



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

AURÉLIO MACIANO DOS SANTOS MACIEL

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS FTA E FMEA COMO SUPORTE PARA
A GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM IMPRESSORAS DE TEXTURA: UM
ESTUDO DE CASO**

**SUMÉ - PB
2019**

AURÉLIO MACIANO DOS SANTOS MACIEL

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS FTA E FMEA COMO SUPORTE PARA
A GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM IMPRESSORAS DE TEXTURA: UM
ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.

**SUMÉ - PB
2019**



M152a Maciel, Aurélio Maciano dos Santos.
Aplicação das ferramentas FTA e FMEA como suporte para a gestão da manutenção em impressoras de textura: um estudo de caso. / Aurelio Maciano dos Santos Maciel. - 2019.

41 f.

Orientadora: Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Gestão da manutenção. 2. Manutenção de impressoras de textura. 3. Impressoras de textura - manutenção. 4. Ferramenta FTA. 5. Ferramenta FMEA. 6. Estudo de caso. 7. 5W1H. 8. FMEA - Failure Mode and Effect Analysis. I. Pereira, Fernanda Raquel Roberto. II. Araújo, Maria Creuza Borges de. III. Título.

CDU: 62.7(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

AURÉLIO MACIANO DOS SANTOS MACIEL

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS FTA E FMEA COMO SUPORTE PARA
A GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM IMPRESSORAS DE TEXTURA: UM
ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA:

**Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.
Orientadora - UAEP/CDSA/UFCG**

**Professora Dr. Rômulo Augusto Ventura Silva.
Examinador I - UAEP/CDSA/UFCG**

**Professora Ma. Fernanda Raquel Roberto Pereira.
Examinador II - UAEP/CDSA/UFCG**

Trabalho Aprovado em: 13 de dezembro de 2019.

SUMÉ - PB

Dedico esse trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram em tudo, sonharam comigo e nunca me deixaram desistir. Aos meus irmãos que de certa forma contribuíram para que esse sonho fosse concretizado

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me sustentando todos os dias e que me mostrou que estava comigo nos momentos em que pensei estar só.

Agradeço de uma maneira muito especial aos meus pais, Fátima e José, pela educação que me deram e por lutarem comigo para que esse sonho fosse realizado, em especial, a minha mãe, a quem é a razão maior para a realização desse sonho, esse sonho é nosso, obrigado por ser a melhor conselheira e manter minha fé em dias melhores. Te amo!

Aos meus familiares, em especial minha família materna, que é minha base, aos meus irmãos Flávio e Junior, por partilharem desse meu sonho e cuidar de tudo, enquanto estava longe. Aos meus sobrinhos e sobrinha, por todo carinho para comigo, em especial, a Miguel que consegue ser em inúmeros aspectos parecido comigo. Amo muito vocês.

Aos meus amigos de jornada, que fiz durante esse longo período. Em especial, ao MUDMMA, a quem devo metade do meu diploma, sem vocês, isso tudo não teria sentido. Aos irmãos com quem compartilhei a mesma casa, durante todo o curso, e pude aprender ensinamentos dos quais jamais esquecerei.

Por fim, em especial, a minha orientadora, Maria Creuza Borges de Araújo, pela paciência e compromisso.

A todo corpo docente da UFCG, por todo conhecimento adquirido ao longo dos anos.

A todas as pessoas que de alguma forma estiveram presentes e me ajudaram, direta e indiretamente, o meu muito obrigado.

*“O campo da derrota não está povoado de fracassos,
mas de homens que tombaram antes de vencer”*

Abraham Lincoln

RESUMO

A utilização de ferramentas que permitam organizar o processo produtivo e ter eficiência em todas as etapas é um fator competitivo para as organizações atuais, neste sentido, ferramentas como a FTA (Análise da Árvore de Falhas) e o FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas) são exemplos de auxílio de desempenho em maquinários. Assim, este trabalho propõe uma abordagem sobre gestão da manutenção e o uso de ferramentas como auxílio em uma fábrica do setor moveleiro. O objetivo deste estudo de caso foi determinar ações que minimizem ou eliminem modos de falha em potencial em uma das linhas em operação da empresa com o auxílio das ferramentas da gestão da manutenção e capacitar o operador para implementar a manutenção autônoma. Deste modo, a realização do presente estudo de caso proporciona um maior controle e participação dos operadores envolvidos nas atividades, maior conhecimento das falhas potenciais e dos seus componentes críticos, além de mudar a ótica quanto a importância da gestão da manutenção nos dias atuais e frente às crescentes exigências do mercado.

Palavras-chaves: gestão da manutenção; FMEA; FTA; setor moveleiro.

ABSTRACT

The use of tools to organize the production process and have efficiency at all stages is a competitive factor for today's organizations, in this sense, tools such as FTA (Fault Tree Analysis) and FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).) are examples of performance assistance in machinery. Thus, this work proposes an approach to maintenance management and the use of tools as an aid in a furniture industry factory. The purpose of this case study was to determine actions that minimize or eliminate potential failure modes on one of the company's operating lines. Thus, conducting this case study provides greater control and participation of the operators involved in the activities, as well as changing the view on the importance of maintenance management in the present day and facing the growing demands of the market.

Keywords: maintenance management; FMEA; FTA; furniture industry.

