformidade com os objetivos definidos. De um modo geral, são considerados três tipos de ações de controle:
- prevenção da ocorrência da causa ou modo/efeito de falha ou redução da taxa de ocorrência destes;
 - detecção da causa/mecanismo e implementação de ação corretiva;
 - detecção do modo de falha.
- q) É recomendado seguir os passos pela ordem descrita, dado que as ações do tipo 1 podem ajudar a baixar os índices de ocorrência (O) e as ações 2 e 3, baixam o índice de detecção, desde que os protótipos (DFMEA) ou processos (PFMEA) em uso sejam representativos do objetivo do projeto.
- r) Detecção (D): A detecção é a capacidade de os controles (descritos no ponto 16) em identificar causas (controles do tipo 2) e modos de falhas (controles do tipo 3), antes do componente, subsistema ou sistema ser produzido (ou antes de um componente sair de um processo no caso da PFMEA). Para baixar o índice de Ocorrência (O) e Severidade (S), é necessário aperfeiçoar o programa de controle do projeto/produto (DFMEA) ou processo (PFMEA), aplicando medidas preventivas e verificações/validações. É uma medida de risco do projeto/produto ou processo consoante a metodologia utilizada. Este número deve ser usado para priorizar as falhas do projeto (ex: Diagrama de Pareto). O RPN varia entre “1” e “1000”. Para RPN’s altos, a equipe deve concentrar esforços de modo a reduzir o risco calculado através de ações corretivas. De modo geral, deveria ser dada atenção especial quando a severidade é alta, independentemente do RPN resultante.
- s) Ações recomendadas: Quando os modos de falha estiverem classificados pelo RPN, devem ser aplicadas ações corretivas ao modo de falha com o *ranking* mais alto. O objetivo das ações recomendadas é o de reduzir o índice de ocorrência, de severidade ou de detecção. Uma melhoria na verificação/validação resultará somente na redução do índice de detecção

(D). Uma redução do índice de ocorrência (O) pode ser atingida somente pela eliminação ou controle de uma ou mais causas/mecanismos potenciais de falha, através de alterações do projeto/produto ou processo consoante a metodologia. Devem ser consideradas as seguintes recomendações DFMEA:

- desenho de experiências (particularmente quando causa múltiplas ou interativas estão presentes);
- revisão do plano de testes;
- revisão a especificação do material;

Ou no caso da PFMEA:

- para reduzir a possibilidade de ocorrência, são recomendadas revisões ao processo. Podem ser realizados estudos estatísticos para se obter *feedback* de informação para melhoria contínua e prevenção de defeitos;
 - só uma revisão no processo pode reduzir o índice de severidade (S);
 - para aumentar a possibilidade de detecção, são requeridas revisões no processo. Se nenhuma ação for recomendada para uma causa específica, deve ser indicado “Nenhuma” nesta coluna.
- t) Responsável e Prazo: Preenchimento da organização e das pessoas responsáveis pela implementação de ações de correção e prazo de execução.
- u) Ações Tomadas: Preenchimento deste campo após a implementação da ação corretiva com uma breve descrição e a data de implementação.
- v) RPN resultante: Após a ação corretiva ter sido implementada, calculam-se os novos índices resultantes de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), que devem ser inferiores aos que existiam antes.

A FMEA é um documento dinâmico, que deve refletir o último nível de melhoria ao processo ou produto/projeto, tal como as últimas ações implementadas e aquelas realizadas após o início da produção. O engenheiro responsável pela FMEA assegura que as falhas foram identificadas e que as ações recomendadas foram implementadas garantindo que os requisitos de projeto foram cumpridos, fazendo uma análise crítica da documentação de engenharia, confirmação da incorporação das modificações a documentação de montagem e produção e análise crítica da FMEA de processo e planos de controle.

2.6.7 Vantagens e Limitações

Spreafico, Russo e Rizzi (2017) definem uma FMEA como uma ferramenta preventiva (e corretiva) que visa avaliar um projeto de um produto ou um processo, de forma a identificar onde e como ele pode falhar por meio de análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria. A utilização dessa metodologia traz os seguintes benefícios, quando aplicada corretamente:

- a) minimizar ou eliminar a ocorrência de falhas;
- b) aumentar a viabilidade do sistema;
- c) calcular e avaliar os riscos para cada falha considerando diferentes critérios e atribuindo uma prioridade para a sua solução;
- d) permitir modificar e melhorar significativamente qualquer processo ou projeto;
- e) permitir identificar necessidades de desenvolvimento ou mudanças;
- f) os custos de prevenir as falhas são muito menores do que os custos de resolver falhas após estas terem ocorrido;
- g) reduzir custos (considerando também os custos de garantia de um produto) e tempos desnecessários, maximizando eficiência;
- h) fonte de dados rastreáveis para manutenção e auditorias;
- i) permitir utilizar falhas identificadas como referências na fase de desenvolvimento de novos produtos, processos ou serviços, reduzindo assim tempo, custos, maximizando a sua viabilidade;
- j) ferramenta integrada na filosofia de Gestão Lean, diminuindo desperdícios e operações que não adicionam valor;
- k) maior competitividade e melhor imagem da empresa;
- l) documentação de melhorias e ações corretivas implementadas (muito usado na indústria automóvel e aeroespacial);
- m) serve como base para o desenvolvimento de um novo produto ou processo.

Autores como Haq e Lipol (2011), Haiany (2016); Wang et al. (2013), Gargama e Chaturvedi (2011), Sharma e Sharma (2010) identificam as seguintes limitações de uma FMEA:

- a) o tempo de utilização de uma FMEA, que por norma é extenso (o problema tem sido minimizado com a utilização de *software*, para gestão de bases de dados, formulários, registro de falhas e outros);
- b) requer uma equipe com conhecimento profundo do assunto a ser estudado, e discussão com várias pessoas envolvidas desde o projeto até à finalização do produto, contribuindo para a demora do processo de utilização da FMEA;
- c) a eficácia da FMEA depende da qualidade e experiência da equipe;
- d) a FMEA apenas estabelece ações de melhoria, sem aprofundar modos de falha complexos quando usada isoladamente (daí ser frequentemente complementada com a Análise de Árvore de Falhas FTA (*Fault Tree Analysis*));
- e) muitas vezes depende da existência de dados para serem analisados;
- f) a importância relativa dos índices não é tida em consideração, dado que o produto RPN de uma falha com diferentes características (Severidade, Possibilidade de Ocorrência e Detectabilidade) pode dar o mesmo resultado, ou seja, assumindo a mesma importância para os três fatores;
- g) a possível interdependência entre os modos de falha não é analisada;
- h) o RPN não tem em consideração fatores externos como os fatores económicos;
- i) dificuldade em avaliar com precisão os três índices.

Dessa forma, na realização do presente trabalho, é aplicada a FMEA (a um produto/projeto), por se pretender analisar os vários conjuntos e Subconjuntos que fazem parte do equipamento em Estudo. Assim, nesta perspectiva, serão analisados para esses itens os potenciais modos de falha, suas causas, possíveis impactos e meios de controle existentes, com o objetivo de identificar quais os modos de falha mais importantes do ponto de vista do seu risco.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Evidências confirmam a grande deficiência no setor de corte da empresa em estudo, o setor demanda um enorme esforço para atender a produção solicitada pela programação. Cerca de 80 blocos de espuma produzidos são cortados diariamente para diferentes setores como: colchão, construção civil, hotelaria, calçados, dentre outras. Toda via, o setor de corte requer atenção no âmbito das atividades de manutenção e adequando aos princípios do programa MCC, assim possibilitar a elaboração de planos de manutenção mais adequados que atenda os parâmetros de uma boa gestão de manutenção.

Para que o processo de manufatura alcance seus objetivos, o plano de manutenção deve ser seguido de acordo com os procedimentos e ações propostas, que resulte em sinais de melhorias na produtividade e garanta a qualidade do produto e do processo a um custo reduzido. O processo deve também cumprir o prazo de atendimento acertado com cliente para que resulte em satisfação e motivação entre as partes envolvidas. É dessa forma que o programa MCC apresentado anteriormente no referencial teórico tem como objetivo que os equipamentos continuem desempenhando o seu papel, gerando disponibilidade de máquina com confiabilidade e qualidade do produto gerado. Com base nos conceitos da MCC, o programa atenta para algumas questões:

- a) o modo de como as falhas ocorrem;
- b) como identificá-las;
- c) como evitar que essas falhas ocorram ou voltem a ocorrer e;
- d) quais os padrões de desempenho que se espera dos equipamentos.

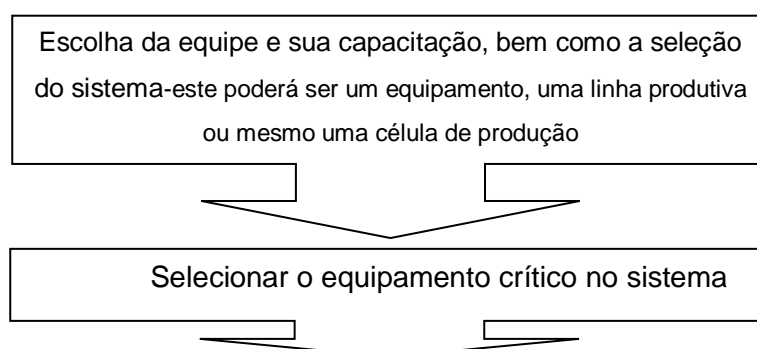
Nessa perspectiva, busca-se apresentar uma procedimento metodológico que oriente na construção de um plano de gestão de manutenção, elaborando uma adequada estratégia de manutenção com base nos conceitos do programa MCC. Com a finalidade de melhorar a disponibilidade do equipamento, o programa MCC considera a necessidade de entendimento da relação entre o processo produtivo e o equipamento inserido no sistema, bem como seu conjunto e subconjunto, com o propósito de identificar o modo de falha, o padrão de desempenho, a causa e efeito

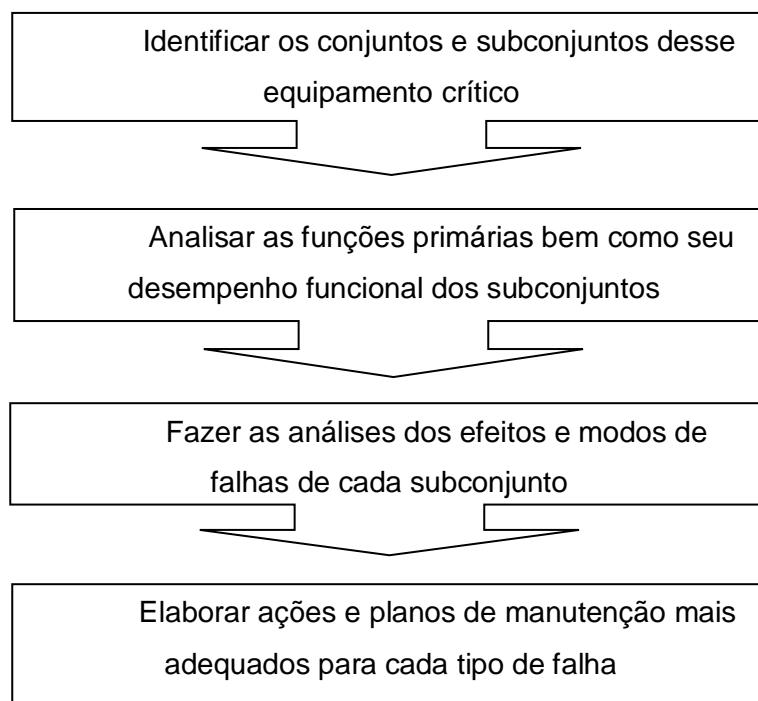
de falha e a melhor estratégia a ser adotada para o alcance de um resultado satisfatório.

Em um primeiro momento, é necessário o envolvimento dos gestores de produção e manutenção, técnicos das áreas e operadores. Estes devem ter conhecimentos pertinentes ao equipamento e estar capacitados mediante treinamento. De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009) a implementação da MCC deve seguir as seguintes etapas: *i)* escolha do equipe de trabalho, *ii)* capacitação em MCC, *iii)* Estabelecer os critérios de confiabilidade, *iv)* estabelecer a base de dados, *v)* Aplicar a FMEA e Classificar os componentes, *vi)* Selecionar as atividades pertinentes à manutenção preventiva e documenta-las, *vii)* Estabelecer metas e indicadores e, *viii)* revisão o programa constantemente. Para Siqueira (2005), a implementação do programa MCC deve seguir os seguintes passos: *i)* Selecionar o sistema e coletar informações, *ii)* análise dos efeitos e modos das falhas, *iii)* selecionar as principais funções dos componentes, *iv)* selecionar as atividades de manutenção aplicáveis aos componentes, *v)* avaliar a efetividade das atividades de manutenção, *vi)* seleção das atividades de manutenção aplicáveis e efetivas e, *vii)* definir a periodicidade das atividades de manutenção.

Levando em consideração as etapas sugeridas pelos autores, são descritas as etapas que serão seguidas neste trabalho para implementação da MCC: *(i)* escolha e capacitação da equipe, bem como a seleção do sistema para o estudo *ii)* selecionar o equipamento crítico no sistema através de coletas de dados; *iii)* selecionar os conjuntos e subconjuntos desse equipamento crítico selecionado; *iv)* analisar as funções primárias bem como seu desempenho funcional dos subconjuntos; *v)* fazer as análises dos efeitos e modos de falhas de cada subconjunto; *vi)* elaborar ações e planos de manutenção para cada tipo de falha. Tais etapas são detalhadas conforme a Figura 4:

Figura 4 – Fluxograma: procedimentos metodológicos





Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste estudo, foram adotadas as etapas descritas anteriormente e serão detalhadas a seguir.

3.1 ESCOLHA DA EQUIPE E SUA CAPACITAÇÃO E SELEÇÃO DO SISTEMA

Todas as pessoas selecionadas na implementação da MCC devem possuir um conhecimento básico de conceitos de confiabilidade, falhas funcionais, padrões de falha, redundância, FMEA, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção corretiva, MCC e etapas de implantação da metodologia. Assim, foram selecionados os candidatos que participam diretamente da manutenção, por exemplo (1 engenheiro supervisor de manutenção, 4 mecânicos, 1 eletricitista), 3 operadores e 6 auxiliares que trabalham e detêm do conhecimento diária do equipamento. Uma vez escolhidas as pessoas que irão fazer parte do grupo de implementação da MCC, se torna fundamental capacitar à equipe que participará ativamente do trabalho para a implementação da metodologia.

Nessa fase, é necessário analisar o fluxo do processo produtivo com o intuito de melhorar o entendimento e a relação entre os sistemas. Deve-se também considerar o grau de importância desse sistema para o fluxo do processo como um

todo ou mesmo para o foco do negócio. Em seguida, a busca de dados dos históricos de paradas para manutenção e assim determinar a sua Disponibilidade, MTTR e MTBF. Esses resultados refletem o estado do sistema e, como ação, deve receber por prioridade o equipamento que receber o menor resultado de Disponibilidade, o que evidenciará o equipamento crítico no sistema.