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1	- Caracterização da pesquisa.....	15
Fluxograma 2	- Etapas da pesquisa.....	17
Fluxograma 3	- Aspectos da manutenção.....	19
Fluxograma 4	- Exemplo de árvore de falha.....	27
Fluxograma 5	- Processo de pintura.....	37
Fluxograma 6	- Árvore de falhas marcação do rolo da pintura.....	39
Fluxograma 7	- Árvore de falhas do descarrilamento dos trilhos da pintura.....	40
Fluxograma 8	- Árvore de falhas do lixamento inadequado.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	-	Crescimento das expectativas da manutenção.....	20
Quadro 2	-	Simbologias do FTA.....	28
Quadro 3	-	Valor estimado para cálculo de NPR.....	41
Quadro 4	-	5W1H.....	42
Quadro 5	-	Procedimentos de segurança.....	43
Quadro 6	-	Escala de nível de conhecimento sobre a ferramenta.....	44
Quadro 7	-	Machine Ledger para impressora de textura.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.3	JUSTIFICATIVA.....	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2	METODOLOGIA.....	15
2.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	15
2.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	GESTÃO DE MANUTENÇÃO.....	18
3.2	PROCESSO EVOLUTIVO DA MANUTENÇÃO.....	19
3.2.1	Primeira Geração.....	20
3.2.2	Segunda Geração.....	21
3.2.3	Terceira Geração.....	21
3.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	22
3.3.1	Manutenção Corretiva.....	22
3.3.2	Manutenção Preventiva.....	23
3.3.3	Manutenção Preditiva.....	24
3.3.4	Manutenção Proativa.....	25
3.3.5	Manutenção Detectiva.....	25
3.4	ANÁLISES DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA) E ANÁLISE DE ÁRVORES DE FALHA (FTA).....	26
3.4.1	Análise de Árvores de Falha (FTA).....	27
3.4.2	Análises dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA).....	29
3.4.2.1	<i>Ocorrência (O).....</i>	29
3.4.2.2	<i>Severidade (S).....</i>	30
3.4.2.3	<i>Detecção (D).....</i>	31
3.4.2.4	<i>Número de Prioridade de Risco (NPR).....</i>	32
3.4.3	Análise 5W1H.....	33
3.4.4	Manutenção Autônoma.....	34
3.4.5	Machine Ledger.....	34
4	ESTUDO DE CASO.....	35
4.1	CARACTERÍSTICA DA EMPRESA.....	35
4.2	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA.....	36
4.2.1	Detalhamento da Impressora de Textura.....	36
4.3	ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA).....	38
4.4	ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA).....	41
4.5	APLICAÇÃO DO 5W1H.....	42
4.6	PLANO DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO.....	43
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	APÊNDICE.....	53

1 INTRODUÇÃO

Com o grande avanço tecnológico, as organizações têm inovado e buscado ferramentas que elevem seu padrão de qualidade e produtividade. Assim, o uso da mecanização tem aumentado os resultados de forma significativa em todos os aspectos, de contrapartida, tem uma maior dependência por manutenção, o que pode ser fator decisivo para todo o processo, visto que a harmonização da produção mecanizada com uma gestão da manutenção consciente se consegue alcançar patamares maiores na produtividade, confiabilidade e lucratividade, fatores estes importantes também para indústria moveleira.

No contexto industrial brasileiro, o segmento de móveis é constituído por 22.482 empresas, o qual se concentra, principalmente, em cinco estados: São Paulo (18,5%). Paraná (13,93%). Minas Gerais (13,76%). Rio Grande do Sul (13,33%) e Santa Catarina (12,45%) (FIEP, 2017).

Neste cenário, é preciso que a atividade de manutenção se integre de maneira eficaz ao processo produtivo, contribuindo para que a empresa caminhe rumo a excelência. A grande interseção do setor de manutenção com o de produção, influenciando diretamente a qualidade e produtividade, faz com que o mesmo desempenhe um papel estratégico fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros dos negócios (XENOS, 1998). Em outras palavras, a manutenção deixa de ser apenas uma atividade que repara o maquinário depois de quebrado e parado, para ser uma função que sempre vai exigir o máximo funcionamento do equipamento e sem falhas indesejadas, que possam parar a produção. Ela deixa de ser atividade para se tornar uma função estratégica da empresa, que, com uma boa execução, estará ligada diretamente com a lucratividade da empresa.

Para Tavares (1999), os gestores de manutenção devem ter uma ampla visão e atuação sistêmica dentro das suas instituições, de modo que a diversidade de modelos e diversificações no planejamento e manutenção seja tão útil para a máquina quanto para o lucro da empresa. E continua a manutenção e suas ferramentas, tidas como função estratégica, respondem diretamente a disponibilidade e confiabilidade dos ativos físicos e qualidade dos produtos finais.

Manto (2014) avaliou a implantação da metodologia de Manutenção Produtiva Total (TPM) para melhorar a gestão da manutenção de máquinas e equipamentos. Os resultados mostraram uma mudança no comportamento das pessoas, independente da área de atuação com envolvimento e controle através da ferramenta TPM, mostrando o caminho a ser seguido no

momento da falha do equipamento. A ferramenta ajuda na organização das tarefas e dá suporte a manutenção, reduzindo os custos gerais no concerto do maquinário.

Dentre as ferramentas para apoio à gestão de manutenção está a Árvore de Falha, do inglês *Fault Tree Analysis* (FTA), que segundo Pinto e Xavier (2007) trata-se de uma análise dedutiva, com abordagem *top-down*, onde o diagrama permite detalhar uma falha em sucessíveis níveis. A Análise de Modo de Falha e Efeitos, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) visa identificar todos os possíveis modos potenciais de falhas e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do processo (LAFRAIA, 2001; PALADY, 2004), permitindo conhecer todos os subsistemas dos equipamentos ou máquinas e suas possíveis falhas. Em sequência, proporciona também sugerir uma ação recomendada para as causas eventuais impossibilitando avarias e interrupções.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise dos modos de falha e seus efeitos em uma impressora de textura, utilizando a ferramenta FMEA com o auxílio do FTA. Espera-se que esta análise se configure em um banco de dados sobre falhas potencialmente encontradas e que possa ajudar no direcionamento das atividades de manutenção preventiva neste equipamento, bem como apoiar a fase de manutenção autônoma, visando evitar os mecanismos que provocam falhas com a percepção do operador.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um plano de gestão da manutenção, com base na Árvore de Falha (FTA), Análise de Modo de Falha e Efeitos (FMEA) para uma impressora de textura de móveis localizada em uma empresa da cidade de Pesqueira-PE.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os itens constituintes das impressoras de texturas de móveis;
- Construir a FTA para a impressora de textura, a fim de identificar as causas básicas das falhas;
- Propor a FMEA para a impressora de texturas;
- Propor um plano de manutenção adequado auxiliado pelo 5W1H e o Machine Ledger

1.3 JUSTIFICATIVA

A falta da execução de um plano de manutenção em quaisquer máquinas que exercem trabalhos importantes pode levar o equipamento à queda da produtividade e ainda ocasionar paradas inesperadas por quebras ou falhas de componentes. Para Moubrey (1997), a manutenção tem procurado novos modos de pensar, técnicos e administrativos, considerando as novas exigências de mercado tornaram concretas as limitações dos atuais sistemas de gestão.