3.2 DETERMINAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS

Nessa fase, os detalhamentos dos conjuntos e subconjuntos devem estar descritos e decompostos. Para melhor visualização, gráficos e tabelas devem ser usados para auxiliar na identificação do item de menor desempenho. Além disso, para ter uma visão adequada do comportamento desses subconjuntos, é necessário analisar o histórico de falhas e calcular a disponibilidade (relação de tempo em que o equipamento está disponível para o setor produtivo), a MTTR (indica o grau de dificuldade para reestabelecer a funcionalidade do subconjunto) e, determinar a MTBF (indica o tempo de confiabilidade do subconjunto).

3.3 DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DOS SUBCONJUNTOS

Nesta fase, as funções e o comportamento esperado de desempenho para cada subconjunto são definidos. Logo, classifica-se em primárias e secundárias as funções dos subconjuntos, sendo a primária a função para a qual o equipamento fora projetado, e por isso é função de muita importância. A secundária é aquela considerada com menor importância, mas que deve ser levada em consideração também. Para exemplificar as funções primária e secundária, pode-se citar o consumo energético e geração de ruído. Definidas as funções, a fase seguinte é compreender e descrever o que se espera de cada subconjunto e seu comportamento de desempenho, tendo como base o conhecimento e experiência dos envolvidos, bem como a quantificação do grau de desempenho.

3.4 FMEA - ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA

Nesta fase, a ferramenta FMEA identifica o modo e efeito de falha de cada subconjunto. Sendo assim, o modo de falha é a causa potencial da falha funcional

do subconjunto. Por isso, a consulta aos manuais dos equipamentos fornecidos é extremamente importante, bem como as consultas aos históricos dessas falhas, e também consultas às pessoas envolvidas, pois as suas experiências e conhecimentos tornam-se imprescindíveis para o seu preenchimento.

O Apêndice A ilustra a construção da FMEA, que deve descrever os modos e efeitos de falhas com a qual se relacionam. Na coluna “S”, deve ser estabelecido um grau de severidade para cada efeito dos modos de falha, seguindo uma escala de 1 a 10, como mostra a Tabela 3, sendo “1” para baixa severidade e “10” para alta severidade.

Tabela 3 – Nível de severidade conforme descrição e escala

Severidade	Descrição	Escala
<i>Muito alta</i>	Compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais.	10 9
<i>Alta</i>	Alta insatisfação do cliente, sem afetar a segurança ou infração regulamentar	8 7
<i>Moderada</i>	Notada alguma insatisfação, pela queda de desempenho ou mau funcionamento de alguma área do sistema.	6 5
<i>Baixa</i>	Leve insatisfação, é observado pelo cliente um leve desgaste ou queda de desempenho.	4 3
<i>Mínima</i>	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema e a grande parte dos clientes nem percebe a ocorrência de falha.	2 1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

Na sequência, conforme o mesmo Apêndice A, a construção da ferramenta FMEA se dá pela identificação das causas para cada modo de falha e a frequência com que estas causas ocorrem. Na coluna identificada por “O”, que indica a ocorrência dessa falha, para identificação da frequência, usa-se uma escala de 1 a 10, sendo “1” para baixa frequência e “10” para alta frequência. É sugerida nessa fase, para a obtenção da frequência na escala, uma relação com a taxa de falha em um determinado período de tempo.


Tabela 4 – Escala de ocorrências e quantidade de falhas por ano

Ocorrência de Falha	Taxa de Falha	Quantidade de Ocorrência	Escala
<i>Muito Alta</i>	<i>Falhas quase inevitáveis</i>	41	10
		28	9
<i>Alta</i>	<i>Falhas ocorrem com frequência</i>	12	8
		6	7
<i>Moderada</i>	<i>Falhas ocasionais</i>	3	6
		2	5
		1	4
<i>Baixa</i>	<i>Falhas raramente ocorrem</i>	(1 EM 2 ANOS)	3
		(1 EM 5 ANOS)	2
<i>Mínima</i>	<i>Falhas muito improváveis</i>	(1 EM 25 ANOS)	1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

Nessa fase seguinte, os dados fazem-se pelo levantamento e seu controle, pois, para cada controle, é necessário que se defina o nível de detecção e novamente utiliza-se uma escala de 1 a 10, em que o número “1” representa fácil detecção e “10” uma situação desfavorável para a detecção, logo o nível de detecção é registrado e ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Nível de detecção conforme descrição e escala

	Detecção	Descrição	Escala
RUIM 	<i>Muito Remota</i>	Os modos de falha não serão detectados pelos controles atuais ou até mesmo os controles atuais sejam inexistentes.	10
	<i>Remota</i>	É bem provável que os controles não irão detecção esse modo de falha	9
			8
	<i>Baixa</i>	Há uma baixa probabilidade dos modos de falha sejam detectados por esses controles.	7
			6
	<i>Moderada</i>	Os controles podem detectar os modos de falha.	5
<i>Alta</i>	Há uma alta probabilidade dos modos de falha sejam detectados por esses controles.	3	
		2	

BOM	<i>Muito alta</i>	É quase certo que os controles irão detectar esse modo de falha.	1
-----	-------------------	--	---

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

Para finalizar, deve-se quantificar o nível de risco resultante do produto, que é a multiplicação da severidade, Ocorrência e Detecção. Para os níveis acima de “80”, priorizam-se os de maior para o menor risco, de acordo com os recursos disponíveis na organização. Sugere-se, então, que se executem as ações de baixo custo e de fácil tratamento, bem como realizar os níveis de riscos abaixo de “80” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

3.5 CONSTRUÇÃO DO PLANEJAMENTO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Para a elaboração do plano de manutenção, deve-se reunir a equipe de profissionais envolvidos, providos de seus conhecimentos e experiências na área, para discutir o planejamento que melhor se adapte à estratégia de trabalho para os subconjuntos do sistema. Como em qualquer reunião, deve-se levar em conta o respeito e a boa vontade de cada profissional, fazendo o uso da análise adequada em delatar sua opinião. A elaboração do plano de manutenção deve abranger:

- a) como a falha deve ser evitada;
- b) que tipo de manutenção deve ser adotada;
- c) quais os responsáveis pelas tarefas que irão compor a manutenção e;
- d) implantar melhorias quando possíveis.

Quanto ao primeiro item acima descrito, será de suma importância o conhecimento do responsável por prevenir a falha para saber o que fazer para manter e melhorar as condições dos subconjuntos em executar suas funções. Já no que tange ao tipo de manutenção implantada, é de responsabilidade da área de planejamento e controle de manutenção, que irá programar no período correto e com os recursos necessários para a elaboração dos trabalhos. Após o plano de manutenção ser estabelecido, deve-se calcular o risco resultante (R') para o novo cenário. Para que a execução dos serviços seja realizada de forma segura, é importante que a descrição das tarefas faça parte de um procedimento padrão com

amplo detalhamento e estar disponível aos profissionais da área de manutenção, capacitados e treinados adequadamente.

Quanto ao item utilização de melhorias, deve-se levar em conta as melhorias de manutenção estrategicamente elaboradas, e que possam reduzir ou até mesmo eliminar a necessidade de manutenção em equipamentos após terem seus projetos modificados e/ou ajustados.

Neste ponto do estudo, vale reforçar que, com base na revisão bibliográfica e levantamento de dados referentes à situação real do equipamento e ao conhecimento intelectual e profissional da equipe, será possível a implantação do programa MCC com a proposta de reduzir custos e implantar melhorias no processo de manutenção desse equipamento.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

A aplicação da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC foi realizada em uma empresa de grande porte, situada às margens da RS-239 no município de Campo Bom, Estado do Rio Grande do Sul. Com matriz no Rio de Janeiro, totalizando 17 unidades espalhadas por todo o território nacional, a empresa possui a segunda maior rede de franquias do País, uma indústria fabricante de colchões e cortes em peças de espuma, cuja matéria prima para a fabricação do poliuretano flexível é basicamente polióis e isocianato de tolueno. A unidade referenciada neste trabalho abastece o mercado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, atendendo à franquias e fábricas de manufatura de mercados variados como: moveleiro, calçadista, civil, automotivo e rede de lojas comerciais, bem como mercado latino americano como Uruguai, Paraguai e Argentina.

A empresa possui alguns processos básicos importantes na produção de poliuretano flexível com posterior corte em lâminas e perfis. Processos estes denominados de:

- a) fabricação do poliuretano em matrizes retangulares e cilíndricas, mediante reações químicas entre as principais matérias-primas: diisocianato de Tolueno e Polióis;
- b) toqueamento e laminação dos blocos retangulares;
- c) torneamento dos blocos cilíndricos;
- d) cortes verticais e horizontais.

Não serão evidenciados neste trabalho processos de costura em tecidos (mantas, capas e tampos), montagem de colchão, descompressão de molas, confecção de bases em madeiras (tipo ortopédico e camas auxiliares). Para um melhor entendimento, uma breve apresentação de alguns processos será feita devido à interação existente entre eles.

Com início na produção de blocos, a reação acontece a partir da mistura do Diisocianato de Tolueno, Poliois e auxiliares, o que resultará na formação do poliuretano flexível ou espuma, como conhecemos no dia a dia. Adicionado em um molde, seja retangular ou cilíndrico, com uma forte reação química e exotérmica,

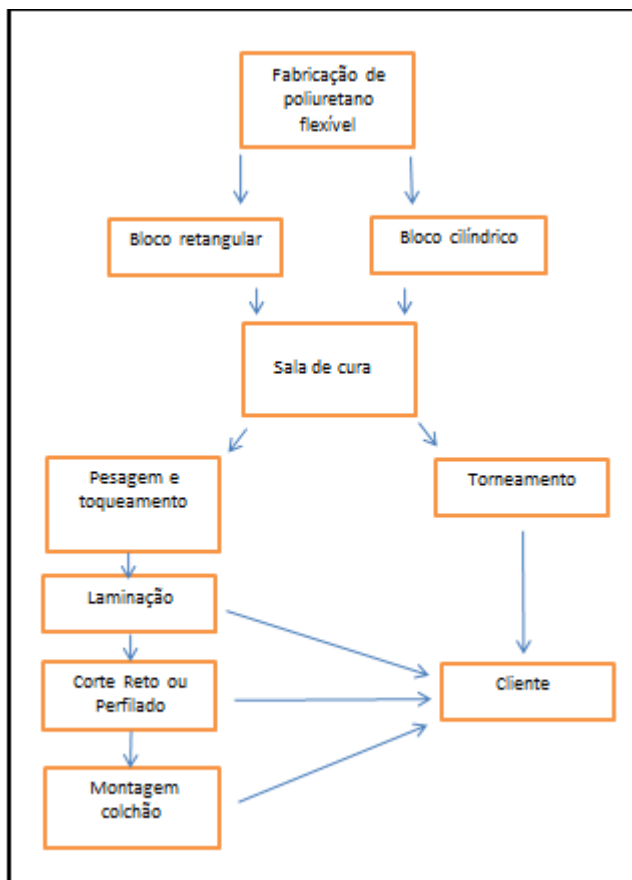
liberação de gases e calor que podem chegar a uma temperatura de 170°C no interior do bloco.

Em seguida, o bloco permanece na sala de cura por 24 horas até que sua temperatura interna alcance a temperatura ambiente e, assim, siga posteriormente para o setor de corte. Os blocos são produzidos com tamanhos muito próximos aos múltiplos das medidas das peças existentes no pedido, para evitar perdas ou gerar o mínimo de aparas residuais. Após sua cura, o bloco segue para o setor de corte para ser toqueado, pois possui uma dimensão normalmente de cinco metros de comprimento, dois metros de largura, por um metro e vinte centímetros de altura. O toqueamento é realizado de acordo com o múltiplo existente no pedido das peças, para que, após, siga para o processo de laminação. Seguindo essa ordem, os resíduos gerados são encaminhados para serem moídos e aglomerados, na sequência, encaminhados para serem laminados. Nesse processo de laminação, adicionam-se, conforme pedido do cliente, dados impressos, tais como: identificação do material, nome do cliente, data de fabricação e dados técnicos.

A partir do processo de laminação, o pedido segue para a área de embalagem e rotulagem ou para o setor de corte verticalizado, em que as lâminas de espumas sejam cortadas em moldes ou perfiladas de acordo com o pedido. As dimensões das peças são cuidadosamente elaboradas por meios de sensores acoplados na máquina de corte e conferidas, devido às exigências sobre dimensões do produto pelo órgão regulador – INMETRO, no momento da montagem, no caso dos colchões.

Após o setor de corte, as peças destinadas a colchões seguem para a sua montagem com ou sem mola, para serem adicionadas bordas, mantas e capas laterais superiores e inferiores, e a seguir, são encaminhados para ser costurados e expedidos. Já os blocos cilíndricos após passarem pela sala de cura, apenas esses e obrigatoriamente devido a sua forma geométrica, são torneados em lâminas para atender a sua demanda. A Figura 5 ilustra o processo de forma simplificada para demonstrar o fluxo de fabricação apresentadas anteriormente.

Figura 5 – Fluxograma do processo de fabricação do poliuretano flexível



Fonte: Elaborada pelo autor.

Este trabalho foi elaborado a partir de dados coletados entre o período de março a outubro de 2016 para a primeira análise antes da implementação da metodologia MCC. Esses dados ficam armazenados em um *software* específico de manutenção, chamado Gestor SM®, que foi fundamental para a coleta das informações. Esses dados são alimentados pela equipe de profissionais responsáveis, à medida que as ordens de serviços são abertas e encerradas, tendo em vista que os colaboradores já receberam treinamento com informações de cunho teórico e prático, e assim, com noções básicas de confiabilidade com o objetivo de nivelar o conhecimento sobre a MCC e os procedimentos metodológicos das atividades de manutenção, para que tornassem a implementação do trabalho com melhor entendimento.

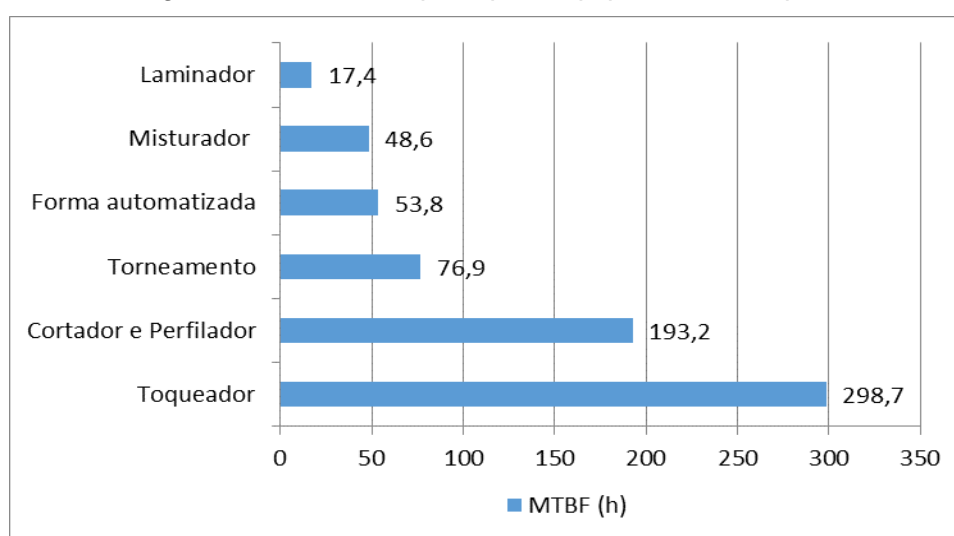
A estruturação do treinamento levou em consideração os seguintes fatores: (i) os treinamentos realizou-se no horário de expediente; (ii) fez-se necessária a convocação de toda a equipe com eventuais revezamentos de operadores e

auxiliares, devido o andamento da produção, os representantes dos setores de manutenção foram presença obrigatória; (iii) para atingir todos os níveis, o grupo da MCC foi integrado por representantes das principais áreas envolvidas no processo produtivo como por exemplo o responsável pelo setor de corte, responsável pelo PCP e supervisão de expedição; (iv) utilizou-se uma sala no laboratório de controle de qualidade para o treinamento; e assim, concluída a etapa de treinamentos. A sala foi dedicada ao projeto de implementação da metodologia e acompanhamento dos resultados, também, ficou acordado que houvesse uma reunião semanal para apresentar o andamento da implantação, bem como as dificuldades encontradas.

4.1 SISTEMA OU EQUIPAMENTO ELEITO

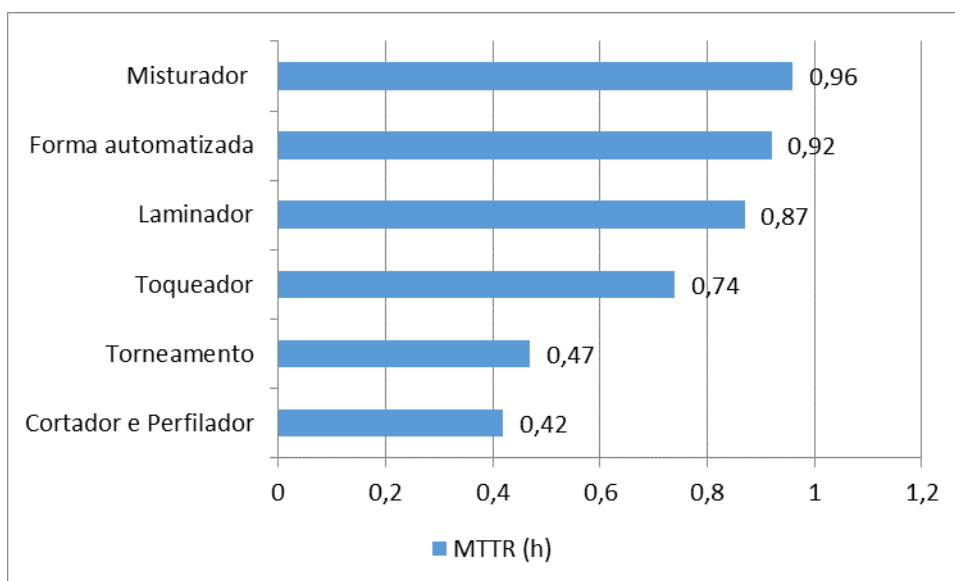
Primeiramente, foram coletados os dados de Disponibilidade, MTBF e MTTR dos equipamentos e processos que fazem parte da fabricação e corte de espuma. Esses dados representados nas Figuras 6, 7 e 8, são dados de equipamentos considerados importantes para o processo, e o registro destas falhas pode ser extraído do banco de dados e convertidos em formato de planilha eletrônica, assim foram extraídos os dados de falhas dos equipamentos e separados por período da ocorrência, de março a outubro de 2016 para a primeira análise antes da implementação da metodologia, e um período de novembro a fevereiro de 2018, para a análise de pós MCC.

Figura 6 – MTBF dos principais equipamentos do processo



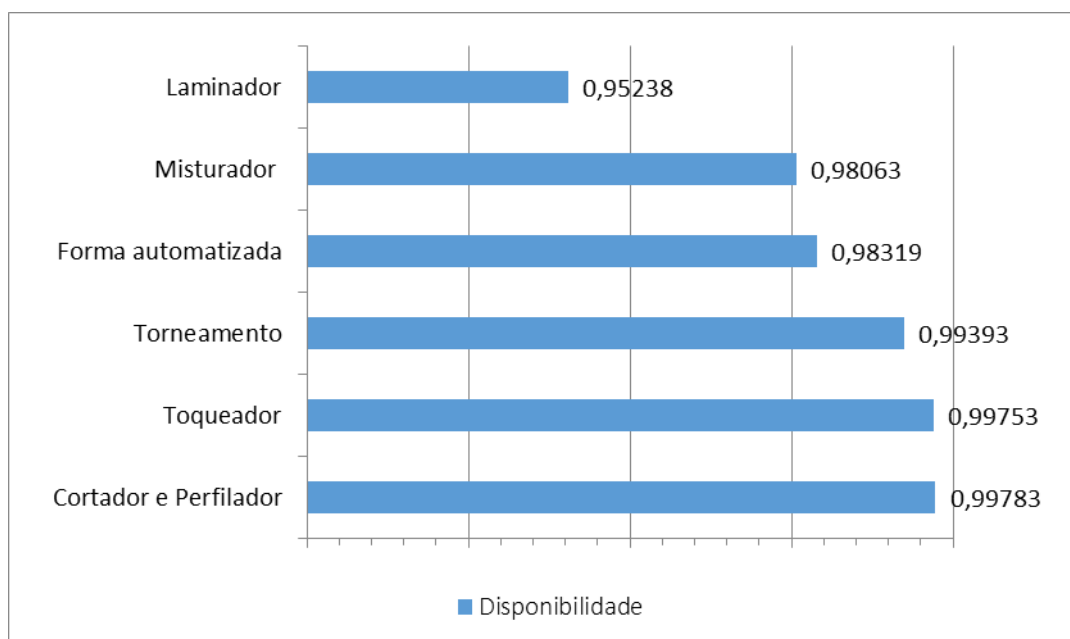
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 – MTTR dos principais equipamentos do processo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 – Disponibilidade dos principais equipamentos do processo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 6, representada pela MTBF, ilustra o Laminador com o menor tempo médio entre falhas, ou seja, menor tempo médio de bom funcionamento, seguido pelo segundo menor MTBF, o Misturador. Na Figura 7, ilustrada pela MTTR, apresenta o Misturador com o maior tempo médio para reparos (MTTR), acompanhado em segundo lugar, pela Forma Automatizada, e já o Laminador,

colocando-se em terceiro maior tempo médio de reparo. A Figura 8, ilustrada pela Disponibilidade do equipamento, apresenta o equipamento Laminador com a menor disponibilidade para a produção com 0,9523. O Laminador se destaca não só pelos resultados de altos índices de paradas por ocorrência de falhas, a atenção a este equipamento já é dispensada a bastante tempo, devido a sua alta utilização, mas as manutenções voltadas a este equipamento, referem-se basicamente a atuações corretivas e lubrificações periódicas. Tendo como referência essas informações, o Laminador possui a menor Disponibilidade entre os demais equipamentos e com o menor tempo de bom funcionamento (MTBF). Dessa forma, tendo em vista os resultados apresentados, o Laminador requer atenção por parte das atividades de manutenção em melhorar os altos índices de falhas e de ajustes necessários em seus componentes, e por isso, a implementação da MCC e da FMEA torna-se importante para identificar os conjuntos e subconjuntos desse equipamento crítico, implantando melhorias e a busca por oportunidades de ganho para a empresa.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS E SUBCONJUNTOS

Nessa fase, conjuntos e subconjuntos foram nomeados por fazer parte da operação Laminação, como mostra a Tabela 2, os dados como tempo de funcionamento e de paradas foram identificados para calcular a Disponibilidade, MTBF e MTTR de cada subconjunto. A partir desses dados, adotou-se a disponibilidade igual a 1 para o subconjunto que não apresentaram falhas, conforme Tabela 6. O período de coleta da Tabela 6 refere-se ao período de 2016 a 2017. Nas Figuras 9, 10 e 11, estão apresentados sequencialmente como MTBF, MTTR e Disponibilidade, sendo os subconjuntos identificados como os mais importantes e que possam afetar diretamente a disponibilidade do conjunto.

Tabela 2 – Função primária e padrão de desempenho do processo de laminação

Conjunto	Subconjunto	Identif _Scj	Função Primária	Padrão de Desempenho
SISTEMA DE CORTE 1	LÂMINA DE CORTE	Scj_11	Corte material	Corte sem rasgo
	AFIADOR LÂMINA	Scj_12	Afiar em ângulo	Dar fio a lâmina
	ROLAMENTO	Scj_13	Reduzir atrito	Possibilitar movimento
	MOTOR ELÉTRICO1	Scj_14	Movimento de correias	Movimento ao sistema
	CORREIAS DE TRANSP. CABEÇOTE	Scj_15	Transmitir movimento sincronizado	Transmitir movimento de forma contínua

Conjunto	Subconjunto	Identif. Scj	Função Primária	Padrão de Desempenho
MESA DE MOVIMENTAÇÃO 2	CAIXA DE REDUÇÃO1	Scj_21	Movimento de rotação reduzido e uniforme ao sistema	Reduzir movimento ao sistema
	MOTOR ELÉTRICO2	Scj_22	Movimento de correias	Movimento ao sistema
	PNEU DE BORRACHA	Scj_31	Movimentar a mesa	Fornece atrito à mesa
SISTEMA DE FRENAGEM 3	DISCO/PASTILHA	Scj_32	Impede o movimento da mesa	Fornece frenagem ao sistema
	CAIXA DE REDUÇÃO2	Scj_33	Movimento reduzido e uniforme	Reduzir rpm ao sistema
	PISTÃO PNEUMÁTICO	Scj_34	Aciona as pastilhas ao disco	Aplica força às pastilhas
	MANCAL2	Scj_35	Apoio ao eixo do sistema	Reduzir atrito e desgaste
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	DIJUNTOR DE CARGA	Scj_41	Sistema de proteção	Desarma alimentação elétrica
	INVERSOR	Scj_42	Direciona movimento motor	Aciona motor
	SENSOR1	Scj_43	Fim de curso	Leitura de acionamento
	CONTACTORA	Scj_44	Interrompe ou aciona comando	Comando elétrico
	RELÉ TÉRMICO DE PROTEÇÃO	Scj_45	Detecta sobrecarga	Desarma em caso de sobrecarga
	RELÉ DE SEGURANÇA	Scj_46	Desarma sistema ao ser acionado	Desliga o sistema
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	PISTOLA	Scj_51	Possibilita e direciona a impressão	Aplicação de tinta
	SENSOR2	Scj_52	Identifica o local de impressão	Leitura de acionamento
	SIST. LEITURA ÓPTICO DE IMPRESSÃO	Scj_53	Impressão por leitura de dados software	Acionado por dados computados
	SISTEMA PNEUMÁTICO	Scj_54	Aciona o sistema de pintura	Arraste da tinta para ser pulverizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

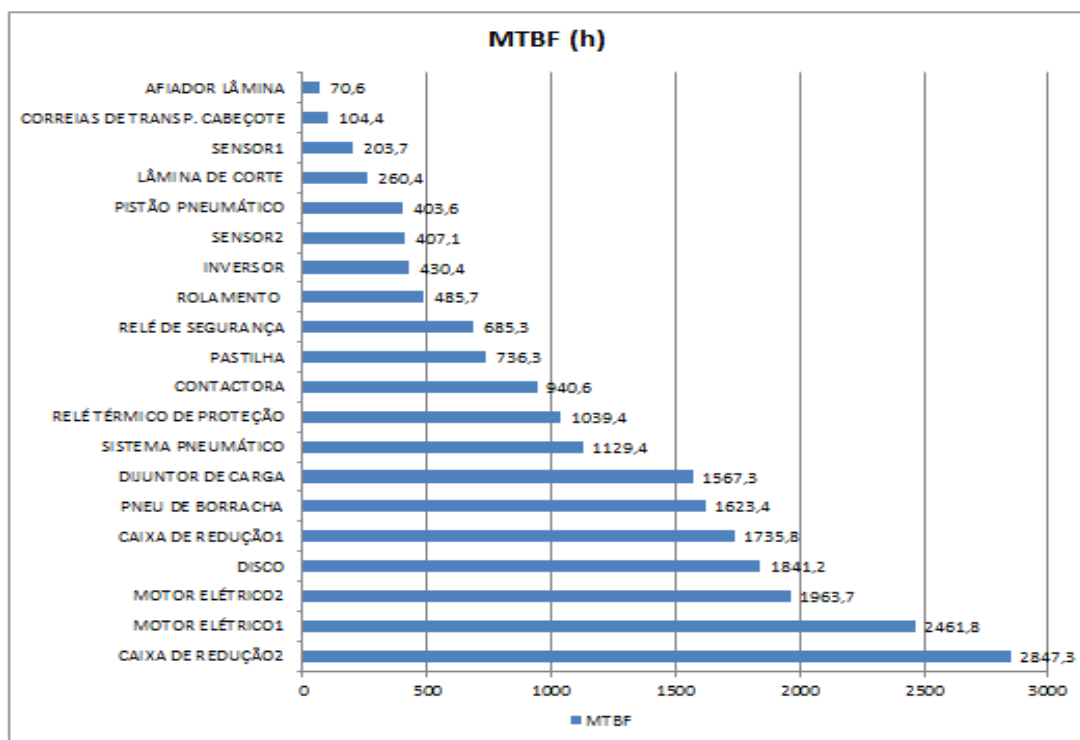
Tabela 6 – Processo de corte de espuma com conjuntos e subconjuntos

Conjunto	Identif. Cj	Subconjunto	Identif. Scj	MTBF (h)	MTTR (h)	Disponibilidade
SISTEMA DE CORTE1	11	LÂMINA DE CORTE	Scj_11	260,4	0,78	0,9970
	12	AFIADOR LÂMINA	Scj_12	70,6	0,83	0,9884
	13	ROLAMENTO	Scj_13	485,7	1,68	0,9966
	14	MOTOR ELÉTRICO1	Scj_14	2461,8	0,78	0,9997
	15	CORREIAS DE TRANSP. CABEÇOTE	Scj_15	104,4	0,22	0,9979
MESA DE MOVIMENTAÇÃO2	21	CAIXA DE REDUÇÃO1	Scj_21	1735,8	1,21	0,9993