A atividade de fabricação de móveis ao longo do tempo deixou de ser uma atividade artesanal e passou a ser uma atividade totalmente mecanizada. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de móveis no país alcançou uma variação acumulada dos últimos 12 meses igual a 2,9% em outubro de 2019 (IBGE, 2019). Este setor, que se destaca pelas exportações, também conta com empresas que abastecem o mercado interno, atendendo a demanda local.

Tornar reconhecido o potencial da manutenção como um elemento importante para obtenção de resultados, explorando os potenciais da agregação de valor da manutenção para proporcionar um maior desempenho de todos os componentes do sistema, sem que haja falhas indesejáveis. Assim Tovar (2017) afirma que a disponibilidade deve ser mantida com o emprego das políticas de manutenção, que tenha como objetivo se antecipar à ocorrência da falha, ou seja, deve-se empregar preferencialmente práticas preventivas e/ou preditivas.

Diante disto, este estudo mostrou-se relevante como proposta de identificar falhas potenciais, níveis de criticidade e severidade na linha de pintura, com intuito de reduzir a quantidade de peças retrabalhadas, bem como a quantidade descartada, visto que esta é a etapa mais importante da fabricação, e a que demanda mais recursos, portanto qualquer iniciativa para minimizar falhas é de grande importância.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está desenvolvido em cinco partes, o capítulo 1 representa a introdução, que apresenta a contextualização da indústria de móveis no Brasil e a importância de uma gestão de manutenção. Neste capítulo, são apresentados ainda os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

No capítulo 2, está presente uma revisão metodológica, retratando a caracterização da pesquisa quanto a sua natureza, abordagem, objetivos e procedimento. Já no capítulo 3, encontram-se o referencial teórico, que engloba os conceitos fundamentais da gestão da manutenção (FTA, FMEA, 5W1H e *Machine Ledger*) e as suas relações.

No capítulo 4, está apresentado o estudo de caso: a descrição da empresa, processo de pintura, análise das problemáticas e detalhamento do maquinário. Estão relatados os resultados decorrentes a elaboração das Árvores de Falhas, aplicação do formulário FMEA e 5W1H para as questões encontradas. Logo após, expõe estruturação o plano de manutenção para da máquina e componentes.

Finalmente, no capítulo 5, estão apresentadas as conclusões do estudo, conferindo as considerações finais sobre a gestão de manutenção baseada nas ferramentas aplicas neste estudo de caso.

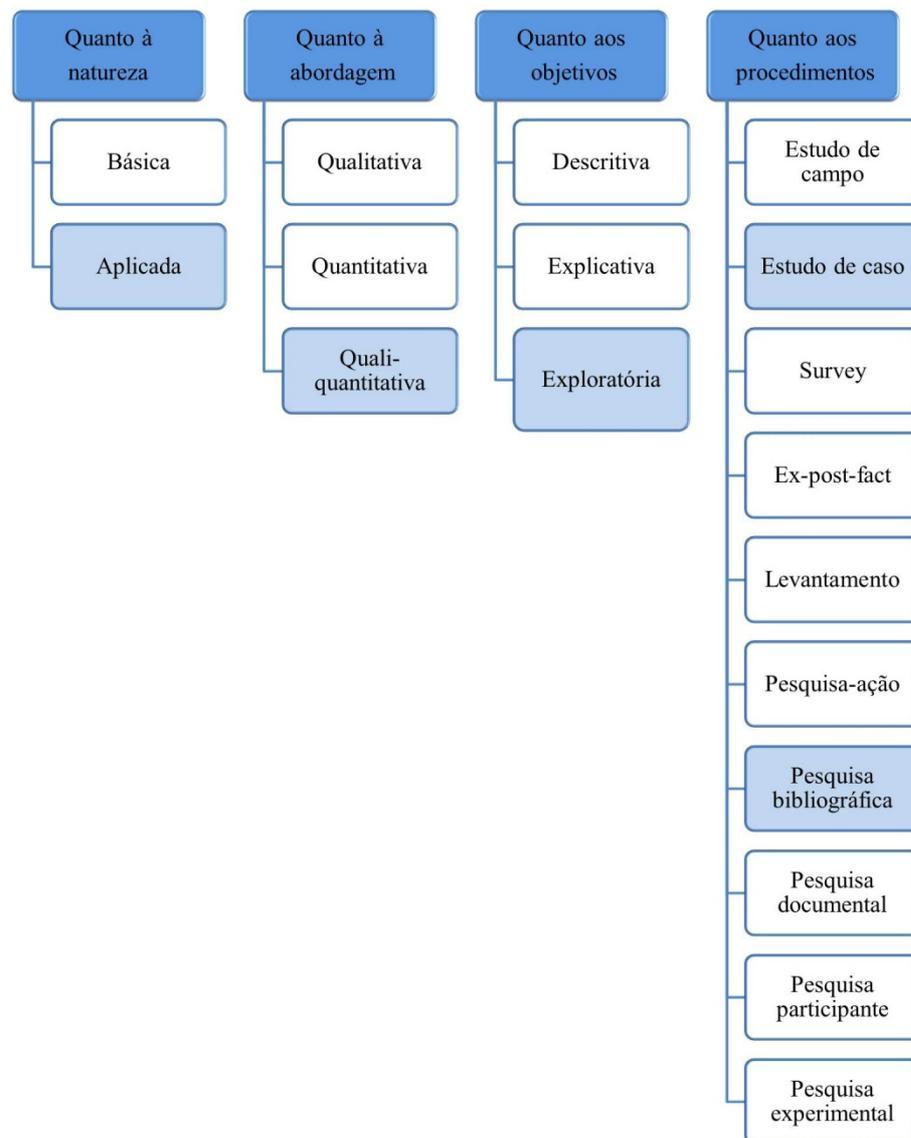
2 METODOLOGIA

Esta seção expõe como a caracterização do estudo quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. Em seguida, apresentam-se as etapas realizadas para o prosseguimento da pesquisa.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa pode ser caracterizada segundo a sua natureza, abordagem, objetivo e seus procedimentos, conforme o Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Caracterização da pesquisa.