SISTEMA DE FRENAGEM3	22	MOTOR ELÉTRICO2	Scj_22	1963,7	0,46	0,9998
	31	PNEU DE BORRACHA	Scj_31	1623,4	0,62	0,9996
	32	DISCO	Scj_32	1841,2	1,04	0,9994
	33	PASTILHA	Scj_33	736,3	0,25	0,9997
	34	CAIXA DE REDUÇÃO2	Scj_34	2847,3	0,92	0,9997
	35	PISTÃO PNEUMÁTICO	Scj_35	403,6	0,36	0,9991
	36	MANCAL2	Scj_36	sem registros de falha		1,00000
	37	EIXO	Scj_37	sem registros de falha		1,00000
	41	DIJUNTOR DE CARGA	Scj_41	1567,3	0,41	0,9997
	42	INVERSOR	Scj_42	430,4	0,37	0,9991
PAINEL ELETROELETRÔNICO4	43	SENSOR1	Scj_43	203,7	0,29	0,9986
	44	CONTACTORA	Scj_43	940,6	0,36	0,9996
	45	RELÉ TÉRMICO DE PROTEÇÃO	Scj_44	1039,4	0,26	0,9997
	46	RELÉ DE SEGURANÇA	Scj_45	685,3	0,23	0,9997
	51	PISTOLA	Scj_51	sem registros de falha		1,00000
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	52	SENSOR2	Scj_52	407,1	0,24	0,9994
	53	SIST. LEITURA ÓPTICO DE IMPRESSÃO	Scj_53	sem registros de falha		1,00000
	54	SISTEMA PNEUMÁTICO	Scj_54	1129,4	0,38	0,9997

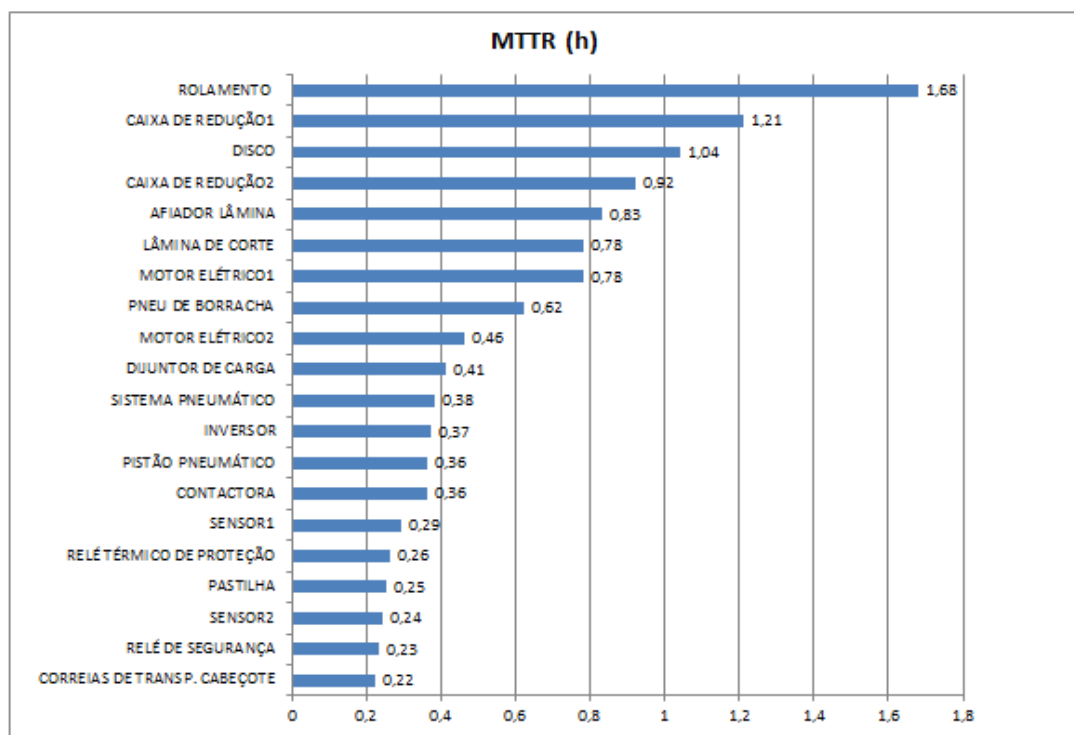
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – MTBF dos Subconjuntos da operação laminadora



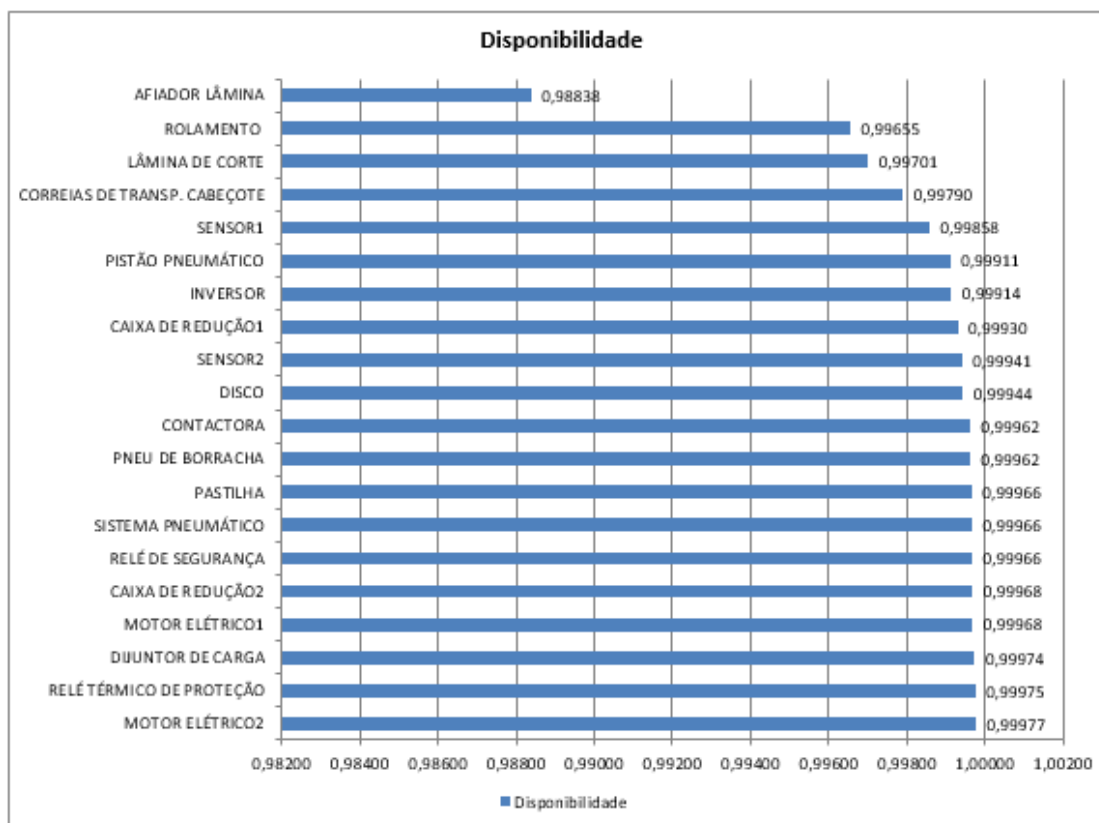
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 – MTTR dos Subconjuntos da operação laminadora



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 – Disponibilidade dos Subconjuntos da operação laminadora



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da análise das Figuras 9, 10 e 11, observa-se que, quando o MTTR resulta em um valor maior, significa que demandou mais tempo para reparar o equipamento. Desse modo, quanto maior for tal valor, pior será o resultado em análise neste estudo. Já no que tange ao MTBF, quanto maior o valor, melhor será o resultado (do ponto de vista do presente estudo), pois significa que o equipamento trabalhou mais tempo sem necessidade de reparo. Ressalta-se, ainda, que, no que se refere à Disponibilidade, quanto menor o valor, pior será o resultado nesta investigação, uma vez que esse indicador significa que o equipamento estará menos tempo disponível para a produção.

A Figura 9 apresenta em primeiro lugar o subconjunto “Afiador Lâmina”, com o menor tempo entre falha, seguido pelas “Correias de transporte e Cabeçote”, de menor MTBF por exemplo. Já com os maiores tempos de bom funcionamento (MTBF), a “Caixa de Redução2”, “Motor Elétrico1” e “Motor Elétrico2”, respectivamente.

Já na Figura 10, são destacados os altos valores de MTTR, que são dados de tempo médio de reparo, o que significa uma baixa manutenibilidade e evidencia a necessidade de melhoria no plano de manutenção ou até mesmo melhorias no projeto do subconjunto para que estes valores sejam reduzidos, como por exemplo, o “Rolamento” com o maior tempo médio de reparo, por apesar suas paradas são extremamente longas. Com esses dados, foram identificadas na investigação de algumas causas raízes, que estivesse agravando e posteriormente agir no intuito de mitigar essas falhas.

Enquanto isso, a Figura 11 apresenta o subconjunto “Afiador de Lâmina” com a menor Disponibilidade (0,98838 ou 98,83%), que compõe esse sistema. Este valor se relaciona com o menor tempo médio entre falha (MTBF) ilustrado na Figura 9 e o quinto maior tempo médio de reparo (MTTR) mostrado na Figura 10. Já o “Rolamento” apresenta-se na segunda posição com a menor Disponibilidade, seguido pela “Lâmina de corte”, “Correias de transporte e Cabeçote”, “Sensor1”, “Pistão Pneumático”, “Inversor”, “Caixa de Redução1”, “Sensor2” e “Disco”; terceira, quarta, quinta, sexta, sétima, oitava, nona e décima posição como as menores Disponibilidades, respectivamente.

4.3 VERIFICAÇÃO FUNCIONAL DOS SUBCONJUNTOS

Nesta etapa, buscou-se verificar as funções de cada subconjunto e a importância do papel de cada um. É importante conhecer o papel de cada subconjunto para melhor compreender, como um todo, o conjunto que compõe um equipamento. Inicia-se, então, com a identificação da função de cada componente, pois preservá-lo é a função da manutenção. Essa função é a razão pela qual o componente está instalado e é com o uso da FMEA que os Modos de Falhas, seus efeitos e causas de cada componente são identificados (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Fogliatto e Ribeiro (2009) salientam que, se um item tiver mais que uma função, provavelmente, estará associada com os diferentes modos de falha. Sendo assim, deve ser listada cada uma dessas funções, porque sua correta descrição, alocadas uma abaixo da outra, irá auxiliar nas etapas subsequentes de identificação das falhas.

Neste estudo, com as experiências e conhecimento dos profissionais da manutenção e operadores, possibilitou-se identificar as principais funções e padrões de desempenho dos subconjuntos do sistema. Também proporcionou a compreensão dos subconjuntos listados, que serviu como base para a implantação do programa MCC. Essa análise funcional tem como objetivo transferir a estrutura técnica e física de um item, em palavras de fácil entendimento.

4.4 FMEA – ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA

Nessa fase, a planilha FMEA foi construída para identificar o modo e efeito de falha dos subconjuntos. O preenchimento dos modos de falha, efeitos potenciais de falha e sua causa, foram preenchidos por toda a equipe, levando-se em conta cada especialidade e nível de conhecimento de cada profissional. A construção da FMEA, destacando que, para cada efeito e modo de falha, determina-se uma escala de severidade de falha que é expresso de 1 a 10. Sendo que 1 indica baixa severidade e 10 alta severidade, ilustrada pela letra “S” do Apêndice A. Assim, a severidade expressa a gravidade do modo e efeito de falha avaliada de forma qualitativa (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Com base na bibliografia estudada, a nota de classificação quanto à severidade tem impacto sobre as características causadas pela falha, levando-se em conta a questão operacional e de segurança. Assim, a Tabela 3 ilustra os critérios aplicados à questão Severidade em sua escala. Os valores de escala 9 e 10 são utilizados apenas quando o modo de falha envolver segurança das pessoas, meio ambiente ou produto. Já os valores 7 e 8 são utilizados quando for detectado alguma parada no equipamento ligado ao modo de falha. Nessa sequência, os valores 5 e 6 estão ligados diretamente à queda de desempenho do equipamento. Com os valores 3 e 4 utilizados, percebe-se uma baixa queda de rendimento. Já os valores 1 e 2 são utilizados quando não se percebe perda de produção.

Já a Tabela 4 evidencia a ocorrência das falhas, ou seja, as causas de como essas ocorrem, relacionando a ocorrência de falha com a probabilidade de a causa dessa falha ocorrer (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Os autores ainda adotam a utilização de uma escala de 1 a 10, utilizando para a baixa ocorrência a escala de valor 1, e 10 para alta ocorrência.

O critério aplicado na avaliação da escala de Ocorrência obteve como base as sugestões apresentadas conforme descrição na Tabela 4. Também são referenciadas as quantidades de ocorrências por ano exibidas na tabela, pois são resultados obtidos de falhas ocorridas ou projetadas na proporção para o período.

Na fase seguinte, a de Detecção, apresenta o nível de detecção quanto ao modo e efeito de falha, devidamente estimada, ilustrada por meio de controles de verificação incorporados ao processo, que podem impedir ou detectar a causa e respectivo modo de falha. Fogliatto e Ribeiro (2009) recomendam a utilização de duas colunas de controle, sendo uma delas para indicar eventuais controles de prevenção, ou seja, são aqueles que podem reduzir a ocorrência da causa ou modo de falha. E a segunda coluna utiliza-se para indicar controles de detecção, ou seja, os que afetam a probabilidade de ocorrência, mas que detectam o problema antes do item ser liberado para a próxima fase do processo.

Para melhor avaliar o nível de detecção, deve-se assumir que o modo de falha tenha ocorrido e, então, verificar a capacidade dos controles atuais em detectar a falha. Também nesta fase é utilizada uma escala de 1 a 10. Para o valor 1, representa uma situação que o modo de falha será detectado e 10 para uma situação que o modo de falha, caso existente, não será detectado. Para os valores de 1 a 3, estes estão associados a procedimentos à prova de erro, para valor de 4 a 6, estão ligados ao uso de medições ou controle estatístico, e para valores entre 7 a 10, estão ligados às inspeções visuais ou mesmo sem controle algum.

A Tabela 5 ilustra o nível de detecção, descrição e escala do modo e efeito de falha.

Após verificar e quantificar os três níveis do FMEA, deve-se avaliar o Risco (R) – este prioriza as ações de correção e melhoria do processo. Leva-se em consideração para o cálculo da severidade (S), Ocorrência (O) e a Detecção (D), assim, calcula-se o risco para cada modo de falha referenciado pela Equação 4.

$$R = S * O * D$$

[Equação 4]

Conforme a Equação 4, a letra “S” representa a Severidade, “O” a Ocorrência, “D” a Detecção e “R” o Risco resultante, sendo que o risco pode variar de 1 até 1000 e os esforços devem ser direcionados naqueles itens em que o risco for maior.

Nessa ordem, o Apêndice A apresenta a FMEA dos subconjuntos e os resultados das análises de risco.

O Apêndice A mostra, para cada componente ou subconjunto do sistema, Laminadora, seus modos de falhas e seus efeitos com suas respectivas severidades, considerando a criticidade operacional com referência ao ambiente e segurança na operação. São também evidenciados os controles de detecção e prevenção de causas potenciais e modos de falha, com vistas à probabilidade de ocorrências. E como resultante destas identificações, pode-se verificar o nível de classificação de detecção do Risco resultante de cada modo de falha

O Apêndice B apresenta, em formato de *Ranking* para melhor visualização, o Modo de Falha “Rompimento ou desgaste”, do subconjunto, “Lâmina de corte” e do conjunto, “Sistema de corte1”, com um Risco de $R= 127,5$, potencializado pela alta taxa de Ocorrência. Na sequência, está evidenciado o subconjunto “Afiador de Lâmina”, do conjunto, “Sistema de corte1”, com o segundo maior Risco, de $R= 102$, agravado pela moderada severidade e alta Ocorrência. Em terceira posição, aparecem os modos de falhas:

- a) “Vibração/Quebra”, do subconjunto, “Rolamento”, do conjunto, “Sistema de corte1”, com Risco de $R= 75$, influenciado pela moderada Severidade e pelas falhas ocasionais;
- b) “Sem Alimentação/Queima”, do subconjunto, “Motor Elétrico”, do conjunto, “Sistema de corte1”, também com Risco de $R= 75$, também agravado pela moderada Severidade e pela moderada probabilidade de Detecção.

Na Quarta posição, apresenta-se o $R= 72$, com modo de falha denominado “Oxidação/Sobrecarga” do subconjunto, “Inversor”, do conjunto, “Painel Eletrônico4”, influenciado pela moderada Severidade e moderada Detecção no sistema. Em Quinta posição, apresenta-se o $R= 70$, com modo de falha “Queima” do subconjunto, “Relé de Segurança”, do conjunto, “Painel Eletrônico4”, influenciado pela alta Severidade e moderada Detecção no sistema. Em sexta posição, aparecem os modos de falhas:

- a) “Vazamento de ar/Danos aos reparos”, do subconjunto, “Pistão pneumático”, do conjunto, “Sistema de Frenagem³”, com Risco de R= 63, influenciado pela moderada Severidade e pelas falhas ocasionais;
- b) “Queima/Sobrecarga”, do subconjunto, “Disjuntor”, do conjunto, “Painel Eletrônico⁴”, também com Risco de R = 63, também agravado pela moderada Severidade e pelas falhas ocasionais.

Os modos de falhas que obtiveram riscos com $R < 63$ são provenientes dos conjuntos, com seus respectivos subconjuntos que obtiveram uma menor classificação de Risco no *Ranking* como: Para o conjunto “Painel Eletrônico⁴”, subconjuntos, “Relé Térmico de Proteção” com R= 56; do conjunto “Sistema de Corte¹” o subconjunto “Correias de Transporte e Cabeçote”; e conjunto “Painel Eletrônico⁴” do subconjunto “Contactora” com Risco de R= 48; já o conjunto “Sistema de Impressão⁵” e subconjunto “Sensor²” com R= 40; o conjunto “Motor Elétrico²” do subconjunto “Mesa de Movimentação²” com R= 36 e o conjunto “Sistema de Frenagem³” do subconjunto “Mancal²” com R= 32. Os demais subconjuntos apresentaram um risco baixo e, por isso, obtiveram as menores classificações do *Ranking*.

Foram analisadas as possibilidades de executar a manutenção de acordo com a prioridade demonstrada no resultado de maior Risco, em conjunto de toda a equipe envolvida; além de efetuar a manutenção que apresentar o maior risco. Também houve a preocupação de priorizar os resultados que apresentassem um grau de risco de incêndio, já que o ambiente de trabalho é muito propício, pois a espuma de poliuretano é altamente inflamável. Outro item importante a ser destacado é o custo/benefício de manutenção de cada ação tomada, respeitando o grau de priorização dos riscos do maior para o menor. Segundo Lafraia (2008), trata-se da maneira mais precisa para mitigar as falhas.

4.5 SELEÇÃO E ELABORAÇÃO DE AÇÕES NAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

O Apêndice C ilustra a ação proposta e utilizada para que as melhorias sejam feitas na área de manutenção, a fim de reduzir ou mitigar as ocorrências de falhas e permitir que o equipamento cumpra sua função, bem como a redução dos riscos resultantes dos modos de falhas prioritários. As diretrizes foram acertadas por

comum acordo entre os membros da equipe e transformadas em ações em forma de planos de manutenção. Também os profissionais terceirizados tiveram suas contribuições, como é o caso da análise de Termografia e vibração, com reuniões periódicas para a troca de ideias e ajustes das estratégias. As reuniões ocorriam quinzenalmente, mas quando necessário ocorriam semanalmente, devido à disponibilidade do pessoal. Para a construção da FMEA, a reunião exigiu maior tempo para identificar os itens relevantes, pois os assuntos nessa fase necessitam de maior dedicação por parte da equipe. Para determinar os planos de manutenção mais adequado, a análise das informações extraídas dos dados antes da implantação do programa MCC possibilitou que as propostas fossem transformadas em ações formalizadas por meio de documentos específicos da área de manutenção e também inseridas ao sistema de gerenciamento da manutenção da empresa (GESTOR SM®).

Outro ponto importante é o estudo dos históricos de cada modo de falha e consulta aos manuais dos equipamentos, possibilitando determinar qual o melhor tipo de manutenção e a frequência de suas tarefas. Para uma melhor visualização, o Apêndice D apresenta os dados na forma de *Ranking*. Para determinar as ações para um plano de manutenção mais adequado para cada modo de falha, os membros da equipe técnica de manutenção revisaram os dados históricos dos resultados obtidos e parâmetros de ajuste dos tempos entre falhas e também o manual do equipamento. Desta forma, foi possível identificar o tipo de manutenção mais adequada e a frequência de execução das atividades de manutenção. As ações estão apresentadas na coluna “ações recomendadas” do “APÊNDICE C”, focando-se nos conjuntos que apresentaram os maiores Riscos resultantes (R). O responsável pela execução das ações recomendadas foi determinado a partir da área de conhecimento de cada membro da equipe, dependendo de suas especialidades.

Para determinar o tipo de manutenção mais adequada para cada modo de falha, como ilustrado no “APÊNDICE D”, os valores dos riscos resultantes em forma de *Ranking*. Com referência aos maiores valores resultantes, o Sistema de corte do equipamento é o que mais chama a atenção na planilha FMEA, a Lâmina de corte é uma ferramenta que tem ação direta com o material, entretanto, se os componentes que servem como guia, ou que servem como suporte da lâmina, a sua vida útil pode ser reduzida drasticamente. Usualmente a Lâmina de corte sofre excessivo desgaste

ou até o seu rompimento, então, a equipe de manutenção elaborou ações para mitigar esse problema, e assim, que o operador monitorasse o surgimento de trincas, os ajustes do esmerilho e até deformações que a Lâmina de corte viesse a apresentar. O operador foi treinado para a determinada avaliação e que fizesse a verificação visual no intervalo de cada bloco. A mesma atenção foi dada para Afiador de lâmina, como alto índice resultante, apresentava repentinas folgas e falta de ajustes no guia de aproximação dos rebolos, foi destinado as atividades de monitoramento ao operador, com adequado treinamento, para verificar possíveis folgas entre os rebolos e o seu suporte, para que fossem eliminados possíveis desalinhamento que provocassem desgaste excessivo da Lâmina ou até mesmo sua deformação e, sua verificação tivesse uma frequência de cada bloco cortado, aproveitando o mesmo tempo de verificação da Lâmina de corte.

Já para o Rolamento, a equipe terceirizada e especializada em análise de vibração, foram responsabilizadas em acompanhar e monitorar esse componente. A equipe terceirizada juntamente com a equipe de manutenção da empresa, decidiram através das análises de vibração que, o Rolamento do sistema de corte além desse tipo de monitoramento, deveria ser acompanhada por uma rotina de manutenção, com lubrificações no mínimo uma vez por semana e, devido ao histórico de substituições de Rolamento que eram bimestrais, os novos cuidados apresentados com monitoramento de vibração e lubrificação, o aumento da frequência de troca de Rolamento no mínimo a cada três meses.

Esses três modos potenciais de falha representadas na planilha e descritas acima, tiveram prioridades em sua atividade de manutenção para tentar mitigar essas falhas. Visto que o nível de severidade se manteve em sua escala, pois destes componentes quando falham, acabam comprometendo a sincronia de produção e provocando insatisfação interna com gerência de produção e mesmo insatisfação do cliente com postergação de entrega de produto. Desta forma, os níveis de detecção foram facilitados, devido às ações determinadas pela equipe responsável frente as causas potenciais das falhas e conseqüentemente o nível de ocorrências de falhas diminuídas, obtendo valores Resultantes menores destes três subconjuntos, “Lâmina de Corte”; “Afiador de Lâmina” e; “Rolamento” que contemplam maior priorização em ações de manutenção.

Para os demais subconjuntos oriundos do conjunto “Painel eletroeletrônico”, tiveram o acompanhamento do electricista da empresa, membro da equipe de

melhoria e, em conjunto com a equipe terceirizada de manutenção e especializada em análise termográfica, as análises eram realizadas bimestral ou trimestralmente, após verificação de ocorrências e detecção, a equipe passou esse monitoramento para mensal, tornou-se mais claro a detecção de componentes elétricos com sobrecarga e ou aquecimento, facilitando o seu monitoramento e consequente sua substituição antes que viesse a falhar, reduzindo as paradas por ocorrências dessas falhas. E por fim, para os demais subconjuntos que obtiveram menor valor de Risco resultante ou de baixa prioridade, outras ações foram tomadas e executadas posteriormente ou ao mesmo tempo que as atividades de manutenção tornou-se oportuna, seja, por fácil manutenção do componente ou por baixo custo.

Assim, as melhorias executadas sobre os modos de falhas preponderantes, foram realizadas as quantificações de severidade, de ocorrência e de detecção. A nova Resultante (R') foi calculada, apresentando uma redução significativa comparado com os riscos anteriores, como ilustra a coluna “NOVO CENÁRIO PÓS PROGRAMA MCC” do “APÊNDICE D”.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O plano de manutenção foi construído com o compromisso de mitigar aqueles que apresentassem o maior Risco resultante, mas sem desprezar os de menor Risco resultante de custos acessíveis e facilidade na execução. Assim, foi realizado ações utilizando os critérios propostos que quantificam a planilha FMEA. Então, um novo cenário pós-MCC gerou dados apresentados no Apêndice C como novo Risco resultante identificado como R'.

Foram observadas as seguintes diminuições de risco como ilustra a Tabela 7 como síntese dos resultados dos índices da planilha FMEA. Nessa mesma tabela, podem ser identificados os resultados antes de (R) e após (R') a aplicação deste estudo, também, como ilustra o Apêndice D mais detalhadamente.

Tabela 7: Síntese dos Resultados

Subconjunto	S	O	D	R´ (antes)	R´ (depois)	S	O	D
Lâmina corte	5	8,5	3	127,5	75	5	7,5	2
Afiador Lâmina	6	8,5	2	102	60	6	5	2
Rolamento	5	5	2	75	60	5	4	3
Motor Elétrico	5	3	5	75	40	5	2	4
Correias Transporte	8	3	2	48	32	8	2	2
Pistão Pneumático	6	3,5	3	63	45	6	2,5	3
Disjuntor de Carga	6	3,5	3	63	42	7	2	3
Inversor	6	4	3	72	54	6	3	3
Contactora	6	1	8	48	36	6	1	6
Relé Térmico Proteção	7	1	8	56	42	7	1	6
Relé de Segurança	7	2	5	70	56	7	2	4

Fonte: Elaborada pelo autor.

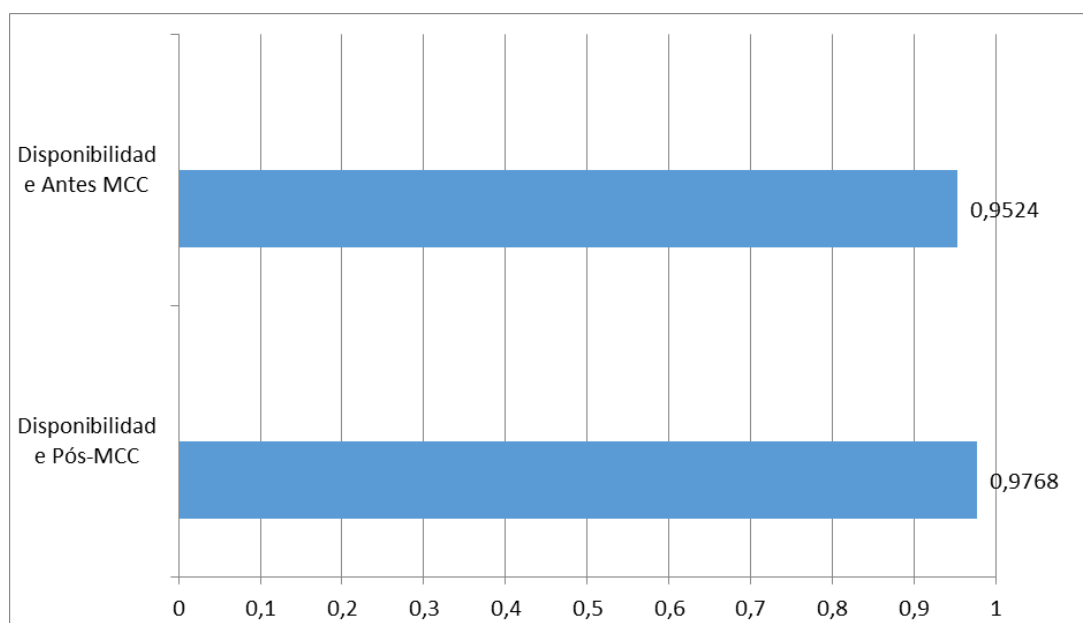
A equipe responsável pela implementação, direcionaram seus esforços para as melhorias conforme ação e frequência do tipo de manutenção correspondente a cada modo de falha. Assim, a adoção pela manutenção preditiva e preventiva, com monitoramento em análise de vibração, termografia e acompanhamento periódico de profissionais de manutenção e operadores, também tarefa de lubrificação mais adequada, possibilitou uma possível manutenção planejada para o equipamento.