Fonte: Autor (2019).

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como aplicada ou básica. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, que envolvendo verdades e interesses locais. Desse modo, este estudo possui natureza aplicada, dado que será construída uma tabela, com base no FMEA, para identificar falhas potenciais na impressora de textura e propor soluções para as mesmas, a fim de realizar uma gestão da manutenção adequada.

A respeito de sua abordagem, a pesquisa pode ser classificada como qualitativa, quantitativa, e quali-quantitativa. Como descreve Deslaureeis (1991), a pesquisa qualitativa tem como objetivo produzir informações aprofundadas e ilustrativas, capazes de produzir novas informações, já Fonseca (2002) define a pesquisa quantitativa como aquela que centra na objetividade, que usa a linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno. O autor ainda ressalta que a união destas permite recolher mais informações do que poderia conseguir isoladamente. Desse modo, este estudo se classifica como quali-quantitativa, pois usa linguagem matemática como fator de decisão, como também aspectos reais, centrado na compreensão e explicação de fatos.

Referente aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva, explicativa e exploratória. Esta se caracteriza como exploratória, pois foi realizado um levantamento acerca de informações sobre a impressora, o que torna a pesquisa específica para tal, e para tal se confirma na definição de Gil (2010), a pesquisa exploratória é aquela que têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses.

Por fim, do ponto de vista dos procedimentos, podendo ser classificadas como: estudo de campo, *survey*, *ex-post-facto*, levantamento, pesquisa-ação, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa participante e pesquisa experimental. Este estudo constitui-se em uma pesquisa bibliográfica e de campo. Segundo Fonseca (2002), define-se uma pesquisa bibliográfica aquela que é feita a partir do levantamento de referências já analisadas. Este autor caracteriza a pesquisa de campo pelas investigações, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza coleta de dados junto a pessoas.

Desde modo, houve consultas bibliográficas de materiais publicados, livros, artigos, teses e dissertações, a fim de agregar informações, a realização da coleta e análise de dados com pessoas que possuem entendimento e trabalham com a máquina analisada.

2.2 ETAPAS DA PESQUISA

O fluxograma das etapas do método de pesquisa está presente no Fluxograma 2. Neste contexto, para o progresso do presente estudo, efetuou-se a exploração do conteúdo por meio de pesquisas bibliográficas para um embasamento teórico sobre a gestão da manutenção em impressoras de textura e o método FMEA. Feito isto, estabeleceu-se o objetivo principal do estudo: desenvolvimento de um plano de gestão da manutenção, com base na Análise de Modo de Falha e Efeitos, relacionadas à detecção de falhas em impressoras de textura.

Fluxograma 2 - Etapas da pesquisa.



Fonte: Autor (2019).

Após coleta de dados, foi possível desenvolver um plano de manutenção para a impressora de textura, através de ferramentas da gestão da manutenção. Desse modo, contando com a experiências dos operadores, foram criadas as Árvores de Falhas (FTA), identificando as causas raízes para cada tipo de falha presente neste equipamento. Em seguida com os resultados obtidos, foi elaborado um formulário FMEA, a fim de propor um método adequado de manutenção, levando em consideração a identificação das falhas, das causas e seus efeitos, sobrepondo-as através do Índice de Número de Prioridade de Risco (NPR), assim como um quadro 5W1H para melhor compreensão das etapas de manutenção. Assim, o plano de manutenção foi elaborado com base nas falhas potenciais dos componentes presentes na linha de pintura, além de levar em consideração o tempo de desgaste de suas peças, necessidade de lubrificação, período de trabalho e vida útil de cada parte.

Por fim, são expostos os comentários sobre a importância da gestão, resultados alcançados e a eficácia da estratégia utilizada.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o levantamento bibliográfico da literatura para o embasamento teórico desta pesquisa.

3.1 GESTÃO DE MANUTENÇÃO

Com o aumento da competitividade no ambiente globalizado, a sobrevivência das organizações depende de sua habilidade e rapidez de inovar e efetuar melhorias contínuas. Diante disso, Kardec e Nascif (2009) afirmam que as organizações vêm buscando novas ferramentas de gerenciamento, que as direcionam para uma maior competitividade, através da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços.

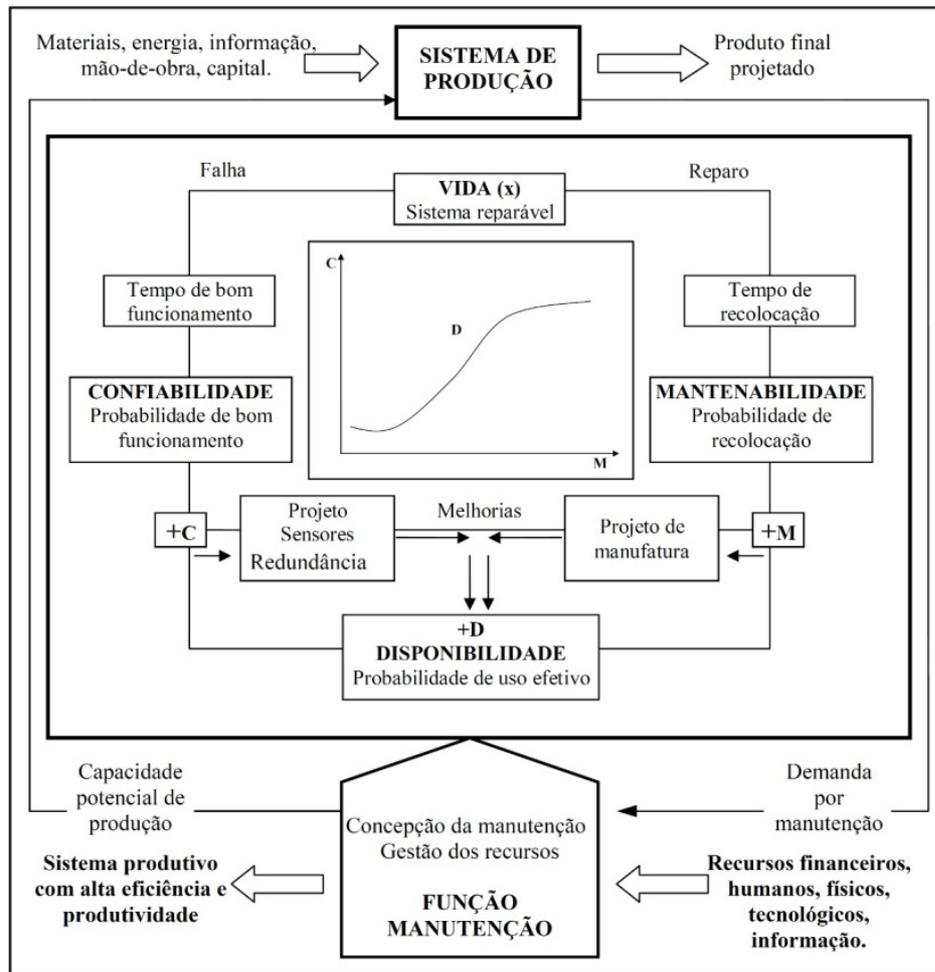
Neste sentido, verifica-se a importância de uma gestão eficiente da manutenção, considerando as especificidades da organização. Verma (2002) define a manutenção como uma combinação de ações técnicas definidas a partir de ações administrativas e de gestão durante o ciclo de vida da máquina na intenção de manter ou retorná-la ao estado onde possa cumprir sua função. Dão especial ênfase à condição de gestão e indicam que a alta eficiência é obtida mediante três atributos: alta confiabilidade, alta manutenibilidade e eficiente sustentabilidade, parâmetros a serem monitorados continuamente.

Segundo Otani e Machado (2008), a manutenção, como função estratégica das organizações, é responsável direta pela disponibilidade dos ativos e tem importância capital nos resultados da empresa. Para Fuentes (2006), muitas empresas estão conscientes dos desafios da função de manutenção e a consideram como parte integral das estratégias que a organização deve programar para ser a melhor, conforme proposto no Fluxograma 3.

Neste contexto, a manutenção passou a ser reconhecida por sua contribuição estratégica para os negócios, através da redução do tempo de paralisação dos ativos, obtida pelos reparos em ritmo expedito das ocorrências com impacto sobre o potencial produtivo (aumento da disponibilidade e produtividade), e do cuidado com a precisão de suas intervenções, possibilitando que os produtos finais pudessem atender a critérios e padrões pré-estabelecidos (melhoria da confiabilidade) (PARANHOS FILHO, 2007).

Desta forma, o conceito de Gestão da Manutenção se torna essencial para a organização. Esta gestão refere-se a todo o conjunto de ações, decisões e definições sobre tudo o que tem que se fazer, possuir, usar e controlar para gerir os recursos fornecidos para a manutenção e fornecer assim os serviços que são esperados da mesma.

Fluxograma 3 - Aspectos da manutenção.



Fonte: Fuentes (2006).

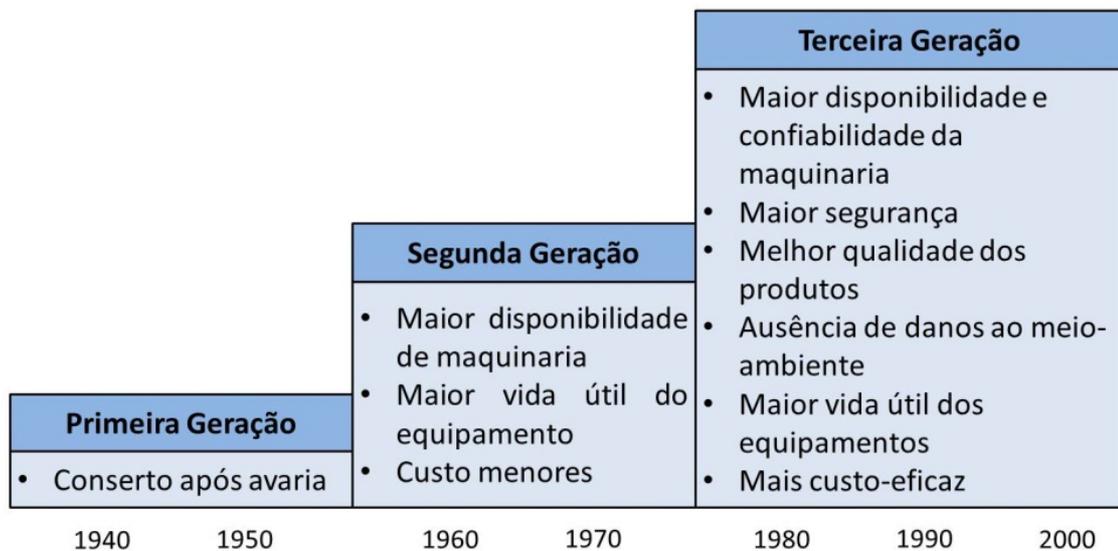
3.2 PROCESSO EVOLUTIVO DA MANUTENÇÃO

A manutenção não é um conceito novo, ela acompanha toda a história da evolução de equipamentos, desde o desenvolvimento das primeiras máquinas a vapor até a evolução dos itens físicos (LUCATELLI, 2002). Moubrey (1997) relata que o processo de gerenciamento da manutenção sofreu importantes transformações em seus métodos no decorrer de sua evolução, principalmente nos últimos vinte e cinco anos, talvez mais do que qualquer outra atividade de gerenciamento.