Para os demais modos de falhas que obtiveram uma redução de risco mais discreta, mas sem diminuir sua importância, pois quaisquer que sejam a redução do

Risco resultante, irá refletir na disponibilidade do sistema como um todo. Para as atividades, no que se refere às responsabilidades do operador, foi acrescido à sua rotina de trabalho um *checklist*, que são verificações que acompanham e alimentam o histórico do equipamento e posterior análise em reuniões pelos profissionais da área de manutenção.

Embora o tempo de estudo fosse curto, entre outubro de 2016 a fevereiro de 2018, a obtenção desses resultados demonstrou interesse pelo grupo em focar ainda mais seus esforços. Isso porque os muitos dos membros apresentaram interesse em aprofundar seus conhecimentos, para que seja também aplicada em outras áreas da empresa ou até mesmo divulgar o estudo para outras unidades do grupo. A Figura 12 ilustra um comparativo de disponibilidade do equipamento Laminador antes e pós implementação da MCC.

Figura 12 – Disponibilidade do equipamento laminador antes e pós MCC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em análise da Figura 12, obteve-se um comparativo da disponibilidade do equipamento Laminador antes e pós aplicação do programa MCC, que passou de 95,24% (0,9524) em dados levantados em outubro de 2016, para 97,68% (0,9768) em fevereiro de 2018, em disponibilidade para o sistema produtivo. Com esse incremento de 2,4% de aumento, o equipamento ganhou 17 horas mensais a mais no sistema produtivo, sendo que ele trabalha em três turnos de 8h durante todos os dias do mês. Considerando que são cortados 60 blocos diários, o ganho

corresponde a produção de quase um dia a mais no mês, contribuindo com a redução de horas extras e estoques de segurança ou até mesmo para fazer paradas programadas para a manutenção. Quanto ao custo de manutenção, os dados foram obtidos de planilhas de controle do setor gerencial, em que os custos de manutenção são devidamente separados por equipamento, que em média passou de R\$ 86.700,00 para R\$ 62.500,00 mensais pós melhorias realizadas. Estes custos são referentes à compra de peças de reposição e gastos com manutenção por empresas terceirizadas que possuem seu custo hora por equipamento. Observou-se também, após este estudo, a quantidade de peças sobressalentes reduzidos em 20% do valor em estoque de peças direcionadas a este equipamento, que era de R\$ 41.000,00 e passou para R\$ 33.000,00. Outro ponto importante ocorreu em fevereiro de 2018, em que o balanço mensal desse período foi de 35 toneladas, quando comparado com balanços anteriores, em que a média era de 45 toneladas. Essa quantidade seria como uma proteção (estoque pulmão) de peças cortadas para o abastecimento da montagem de colchões nos processos seguintes. Nesse contexto, com a soma dessa redução de peças em estoque, mais a redução de compras de peças para conserto ou reposição e, ainda, a redução de horas extras devido ao incremento de ganho de produção de um dia, estima-se que o ganho total está na casa dos R\$ 35.000,00 mensais e, por ano, essa economia possa chegar em um valor próximo a R\$ 450.000,00, como mostra a Tabela 8:

Tabela 8 : Síntese de Ganhos Aproximados

Item	R\$ (antes)	R\$ (depois)
Custo de Manutenção mensal	86.700,00	62.500,00
Custo peças sobressalentes mensal	41.000,00	33.000,00
Balanço mensal ref 02/2018	45 Tons	35 Tons
Estima-se uma redução anual na casa dos R\$450.000,00		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se, também, que os ganhos não foram apenas em valores financeiros. Nota-se que a equipe está motivada em melhorar ainda mais os dados obtidos com a implantação do programa. Ainda, conquistou-se um maior engajamento de trabalho em equipe, cujos membros não mediram esforços na execução de suas atividades. Além do mais, os treinamentos aplicados pelos

fornecedores aos operadores e profissionais da área de manutenção foi de grande valia, pois esses funcionários tornaram-se mais confiantes e estimulados. Outro ponto importante foi com a redução de peças de reposição em estoque. Devido a isso, houve um aumento significativo do espaço físico do depósito, além de tornar o setor mais organizado, o que facilitou para a execução do balanço semanal.

6 CONCLUSÃO

O ponto inicial do processo de pesquisa foi a coleta de dados estatísticos de manutenção no processo de corte da empresa, que se mostrava crítico. O passo seguinte foi a elaboração de ampla pesquisa bibliográfica que evidenciou as diferentes informações e etapas de implementação de vários autores referente ao tema abordado como: histórico de manutenção, tipos de manutenção, conceitos de confiabilidade, indicadores de manutenção e FMEA, que tem como base a análise e modo de falha e seu efeito. Assim, a aplicação da metodologia MCC apoia-se nos seguintes passos: (i) escolha e capacitação da equipe, bem como a seleção do sistema para o estudo; ii) Selecionar o equipamento crítico no sistema através de coletas de dados; (iii) selecionar os conjuntos e subconjuntos desse equipamento crítico; (iv) Analisar as funções primárias bem como seu desempenho funcional dos subconjuntos; (v) Fazer as análises dos efeitos e modos de falhas de cada subconjunto; vi) Elaborar ações e planos de manutenção para cada tipo de falha.

O tema proposto deste trabalho visa estimular abordagens sobre o assunto, possibilitando novas aplicações de diversos setores e que as informações aqui apresentadas sirvam de base na utilização da MCC e FMEA para melhorar a disponibilidade dos equipamentos. Dessa forma, acredita-se, que a implementação desses programas permitirá ações para atividades de manutenção mais adequadas e possibilitará também, um plano estratégico de manutenção mais assertivo.

Com a realização desse estudo, os membros da equipe puderam fortalecer seus conhecimento e entendimento para uma boa gestão da manutenção. Além disso, o envolvimento dos colaboradores é outro ponto importante, pois melhora a capacidade técnica decorrente dos treinamentos e, ainda, possibilita o aumento da interação entre os técnicos de manutenção e operadores, ações essas que promovem o empenho de todos para a implementação do programa. Observa-se, portanto, uma lacuna existente ao uso inadequado da manutenção na empresa em estudo, e por isso, o desenvolvimento deste trabalho torna-se oportuno e promove a implantação do programa MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade no setor de corte da indústria. Dessa forma, a implementação do programa MCC permitiu avaliar e melhorar a confiabilidade e a disponibilidade de um equipamento crítico e considerado gargalo para o setor de corte de uma empresa, pois, conforme dados

da Abramam (2013), as atividades de manutenção com base no programa MCC, não faz parte da maioria das estratégias de manutenção das empresas, pois estas baseiam-se em atividades de manutenção sem planejamento e adotando muitas ações corretivas.

O ponto inicial do processo de pesquisa foi a coleta de dados de indicadores de manutenção no processo de corte da empresa. E por isso, a importância de obter dados de manutenção geridos por um sistema específico (GESTOR SM®). Este constitui de um banco de dados disponível para que os profissionais tenham acesso às atividades de manutenção, dados de falha de equipamento e sua causa e indicadores importantes como: MTBF, MTTR, e disponibilidade de equipamento. Os resultados obtidos para a aplicação da MCC ao equipamento Laminadora possibilitou a evidência de ocorrência de falhas e seu comportamento. Dessa forma, permitiu notar que ações deveriam ser tomadas nos termos de atividades de manutenção referentes a esta ferramenta de melhoria. O passo seguinte foi a elaboração de ampla pesquisa bibliográfica que evidenciou os diferentes fatos e experiências de vários autores referente ao tema abordado como: histórico de manutenção, tipos de manutenção, conceitos de confiabilidade, indicadores de manutenção e FMEA, que tem como base a análise e modo de falha e seu efeito.

Após ter conhecimento desses indicadores de manutenção, na sequência foi possível adotar a aplicação da FMEA, que permitiu uma análise profunda da estrutura, projeto e análise de falha de cada subconjunto. Ainda, possibilitou que fossem levantados todos os modos, efeitos, causas potenciais de falha e controles de ações recomendadas para essas falhas. Para tanto, a Severidade, a Ocorrência e a Detecção permitiram calcular o fator de Risco resultante de cada modo de falha, que serviu como parâmetro de priorização para a tomada de decisão com base nesses resultados.

Os principais riscos identificados foram: o modo de falha “Rompimento ou Desgaste” do subconjunto “Lâmina de Corte” e do conjunto “Sistema de Corte1” que apresentou a maior redução de Risco passando de $R= 127,5$ para $R'= 75$. Outra redução importante foi o subconjunto “Afiador de Lâmina” do conjunto “Sistema de Corte1”, inicialmente um $R= 102$, passando para $R'= 60$. Também, ainda como redução, o subconjunto “Rolamento” do conjunto “Sistema de Corte1” que no início era de $R= 75$, passando para $R= 60$. Nota-se que os três primeiros modos de falha foram do conjunto “Sistema de Corte1”, o qual obteve toda a atenção voltada para

melhorias conforme ação e frequência do tipo de manutenção correspondente a cada modo de falha.

No aspecto financeiro, a aplicação do programa MCC contribuiu com a redução, significativa, de aproximadamente R\$ 450.000,00 no período de um ano de custos decorrentes a paradas não programadas, horas extras não planejadas e redução de estoques de peças de reposição, bem como a redução de 10 toneladas de estoque pulmão referentes a peças cortadas para a produção. Isso equivale a 15% de blocos produzidos em um dia, o que permitiu mais espaço livre, levando-se em conta que cada bloco possui um volume de 10 m³ em uma produção de 60 unidades diárias, o que em espaço livre, resulta em um volume livre de 300 m³.

As dificuldades encontradas para a partida inicial e em alguns pontos da aplicação da MCC, foram os diferentes níveis de conhecimento sobre o programa e sua metodologia, bem como, a elaboração da planilha FMEA que consiste na análise dos modos de falhas e seus efeitos. Além disso, as dificuldades devido ao baixo conhecimento técnico dos operadores do equipamento, bem como, ao curto prazo de implementação da metodologia.

Para os demais modos de falha que obtiveram um fator de risco mais discreto, mas sem diminuir sua importância, pois, qualquer que seja a redução do Risco resultante, irá refletir na disponibilidade do sistema como um todo, tiveram as ações de melhorias por apresentarem fácil detecção, severidade baixa a um custo de manutenção acessível. Para as atividades, no que se refere às responsabilidades do operador, foram acrescentadas à sua rotina de trabalho verificações que acompanham e alimentam o histórico do equipamento e posterior análise em reuniões pelos profissionais da área de manutenção.

Vale destacar que a implementação deste estudo permitiu identificar que, trabalhando de forma organizada e com foco no problema, consegue-se alcançar ganhos para o colaborador e para a empresa, seja do tipo financeiro, intelectual ou social. A aplicação deste estudo também possibilitou o aumento motivacional das pessoas envolvidas, desde o operador ao setor de planejamento de compras de peças de reposição, em que obtiveram um grau de certeza no período de reposição do estoque.

Para pesquisas futuras, sugere-se que esta metodologia seja implementada em outros equipamentos da empresa, levando-se em conta o grau de risco de incêndio. Isso porque esse tipo de empresa possui uma grande preocupação, por se

tratar de produtos altamente inflamáveis, devendo-se incluir o item inflamabilidade no fator de Risco.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, Luiz O. Amaral. **Equipamentos Mecânicos: Análises de Falha e Soluções de Problemas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.
- AIAG. **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): Reference Manual**. 2. ed. Edição QS9000, 1995.
- AL-NAJJAR, B.; ALGABROUN, H. **A Model for Increasing Effectiveness and Profitability of Maintenance Performance: A Case Study**. International Conference on quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering. In World Congress on Engineering Asset Management, 2016:1-7.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO - ABRAMAN. Documento Nacional 2013. **28° Congresso Brasileiro de Manutenção**. Salvador - BA, 2013. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/Arquivos/403/403.pdf> Acesso em: 25 nov. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 37 p.
- BANGHART, M.; BABSKI-REEVES, K.; BIAN, L.; STRAWDERMAN, L. **Subjectivity in Failure Mode Effects Analysis (FMEA) Severity Classification Within a Reliability Centered Maintenance (RCM) Context**. International Journal of Aviation, Aeronautics and Aerospace, 5(1), 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2018.1191>. Acesso em 11 de Março de 2020.
- BARLOW, R. E.; PROSCHAN, F. **Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models To Begin With**. Technometrics, v. 72, n. 304, 1975.
- BASTOS, A. L. A. **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) como ferramenta de prevenção da qualidade em produtos e processos: uma avaliação da aplicação em um processo produtivo de usinagem de engrenagem**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 2006, Fortaleza, **Trabalhos [...]**. Fortaleza: ABEPRO, 2006. p. 1-8.
- BENGTSSON, M. et al. **Handbok för att minska underhållsrelaterade slöserier, Mälardalens högskola**. Eskilstuna: Mälardalens högskola, 2016.
- BERTLING, L.; ALLAN, R.; ERIKSSON, R. **Asset Maintenance Method for Assessing the Impact of Maintenance in Power Distribution Systems**. IEEE Trans Power Syst, n. 20, v. 1, p. 75-82, mar. 2005.
- BIRNBAUM, Z. W. **On the importance of different components in a multicomponent system**. Technical rept, Washington, v. 2, n. 581, mai. 1969.
- BOKRANTZ, J. et al. **On the transformation of maintenance organisations in digitalised manufacturing**. Gothenburg: Department of Product and Production Development, Chalmers University of Technology, 2017.
- BOLAND, P. J.; EL-NEWEIHI, E. **Measures of component importance in reliability theory**. Comput Oper Res, Chicago, v. 22, n. 4, p. 455-463, abr. 1995.

BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

CABRAL, José P. Saraiva. **Organização e Gestão da Manutenção**: dos conceitos à prática. 6. ed. Lisboa: Lidel, 2006.

CAIADO, Rodrigo Goyannes G.; LIMA, Gilson Brito Alves; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. **Aspectos da utilização da manutenção centrada em confiabilidade**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 11., 2015, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: CNEG & INOVARSE, 2015, p. 1-17.

CAROT, V.; SANZ J. **Criticality and sensitivity analysis of the components of a system**. *Reliab Eng Syst Saf*, n. 68, p. 147-152, 2000.

COSTA, D. **Estudo dos Componentes, Mecanismos de Controle e Modelos Probabilísticos de Fiabilidade de Sistemas de Energia**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade da Beira Interior (UBI), 2010.

COTNAREANU, T. **Old tools - new uses**: equipment FMEA. *Quality Progress*, v. 32, n. 12, p. 48-52, 1999.

DAĞSUYU, Cansu et al. **Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit**. *Computers & Industrial Engineering*, v. 101, p. 286-294, nov. 2016.

DEGHANIAN, P. et al. **Critical Component Identification in Reliability Centered Asset Management of Power Distribution Systems Via Fuzzy AHP**. *IEEE Syst J*, n. 6, p. 593-602, 2012.

ELYASI-KOMARI, I. **Analysis of Computer Network Reliability and Criticality: Technique and Features**. *Int J Commun Netw Syst Sci*, n. 4, p. 720-726, 2011.