As mudanças ocorridas nesse período, seja pelo crescimento das expectativas de manutenção, seja pelas mudanças de visão sobre o modo de ocorrência das falhas ou das técnicas de manutenção, podem ser caracterizadas por três gerações distintas, fruto da necessidade de racionalização e otimização imposta por períodos de crise (LUCATELLI, 2002, p.34).

A evolução da manutenção é dividida em três gerações (primeira, segunda e terceira), apresentando seus respectivos períodos cronológicos, bem como os seus aspectos que foram modificados ao longo de sua história. As expectativas em relação à manutenção, a percepção das falhas do equipamento e as técnicas de manutenção disponíveis estão presentes nos Quadros.

Quadro 1 - Crescimento das expectativas da manutenção.



Fonte: Adaptado de Moubray (1997).

3.2.1 Primeira Geração

A primeira geração compreende o período anterior à Segunda Guerra Mundial, período no qual a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram muito simples e, em sua maioria, superdimensionados (KARDEC e NASCIF, 2009)

Na indústria, apesar de haver pessoas responsáveis pela manutenção, estas eram subordinados à função de operação e cumpriam apenas a manutenção corretiva emergencial, que correspondia a conserto logo após a falha ou a eventuais paralizações do maquinário (PARANHOS FILHO, 2007).

Incorporado a isso, devido à circunstância econômica da época, a produtividade não era uma prioridade. Em consequência, não se necessitava uma manutenção sistematizada; havia apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparos quando ocorria uma quebra, ou seja, a manutenção era fundamentalmente corretiva e não planejada (KARDEC e NASCIF, 2009).

3.2.2 Segunda Geração

Esta geração parte da Segunda Guerra Mundial até inícios dos anos 1960. As influências, desse período armamentício, elevaram a demanda por todo tipo de produtos, igualmente, o número de trabalhadores da indústria diminuiu sensivelmente. Decorrente disto, houve uma elevação na mecanização, bem como uma complexidade das instalações industriais (KARDEC e NASCIF, 2009).

Iniciou-se a confirmar a necessidade de uma maior disponibilidade, bem como, uma maior confiabilidade, na busca de um aumento na produtividade. A indústria estava bastante dependente de um bom funcionamento dos seus equipamentos. Isto alterou a ideia de falha, uma vez que estas poderiam e deveriam ser evitadas. Resultando-se no conceito de manutenção preventiva (PINTO e XAVIER, 2007).

Como consequência, houve um forte aumento da mecanização das indústrias e os equipamentos, de simples e robustos, passaram a complicados, exigindo uma metodologia de manutenção mais apurada (LUCATELLI, 2002). Então, começou a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade, bem como de maior confiabilidade, a fim de se garantir maior produtividade (KARDEC e NASCIF, 2009).

3.2.3 Terceira Geração

A terceira geração da manutenção se iniciou na década de 1970, promovida pelo processo de mudanças sucedido nessa época. Segundo MOUBRAY (1997), estas modificações podem ser classificadas em três áreas, que são: a expectativa de crescimento do papel manutenção; a melhor compreensão do modo de falha de um equipamento falha e o aumento das técnicas e das ferramentas de gerenciamento de manutenção. Essa evolução inevitável ocorreu, especialmente, pelas novas reivindicações de mercado, que decidiram, em função da globalização e da concorrência internacional, a necessidade na diminuição de custos operacionais (DUNN, 1998).

Ainda nessa época outros fatos que contribuíram para tal evolução foram o fenômeno da automação das indústrias e o advento da informática, tornando-as extremamente complexas e, por consequência, transformando a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos em pontos-chaves em setores tão distintos como o da saúde, das telecomunicações e do gerenciamento de edificações (KARDEC e NASCIF, 2009).

A atual geração é uma das maiores contribuidoras para as metodologias de gestão da manutenção, que corresponde deste o surgimento das primeiras técnicas de monitorização da

condição, como a manutenção preditiva (MPd), a utilização de ferramentas de auxílio à decisão e a análise de risco, o aparecimento de métodos de análise dos modos de falha e seus efeitos, como o FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) e de sistemas específicos, além e uma maior atenção na etapa de projeto quanto à confiabilidade e à manutenibilidade, até a concepção de equipes de trabalho multidisciplinares, com a inclusão de todos os níveis hierárquicos de uma empresa, a fim de se estabelecer metodologias eficientes no gerenciamento de ativos (LUCCATELLI, 2002).

3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

De acordo com Siqueira (2005), a manutenção pode ser classificada de acordo com o comportamento dos usuários frente às falhas.

3.3.1 Manutenção Corretiva

Segundo Kardec e Nascif (2015), a manutenção corretiva atua a fim de corrigir a falha ou o desempenho inferior ao esperado. Ao agir em um equipamento que possui um dado defeito ou um desempenho inesperado, realiza-se uma manutenção corretiva. Portanto, a manutenção corretiva não é necessariamente uma manutenção de emergência porém, ela ocasiona a paralisação do processo produtivo. Neste sentido Marçal (2008) complementa dizendo que é muito importante no ponto de vista econômico, em virtude da parada da produção e da lucratividade, por este motivo não é seguro para as indústrias modernas, pois não possibilita segurança para o cumprimento de prazos num plano de produção.

Os maiores custos referentes à manutenção corretiva são: elevados custos de estoques de peças sobressalentes, de trabalho extra, tempo de paralisação da máquina, e baixa produtividade (ALMEIDA, 2007). Esta manutenção pode ser subdividida em duas categorias, descritas a seguir:

- Manutenção Corretiva Não Planejada: é a correção da falha de maneira aleatória. Marçal (2008), Kardec e Nascif (2009) afirmam ainda que a manutenção ocorre no fato já ocorrido ou no momento seguinte à identificação do defeito. Implicam na paralisação do processo, perdas de produção, perdas de qualidade e elevação de custos indiretos de produção. A manutenção objetiva colocar o equipamento nas condições de voltar a exercer sua função.

- Manutenção Corretiva Planejada: é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial. A manutenção é efetuada em um período programado, com intervenção e acompanhamento do equipamento, desde que o defeito não implique necessariamente na ocorrência de uma falha. Caso a decisão seja deixar o equipamento funcionando até quebrar, recomenda-se compartilhar com outros defeitos já relatados e tomar ação preventiva e naturalmente econômica. O planejamento é fundamental e deve considerar fatores diversos para o não comprometimento do processo produtivo (MARÇAL, 2008).

Segundo Almeida (2007), a quebra, comumente, ocorrerá quando as demandas de produção forem as maiores. Nesta forma, o equipamento é desmontado e inspecionado para se averiguar os reparos específicos solicitados a fim de retorná-lo ao serviço. Se as peças de conserto não estiverem em estoque, elas devem ser solicitadas aos fornecedores, a custos de mercado, e deve ser requerido o envio. Mesmo quando as peças de reparo já se encontram no estoque, o tempo de operação para o conserto e o gasto são maiores neste tipo de manutenção, além disso, a equipe de manutenção deve desmontar, geralmente, toda a máquina e/ou equipamento para localizar a fonte da falha. Ao se admitir a identificação corretamente o problema, o tempo exigido para desmontagem, reparo, e remontagem da máquina seria, pelo menos, maior do que teria sido requerido em uma manutenção planejada (ALMEIDA, 2007).

3.3.2 Manutenção Preventiva

Todos os programas de gerência de manutenção preventiva tomam como base o tempo gasto na produção ou horas operacional, o CTMF (Curva do Tempo Médio para Falha) indica que uma máquina nova tem uma alta probabilidade de falha, devido a problemas de instalação, durante as primeiras semanas de operação. Após este período inicial, a probabilidade de falha é relativamente baixa por um longo período, pós este período a probabilidade de falha aumenta consideravelmente com o tempo transcorrido (ALMEIDA, 2007).

A implementação da manutenção preventiva real pode variar bastante, alguns processos são extremamente limitados e consistem em reparos de componentes menores. Os programas mais abrangentes de manutenção preventiva programam consertos, lubrificação, calibragens, e recondiçionamentos de máquinas para toda a maquinaria crítica na planta industrial. O fator determinante para todos estes programas de manutenção preventiva é o planejamento da manutenção x tempo (ALMEIDA, 2007).

Ao longo da vida útil de um equipamento não pode ser determinar a falha entre duas intervenções preventivas, o que, de modo óbvio, implicará uma ação corretiva. Para Kardec e Nascif (2009), os seguintes motivos devem ser considerados na adoção de uma gestão de manutenção preventiva:

- Quando não é possível a manutenção preditiva.
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam necessária a intervenção, normalmente para substituição de componentes.
- Por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional.
- Riscos de agressão ao meio ambiente.
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua. Ex.: petroquímica, siderúrgica, indústria automobilística, etc.

Geralmente são conhecidas como inspeções e verificações sistemáticas apoiadas pelo uso de checklist ou demais controles.

3.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é um programa de manutenção preventiva acionado por condições. Ela monitora diariamente as condições mecânicas, de rendimento, e outros indicadores de eficiência para prever o tempo médio para falha real ou perda de rendimento para cada máquina, a adição consciente de um programa de gerência preditiva abrangente pode fornecer dados sobre a condição mecânica real de cada máquina e o rendimento operacional de cada sistema de processo. Ele pode identificar problemas da máquina antes que se tornem críticos, já que a maioria dos problemas mecânicos pode ser minimizada se for detectado e reparado com antecedência (ALMEIDA, 2007).

As condições básicas para adotar a manutenção preditiva, segundo Kardec e Nacif (2009), são as seguintes:

- O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição;
- O equipamento, sistema ou instalação devem merecer esse tipo de ação em função dos custos envolvidos;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;

- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

Geralmente, pode-se conferir que a utilização de programas de Manutenção Preditiva em indústrias de processos geraram reduções na ordem de 60%, a médio e/ou longo prazo, nos danos decorrentes às interrupções imprevistas de produção e de 30% nos gastos com a manutenção, após uma etapa inicial de investimentos (ALMEIDA, 2007).

3.3.4 Manutenção Proativa

A manutenção proativa tem ganhado atenção mundialmente como a forma mais importante de se atingir economias inalcançáveis por outras técnicas de manutenção convencionais. O enfoque substitui a filosofia de manutenção de falha reativa por falha proativa desviando-se das condições adjacentes que geram falhas e/ou deterioração da máquina e/ou equipamento. Em oposição a manutenção preditiva/preventiva, a manutenção proativa proporciona ações corretivas que visam os motivos da falha-raiz, não buscando apenas os sintomas. Sua meta principal é elevar a vida da máquina, em vez de se fazer reparos, apenas quando nada está quebrado, aceitar a falha como hábito e naturalmente substituindo a manutenção de falha pela manutenção de falha programada (FITCH, 2003).

A manutenção proativa tem um objetivo preventivo, logo as intervenções devem ocorrer antes de se ter detectado qualquer avaria (TAVARES, 2019).

Em muitos casos, os indícios de falha podem encobrir as causas raiz ou por vezes serem considerados como causa. A presença anômala de contágio no sistema pode ser descrita como a etapa inicial da falha, sugerindo que, apesar do equipamento ainda não apresentar perda em seu funcionamento ou possuir degradação de algum componente, as condições que geram a falha e a vida operacional reduzida estão presentes e sem defesa (FITCH, 2003).