FATTAHI, R.; KHALILZADEH, M. **Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment**. *Safety Science*, v. 102, p. 290-300, fev. 2018.

FERNÁNDEZ, J.; MÁRQUEZ, A. **Maintenance Management in Network Utilities: Framework and Practical Implementation**. London: Springer, 2012.

FLEMING, P. V. et al. **Considerações sobre a implementação conjunta de TPM e MCC na indústria de processos**. In: Congresso Brasileiro de Manutenção, 12., 1997, São Paulo - SP. **Anais [...]** São Paulo: ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, out. 1997. p. 2.

FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, J. L. Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GUPTA, G.; MISHRA, R.P. Denmark. **Identification of Critical Components using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance**. In: CIRP LIFE CYCLE ENGINEERING (LCE) CONFERENCE, 25th., 2018, Copenhagen. **Anais [...]** Copenhagen: CIRP, abr. 2018.

GARGAMA H.; CHATURVEDI, S. K. **Modelos de avaliação de criticidade para efeitos de modo de falha e análise de criticidade usando lógica difusa**. IEEE Transactions on Reliability, v. 1, n. 60, p. 102-110, 2011.

HAIANY, H. **Reliability Centered Maintenance: Different Implementation Approaches**. Departamento of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. Lulea University of Technology. Lulea – Sweden, 2016.

HAQ, J.; LIPOL, L. S. **Método de análise de risco: FMEA / FMECA nas organizações**. International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS, v. 11, n. 5 p. 74-82, 2011.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de Falhas: Aplicação de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: utilização dos métodos de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Christino Ottoni, 1995.

HILBER, P. **Maintenance Optimization for Power Distribution Systems**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2008.

HIRAYAMA, M. et al. **Comparative risk study of hydrogen and gasoline dispensers for vehicles**. International Journal of Hydrogen Energy, v. 43, p. 12584-12594, 2018.

HO, C.; CHEN, M. **Risk assessment and quality improvement of liquid waste management in Taiwan University chemical laboratories**. Waste Management, v. 71, p. 578-588, 2018.

HUANG, G. Q. et al. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Over the www**. International Journal Advanced Manufacturing Technology, v. 16, n. 8, p. 603-608, 2018.

IATF - International Automotive Task Force. **IATF 16949 Standard, Quality management system for organizations in the automotive industry (IATF 16949:2016)**. Disponível em: <http://www.aiag.org/quality/iatf16949/iatf-16949-2016> Acesso em: 30 jun. 2019.

INTERNATIONAL STANDARIZATION ORGANIZATION. **ISO/TS16949 - Quality Management Systems – Particular requeriments for the application of ISO9001:2000 for automotive and relevant service part organizations**, Switzerland, 2002, 34 p.

JEYAMALA, D. et al. **Fault-prone Components Identification for Real-time Complex systems based on Criticality Analysis**. Int J Comput Sci Informatics, n. 3, p. 17-23, 2013.

KANG, J. et al. **Risk assessment off floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA**. Ocean Engineering, v. 129, p. 382-388, 2017.

KARDEC, Alan; LAFRAIA, J. Ricardo. **Gestão estratégica e confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008.

LESSA, Ana Karina Marques da Cunha; FILHO, Luis Cordeiro de Barros. **Gestão da manutenção na construção civil: o caso da hotelaria no estado de Pernambuco – diagnóstico e proposições**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 19., 2016, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: CNEG & INOVARSE, 2016.

MCLAREN et al. **A review of e-textiles in neurological rehabilitation: How close are we?** J. Neuroeng, Rehabil, v. 13, n. 59, 2016.

MENDES, A. A. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: uma abordagem quantitativa**. Porto Alegre: EDITORA, 2011.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. **Estabelecimento de um Plano de Manutenção Baseado em uma análise Quantitativa no Contexto da MCC em um Cenário de Produção JIT**. Production, v. 24, n. 3, p. 675-686, jul./set. 2014.

MENEZES, G. S.; SANTOS, M.M.N.; CHAVES, G.L.D. **O Pilar Manutenção Planejada da Manutenção Produtiva Total (TPM): Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)**. Revista Industrial, Paraná, v. 11, n. 4, p. 1-35, 2015.

MOSS, M. A. **Designing for minimal maintenance expense: the practical application of reliability**. New York: Marcel Dekker Inc., 1985.

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

MOUBRAY, John. RCM II. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Trad. Kleber Siqueira. Londres: Aladon Ltda, 2000.

NASCIF, Júlio; DORIGO, Luiz Carlos. **Manutenção Orientada para Resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

NASCIMENTO, Júlio C. R. **Plano de Manutenção baseado nos Preceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Processo de Produção de**

Refrigerantes. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

NOWLAN, F. S.; HEAP, H. F. **Reliability centered maintenance.** National Technical Information Service, USA, Report n.AD/A066-579, 1978.

OLIVEIRA, L. F. S.; DINIZ, F. L. B. **Apostila do curso manutenção centrada em confiabilidade** – DNV Principia, Foz do Iguaçu, abr. 2001. 102p. Notas de aula. Impresso.

PALADY, Paul. **FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos:** prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: IMAM, 1997.

PALADY, Paul. **FMEA – análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAN, 1997

PEREIRA, F. J. Didelet; SENA, F. M. Vicente. **Fiabilidade e sua Aplicação à Manutenção.** Portugal: Publindústria, Produção de Comunicação, 2012.

PEREIRA, Mário Jorge. **Engenharia de Manutenção:** Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

PEREIRA, Mário Jorge. **Técnicas Avançadas de Manutenção.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

POPOV, Georgi; LYON, Bruce K.; HOLLICROFT, Bruce. **Risk Assessment: A Practical Guide to Assessing Operational Risks.** [s.l.]: John Wiley & Sons, 2016.

RAMOS, Eliani F. **A gestão de Riscos usando FMEA.** Revista Mundo PM, n. 10, p. 70-85, ago./set. 2006.

RELIASOFT CORPORATION. **Applications and Benefits of FME and XFMEA.** Retrieved from ReliaSoft Corporation for Reliability Software, Training and Consulting Services, 2014. Disponível em: <http://reliasoft.com/xfmea/benefits.htm> Acesso em: 30 jun. 2019.

RELIASOFT CORPORATION. **Reliability Hotwire.** Basic Concepts of FMEA and FMECA, 2018. Disponível em: <http://www.weibull.com/hotwire/issue46/relbasics46.htm> Acesso em: 30 jun. 2019.

RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial:** Material Suporte – BEM. 2016. 115 p. Apostila de aula do Mestrado em Engenharia de Produção – UFRGS.

SANA, M.; SALEEM, U.; FAROOQ, M; QAMAR, A.; BHUTTA, M.; ZAFAR, S. **Identification of Failure Modes on Eletrostatic Chuck Through Reliability Centered Maintenance: A Case Study.** In Pakistan Academy of Sciences 55 (2): 21-32. Jun, 2018. Disponível: [www.ppaspk.org > index.php > ppasa](http://www.ppaspk.org/index.php/ppasa). Acesso em 11 março de 2020.

SELLITTO, M. A. **Formulação Estratégica da Manutenção Industrial com Base na Confiabilidade dos Equipamentos**. Revista Produção, v. 15, n. 1, 2005.

SHARMA, R. K.; SHARMA, P. **System failure behavior and maintenance decision making using, rca, fmea and fm**. Journal of quality in maintenance engineering, v. 1, n. 16, p. 64-88, 2010.

SILVESTRI, A.; FELICE, F.; PETRILLO, A. **Multi-criteria risk analysis to improve safety in manufacturing systems**. Int J Prod Res, n. 50, p. 4806-4821, 2012.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na confiabilidade**: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

SMITH, A.M. **Reliability-centered maintenance**. California-USA: McGraw-Hill, 1992.

SOBRAL, J.; ABREU, A. **Manutenção Produtiva Total e Gestão Lean**: folhas de apoio à unidade curricular. Lisboa: ISEL, 2013.

SPREAFICO, C.; RUSSO, D.; RIZZI, C. **Review article: A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents**. Computer Science Review, n. 19, 2017.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis**: FMEA from theory to execution. Wisconsin: ASQ Quality Press, 1995.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. **MPT – Manutenção Produtiva Total**. 4. ed. São Paulo: Instituto IMAM, 1993.

TANG, Y.; LIU, Q.; JING, J.; YANG, Y.; ZOU, Z. **A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance**. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>. Elsevier, 2016: Acesso em 12 mar de 2020.

USA DEPARTMENT OF DEFENSE. USA Department of Defense – **Procedures for performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. MIL-STD-1629A, Washington, DC, n. 24, nov. 1980.

VERRI, Luiz Alberto. **Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial**: Aplicação Prática. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

WANG, W. et al. **A risk evaluation and prioritization method for FMEA with prospect theory and Choquet integral**. Safety Science, v. 110, pp. 152-163, 1997.

XENOS, Harilauss G. D. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 2. ed. Nova Lima: Falconi, 2014.

XENOS, Harilauss G. D. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG – Tecnologia e Serviços, 2004.

YE, F.; KELLY, T. **Criticality analysis for cots software components**. Proc 22nd Int Syst Saf Conf, 2004.

YLIPÄÄ, T. et al. **Identification of maintenance improvement potential using OEE assessment**. International Journal of Productivity and Performance Management, v. 1, n. 66, p. 126-143, 2017.

APÊNDICE A – APLICAÇÃO DA FMEA AOS SUBCONJUNTOS

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	FUNÇÃO PRIMÁRIA	MODO POTENCIAL DE FALHA	AFEITO POTENCIAL DE FALHA	S	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL DA FALHA	O	VERIFICAÇÃO	D	R
SISTEMA DE CORTE 1	LÂMINA DE CORTE	Corte material	Rompimento ou desgaste	parada de corte/falha no acabamento	5	Operacional	Desalinhamento/Má qualidade material/desgaste	8,5	TOMADA DE DADOS PROFISSIONAL DA ÁREA E VISUAL	3	127,5
	AFIADOR DE LÂMINA	afiar em ângulo	Falta ajuste/folga dos rolos	Espuma rasgada/falha no acabamento	6	Operacional	Desalinhamento/Má qualidade material/desgaste	8,5		2	102
	ROLAMENTO	reduzir atrito	Vibração/quebra	Corte imperfeito do material	5	Operacional	Falta lubrificação/desalinhamento	5		3	75
	MOTOR ELÉTRICO1	Movimento ao sistema	Sem alimentação/Queimada	Sem movimento ao sistema de corte	5	Operacional	Sobrecarga/desalinhamento	3		5	75
	CORREIAS DE TRANSP. CABEÇOTE	Transmitir movimento sincronizado	Rompimento ou desgaste	Impossibilidade de ajuste de altura de corte	8	Operacional	Desalinhamento/Má qualidade material/desgaste/vibração	3		2	48
MESA DE MOVIMENTAÇÃO 2	CAIXA DE REDUÇÃO1	Movimento de rotação reduzido e uniforme ao sistema	Quebra/folga/desalinhamento	Mesa sem movimento	6	Operacional	Falta lubrificação/desalinhamento	1	TOMADA DE DADOS PROFISSIONAL DA ÁREA	2	12
	MOTOR ELÉTRICO2	Movimento de correias	Sem alimentação/Queimada	Mesa sem movimento	6	Operacional	Sobrecarga/desalinhamento/curto entre fases	1		6	36
SISTEMA DE FRENAGEM 3	PNEU DE BORRACHA	Movimentar a mesa	Desgaste/perda de pressão	Dificuldade no controle de movimento	6	Operacional	Aproximação excessiva/Má qualidade do material	1	VISUAL	2	12
	DISCO/PASTILHA	Impede o movimento da mesa	Desgaste/quebra	Impossibilidade de parada da mesa	7	Operacional	Aproximação excessiva/Má qualidade do material	1		2	14
	PISTÃO PNEUMÁTICO	Aciona as pastilhas ao disco	Vazamento de ar/danos aos reparos	Sistema sem frenagem	6	Operacional	Qualidade reparos/desgastes	3,5		3	63

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	FUNÇÃO PRIMÁRIA	MODO POTENCIAL DE FALHA	AFEITO POTENCIAL DE FALHA	S	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL DA FALHA	O	VERIFICAÇÃO	D	R
	MANCAL2	Apoio ao eixo do sistema	Desgaste/quebra	Desalinhamento e sem rotação eixo	8	Operacional	Falta lubrificação/sobrecarga	1		4	32
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	DIJUNTOR DE CARGA	Sistema de proteção	Queima/quebra	Risco de sobrecarga ao sistema elétrico	6	Operacional	Dimensionamento/curto entre fases	3,5	TOMADA DE DADOS PELO PROFISSIONAL DA ÁREA	3	63
	INVERSOR	Direciona movimento motor	Oxidação/Sobrecarga	Perda de inversão de frequência	6	Operacional	Dimens./curto entre fases/má qualidade peça	4		3	72
	SENSOR1	Fim de curso	Embaçado/umidade e/quebra	Perda de limite de percurso do movimento	5	Operacional	Impacto/umidade/sujidade(óleo, poeira)	1		3	15
	CONTACTORA	Interrompe ou aciona comando	Oxidação/Sobrecarga	Falta de contato elétrico	6	Operacional	Curto entre fases/Umidade/voláteis corrosivos	1		8	48
	RELÉ TÉRMICO DE PROTEÇÃO	Detecta sobrecarga	Queima	Risco de sobrecarga ao sistema elétrico	7	Operacional	Dimensionamento/má qualidade peça	1		8	56
	RELÉ DE SEGURANÇA	Desarma sistema ao ser acionado	Queima	Risco de acidente se o sistema não desligar	7	Operacional	Umidade/má qualidade peça	2		5	70
	SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	PISTOLA	Possibilita e direciona a impressão	Vazamento de produto e ou ar	Impressão impossibilitada	6	Operacional	Sujidade/ajuste		1	VISUAL
SENSOR2		Identifica o local de impressão	Embaçado/umidade e/quebra	Não aciona o comando elétrico	5	Operacional	Impacto/umidade/sujidade(óleo, poeira)	2	4	40	
SISTEMA PNEUMÁTICO		Aciona o sistema de pintura	Vazamento/sujeira no sistema	Falta de pressão e ou impossibilidade de impressão	6	Operacional	Desgaste/sujidade/umidade	1	3	18	

APÊNDICE B – RANKING DE RISCO RESULTANTE DO MODO DE FALHA

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	AFEITO POTENCIAL DE FALHA	S	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL DA FALHA	O	D	R
SISTEMA DE CORTE 1	LÂMINA DE CORTE	Rompimento ou desgaste	parada de corte/falha no acabamento	5	Operacional	Desalinhamento/Má qualidade material/desgaste	8,5	3	127,5
SISTEMA DE CORTE 1	AFIADOR DE LÂMINA	Falta ajuste/folga dos rolos	Espuma rasgada/falha no acabamento	6	Operacional	Desalinhamento/Má qualidade material/desgaste	8,5	2	102
SISTEMA DE CORTE 1	ROLAMENTO	Vibração/quebra	Corte imperfeito do material	5	Operacional	Falta lubrificação/desalinhamento	5	3	75
SISTEMA DE CORTE 1	MOTOR ELÉTRICO1	Sem alimentação/Queima	Sem movimento ao sistema de corte	5	Operacional	Sobrecarga/desalinhamento	3	5	75
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	INVERSOR	Oxidação/Sobrecarga	Perda de inversão de frequência	6	Operacional	Dimens./curto entre fases/má qualidade peça	4	3	72
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	RELÉ DE SEGURANÇA	Queima	Risco de acidente se o sistema não desligar	7	Operacional	Umidade/má qualidade peça	2	5	70
SISTEMA DE FRENAGEM 3	PISTÃO PNEUMÁTICO	Vazamento de ar/danos aos reparos	Sistema sem frenagem	6	Operacional	Qualidade reparos/desgastes	3,5	3	63

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	AFEITO POTENCIAL DE FALHA	S	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL DA FALHA	O	D	R
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	DISJUNTOR DE CARGA	Queima/quebra	Risco de sobrecarga ao sistema elétrico	6	Operacional	Dimensionamento/curto entre fases	3,5	3	63
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	RELÉ TÉRMICO DE PROTEÇÃO	Queima	Risco de sobrecarga ao sistema elétrico	7	Operacional	Dimensionamento/má qualidade peça	1	8	56
SISTEMA DE CORTE 1	CORREIAS DE TRANSP. CABEÇOTE	Rompimento ou desgaste	Impossibilidade de ajuste de altura de corte	8	Operacional	Desalinhamento/Má qualidade material/desgaste/vibração	3	2	48
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	CONTACTORA	Oxidação/Sobrecarga	Falta de contato elétrico	6	Operacional	Curto entre fases/Umididade/voláteis corrosivos	1	8	48
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	SENSOR2	Embaçado/umidade/quebra	Não aciona o comando elétrico	5	Operacional	Impacto/umidade/Sujidade de(óleo, poeira)	2	4	40
MESA DE MOVIMENTAÇÃO 2	MOTOR ELÉTRICO2	Sem alimentação/Queima	Mesa sem movimento	6	Operacional	Sobrecarga/desalinhamento/curto entre fases	1	6	36
SISTEMA DE FRENAGEM 3	MANCAL2	Desgaste/quebra	Desalinhamento e sem rotação eixo	8	Operacional	Falta lubrificação/sobrecarga	1	4	32
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	PISTOLA	Vazamento de produto e ou ar	Impressão impossibilitada	6	Operacional	Sujidade/ajuste	1	3	18

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	AFEITO POTENCIAL DE FALHA	S	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL DA FALHA	O	D	R
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	SISTEMA PNEUMÁTICO	Vazamento/sujeira no sistema	Falta de pressão e ou impossibilidade de impressão	6	Operacional	Desgaste/sujidade/umidade	1	3	18
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	SENSOR1	Embaçado/umidade/quebra	Perda de limite de percurso do movimento	5	Operacional	Impacto/umidade/Sujidade (óleo, poeira)	1	3	15
SISTEMA DE FRENAGEM 3	DISCO/PASTILHA	Desgaste/quebra	Impossibilidade de parada da mesa	7	Operacional	Aproximação excessiva/Má qualidade do material	1	2	14
MESA DE MOVIMENTAÇÃO 2	CAIXA DE REDUÇÃO1	Quebra/folga/desalinhamento	Mesa sem movimento	6	Operacional	Falta lubrificação/desalinhamento	1	2	12
SISTEMA DE FRENAGEM 3	PNEU DE BORRACHA	Desgaste/perda de pressão	Dificuldade no controle de movimento	6	Operacional	Aproximação excessiva/Má qualidade do material	1	2	12

APÊNDICE C – PLANILHA FMEA COM AÇÕES RECOMENDADAS PARA A MANUTENÇÃO

AÇÕES RECOMENDADAS PARA O PLANO DE MANUTENÇÃO									NOVO CENÁRIO PÓS PROGRAMA MCC			
CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	TIPO MANUTENÇÃO	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'
SISTEMA DE CORTE 1	LÂMINA DE CORTE	Rompimento ou desgaste	127,5	Monitorar possíveis trincas, desgaste e deformações na lâmina	Preditiva com substituição programada	Verificação ao intervalo de cada Bloco, Inspeção visual	Operador	Na constatação de trincas pedir acompanhamento técnico	5	7,5	2	75
	AFIADOR DE LÂMINA	Falta ajuste/folga dos rolos	102	Monitorar possíveis folgas, desgaste e falta de alinhamento dos rolos	Preditiva com substituição programada	Verificação ao intervalo de cada Bloco, Inspeção visual	Operador	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	5	2	60
	ROLAMENTO	Vibração/quebra	75	Monitorar vibração via terceirizado	Preditiva com substituição programada	Manutenção Preventiva, troca de rolamentos a cada 3 meses	Técnico Mecânico	Utilizar lubrificante adequado	5	4	3	60

AÇÕES RECOMENDADAS PARA O PLANO DE MANUTENÇÃO

NOVO CENÁRIO
PÓS PROGRAMA
MCC

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	TIPO MANUTENÇÃO	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'
	MOTOR ELÉTRICO1	Sem alimentação/ Queima	75	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Preditiva, substituição com base na condição	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	5	2	4	40
	CORREIAS DE TRANSP. CABEÇOTE	Rompimento ou desgaste	48	Manter alinhamento, tensão adequada e ambiente limpo	Preventiva, com substituição programada	Preventiva a cada 45 dias	Operador	Qualquer anomalia manter técnico informado	8	2	2	32
MESA DE MOVIMENTAÇÃO 2	CAIXA DE REDUÇÃO1	Quebra/folga/desalinhamen to	12	Lubrificação, reaperto e alinhamento de eixo e polias	Preditiva, substituição com base na condição	Preventiva, Monitorar vibração e imagens termográficas Mensais	Técnico Mecânico	Utilizar lubrificante adequado	6	1	2	12
	MOTOR ELÉTRICO2	Sem alimentação/ Queima	36	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Preditiva, substituição com base na condição	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	1	6	36

AÇÕES RECOMENDADAS PARA O PLANO DE MANUTENÇÃO

NOVO CENÁRIO
PÓS PROGRAMA
MCC

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	TIPO MANUTENÇÃO	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'
SISTEMA DE FRENAGEM 3	PNEU DE BORRACHA	Desgaste/perda de pressão	12	Monitorar calibração	Preditiva, substituição com base na condição	Preventiva, monitorar calibração e desgaste semanalmente	Operador	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	1	2	12
	DISCO/PASTILHA	Desgaste/quebra	14	Monitorar possíveis trincas, desgaste e deformações	Preditiva, substituição com base na condição	Preventiva, monitorar semanalmente o desgaste e trocar se necessário	Operador	Qualquer anomalia manter técnico informado	7	1	2	14
	PISTÃO PNEUMÁTICO	Vazamento de ar/danos aos reparos	63	Verificar perda de ar comprimido ou leve perda de função	Preditiva, substituição com base na condição	Preventiva, monitorar diariamente vazamentos e trocar se necessário	Operador	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	2,5	3	45
	MANCAL2	Desgaste/quebra	32	Lubrificação, reaperto e alinhamento de eixo e polias	Preditiva, substituição com base na condição	Preventiva, Monitorar vibração e imagens termográficas Mensais	Técnico Mecânico	Utilizar lubrificante adequado	8	1	4	32

AÇÕES RECOMENDADAS PARA O PLANO DE MANUTENÇÃO

NOVO CENÁRIO
PÓS PROGRAMA
MCC

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	TIPO MANUTENÇÃO	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	DIJUNTOR DE CARGA	Queima/quebra	63	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Preditiva, substituição com base na condição	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	7	2	3	42
	INVERSOR	Oxidação/Sobrecarga	72	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Preditiva, substituição com base na condição	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	3	3	54
	SENSOR1	Embaçado/umidade/quebra	15	Manter limpeza do equipamento/Melhorar a fixação do sensor	Corretiva, substituir após falhar	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	5	1	3	15
	CONTACTORA	Oxidação/Sobrecarga	48	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Preditiva, substituição com base na condição	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	1	6	36

AÇÕES RECOMENDADAS PARA O PLANO DE MANUTENÇÃO

NOVO CENÁRIO
PÓS PROGRAMA
MCC

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	TIPO MANUTENÇÃO	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'
	RELÉ TÉRMICO DE PROTEÇÃO	Queima	56	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Preditiva, substituição com base na condição	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	7	1	6	42
	RELÉ DE SEGURANÇA	Queima	70	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Preditiva, substituição com base na condição	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	7	2	4	56
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	PISTOLA	Vazamento de produto e ou ar	18	Limpeza programada	Preventiva	Preventiva, com limpeza mensal	Técnico Mecânico	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	1	3	18
	SENSOR2	Embaçado/umidade/quebra	40	Manter limpeza do equipamento/Melhorar a fixação do sensor	Corretiva, substituir após falhar	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	Qualquer anomalia manter técnico informado	5	2	4	40

AÇÕES RECOMENDADAS PARA O PLANO DE MANUTENÇÃO

NOVO CENÁRIO
PÓS PROGRAMA
MCC

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	TIPO MANUTENÇÃO	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	AÇÃO RECOMENDADA	S	O	D	R'
	SISTEMA PNEUMÁTICO	Vazamento/sujeira no sistema	18	Verificar perda de ar comprimido ou leve perda de função	Preditiva, substituição com base na condição	Preventiva, monitorar diariamente vazamentos e trocar se necessário	Operador	Qualquer anomalia manter técnico informado	6	1	3	18

APÊNDICE D – RANKING DO RISCO RESULTANTE DA PLANILHA FMEA COM AÇÕES RECOMENDADAS PARA A MANUTENÇÃO

NOVAS ATIVIDADES NO PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO							NOVO CENÁRIO PÓS PROGRAMA MCC			
CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	S	O	D	R'
SISTEMA DE CORTE 1	LÂMINA DE CORTE	Rompimento ou desgaste	127,5	Monitorar possíveis trincas, desgaste e deformações na lâmina	Verificação ao intervalo de cada Bloco, Inspeção visual	Operador	5	7,5	2	75
SISTEMA DE CORTE 1	AFIADOR DE LÂMINA	Falta ajuste/folga dos rolos	102	Monitorar possíveis folgas, desgaste e falta de alinhamento dos rolos	Verificação ao intervalo de cada Bloco, Inspeção visual	Operador	6	5	2	60
SISTEMA DE CORTE 1	ROLAMENTO	Vibração/quebra	75	Monitorar vibração via terceirizado	Manutenção Preventiva, troca de rolamentos a cada 3 meses	Técnico Mecânico	5	4	3	60
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	RELÉ DE SEGURANÇA	Queima	70	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	7	2	4	56

NOVAS ATIVIDADES NO PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO							NOVO CENÁRIO PÓS PROGRAMA MCC			
CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	S	O	D	R'
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	INVERSOR	Oxidação/Sobrecarga	72	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	6	3	3	54
SISTEMA DE FRENAGEM 3	PISTÃO PNEUMÁTICO	Vazamento de ar/danos aos reparos	63	Verificar perda de ar comprimido ou leve perda de função	Preventiva, monitorar diariamente vazamentos e trocar se necessário	Operador	6	2,5	3	45
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	DIJUNTOR DE CARGA	Queima/quebra	63	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	7	2	3	42
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	RELÉ TÉRMICO DE PROTEÇÃO	Queima	56	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	7	1	6	42
SISTEMA DE CORTE 1	MOTOR ELÉTRICO1	Sem alimentação/Queima	75	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	5	2	4	40

NOVAS ATIVIDADES NO PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO							NOVO CENÁRIO PÓS PROGRAMA MCC			
CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	S	O	D	R'
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	SENSOR2	Embaçado/umidade/quebra	40	Manter limpeza do equipamento/Melhorar a fixação do sensor	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	5	2	4	40
MESA DE MOVIMENTAÇÃO 2	MOTOR ELÉTRICO2	Sem alimentação/Queima	36	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	6	1	6	36
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	CONTACTORA	Oxidação/Sobrecarga	48	Monitorar sobre carga elétrica, Monitoramento termográfico	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	6	1	6	36
SISTEMA DE CORTE 1	CORREIAS DE TRANSP. CABEÇOTE	Rompimento ou desgaste	48	Manter alinhamento, tensão adequada e ambiente limpo	Preventiva a cada 45 dias	Operador	8	2	2	32
SISTEMA DE FRENAGEM 3	MANCAL2	Desgaste/quebra	32	Lubrificação, reaperto e alinhamento de eixo e polias	Preventiva, Monitorar vibração e imagens termográficas Mensais	Técnico Mecânico	8	1	4	32

NOVAS ATIVIDADES NO PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO							NOVO CENÁRIO PÓS PROGRAMA MCC			
CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	S	O	D	R'
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	PISTOLA	Vazamento de produto e ou ar	18	Limpeza programada	Preventiva, com limpeza mensal	Técnico Mecânico	6	1	3	18
SISTEMA DE IMPRESSÃO 5	SISTEMA PNEUMÁTICO	Vazamento/sujeira no sistema	18	Verificar perda de ar comprimido ou leve perda de função	Preventiva, monitorar diariamente vazamentos e trocar se necessário	Operador	6	1	3	18
PAINEL ELETROELETRÔNICO 4	SENSOR1	Embaçado/umidade/quebra	15	Manter limpeza do equipamento/Melhorar a fixação do sensor	Inspeção elétrica mensal com imagem termográfica	Eletrotécnico	5	1	3	15
SISTEMA DE FRENAGEM 3	DISCO/PASTILHA	Desgaste/quebra	14	Monitorar possíveis trincas, desgaste e deformações	Preventiva, monitorar semanalmente o desgaste e trocar se necessário	Operador	7	1	2	14
MESA DE MOVIMENTAÇÃO 2	CAIXA DE REDUÇÃO1	Quebra/folga/desalinhamento	12	Lubrificação, reaperto e alinhamento de eixo e polias	Preventiva, Monitorar vibração e imagens termográficas Mensais	Técnico Mecânico	6	1	2	12

NOVAS ATIVIDADES NO PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO							NOVO CENÁRIO PÓS PROGRAMA MCC			
CONJUNTO	SUBCONJUNTO	MODO POTENCIAL DE FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	AÇÃO/FREQUÊNCIA	RESPONSABILIDADE	S	O	D	R'
SISTEMA DE FRENAGEM 3	PNEU DE BORRACHA	Desgaste/perda de pressão	12	Monitorar calibração	Preventiva, monitorar calibração e desgaste semanalmente	Operador	6	1	2	12