3.3.5 Manutenção Detectiva

Segundo Pinto e Xavier (2007), a manutenção detectiva é a ação executada em sistemas de proteção a fim de detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao responsável pela manutenção. Para Souza (2004), a manutenção de detectiva é realizada em sistemas de proteção ou controle, destina-se a identificar falhas ocultas ou que não sejam identificadas pelo pessoal de produção e manutenção. A identificação de falhas ocultas é essencial para garantir a confiabilidade do sistema.

Como exemplo, um circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital, caso houver falta de energia e o circuito tiver uma falha, o gerador não aciona, por isso, este circuito é testado/acionado de tempos em tempos, para verificar sua funcionalidade.

3.4 ANÁLISES DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA) E ANÁLISE DE ÁRVORES DE FALHA (FTA)

A garantia da qualidade exige excelência em projeto e excelência em processos. A excelência em projeto implica potencial para a qualidade. A excelência em processo transforma esse potencial em qualidade real. O FMEA e o FTA são técnicas que auxiliam na busca por excelência em projeto e processo (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009)

Ainda segundo ele, o FMEA é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos:

- Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo.
- Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas.
- Documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

Para Palady (2007), a análise FMEA corresponde a uma metodologia que possui três funções distintas: prognóstico de problemas; desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados e; diário do projeto, processo ou serviço. Isto é, o método FMEA representa a oportunidade para o engenheiro comprovar em seu projeto as possibilidades de falhas que possam não ter sido consideradas e surge como uma técnica de baixo risco com alta eficiência na prevenção de danos e identificação das soluções eficazes.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a análise FTA representa uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos:

- Partindo de um evento de topo, indesejável, identificar todas as combinações de causas que podem originá-lo.
- Estudar a probabilidade de ocorrência dessas causas, e em função disso, do evento de topo.
- Priorizar ações que visem bloquear essas causas.

As técnicas de FMEA e FTA revelam os pontos fracos do sistema e, assim, fornecem subsídios para as atividades de melhoria contínua. A FMEA e a FTA têm a vantagem de

sistematizarem o diagnóstico de produtos e processos. Essas técnicas auxiliam a detectar e eliminar possíveis ocorrências de falha e fornecem uma hierarquia de prioridades para as ações (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

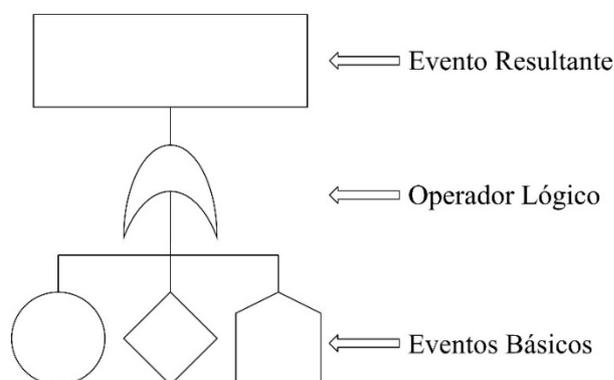
Os estudos de FMEA e FTA têm muito maior valor agregado quando são executados antes que um modo potencial de falha tenha sido inadvertidamente incorporado ao projeto ou processo. A aplicação de FMEA ou FTA nas fases iniciais do projeto permite que eventuais mudanças sejam implementadas com maior facilidade, bloqueando crises futuras. Além disso, os estudos de FMEA e FTA reduzem a possibilidade de implementar alterações que venham a criar problemas no futuro (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

3.4.1 Análise de Árvores de Falha (FTA)

Fogliatto e Ribeiro (2009) determinam que uma árvore de falhas seja um diagrama lógico que representa a combinação de falhas entre os componentes que acarretam em um determinado tipo de falha do sistema, que pode ser um equipamento, um projeto, um processo, entre outros, a representação deste, com as respectivas relações entre seus componentes, por meio de uma árvore de falhas, sempre se inicia pelo evento do topo, sendo este evento a condição de falha a ser investigada.

Deve-se usar uma simbologia adequada para a construção de uma FTA, onde cada símbolo representa diferentes tipos de operadores lógicos e eventos. A utilização desses símbolos permite a construção de encadeamentos lógicos complexos em representações gráficas compactas. Um exemplo da composição de uma árvore de falha está representado no Fluxograma 4.

Fluxograma 4 - Exemplo de árvore de falha.



Fonte: Adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2009).

Os principais eventos, com suas respectivas simbologias, são representados no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Simbologias do FTA.

	Retângulo	Evento que resulta da combinação de vários eventos básicos. Pode ser mais desenvolvido.
	Círculo	Evento/falta básica, que não requer maiores desenvolvimentos.
	Diamante	Como o retângulo, mas não há interesses ou não é impossível desenvolvê-lo mais.
	Casa	Um evento básico esperado de ocorrer em condições normais de operação.
	E	Output (o) só ocorre se todos os inputs ocorrerem.
	Ou	Output(o) ocorre quando ao menos um dos inputs ocorrerem.

Fonte: Adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2009).

Para Lafraia (2001) alguns benefícios do uso do FTA são:

- Conhecimento aprofundado do sistema e de sua confiabilidade.
- Detecção de falhas singulares (aquelas cuja ocorrência leva ao evento topo) desencadeada de eventos catastróficos e de sequência de eventos mais prováveis.
- Possibilita decisões de tratamento de riscos baseados em dados quantitativos.
- Pode ser realizada em diferentes níveis de complexidade.
- Ótimos resultados podem ser conseguidos apenas com a forma qualitativa.
- Permite a determinação de falhas potenciais que seriam difíceis de serem detectadas.
- Permite a determinação de partes críticas para testes de produtos.
- Excelente ferramenta de comunicação visual.
- Ajuda da determinação da causa de falhas e possibilita verificar a interação entre as causas.

Além de uma melhor compreensão dos passos do FTA por parte dos funcionários, levando, conseqüentemente, a uma melhor disseminação do recurso pela empresa. Em contrapartida, a simplificação excessiva do método pode levar a um risco de erros durante a sua aplicação como, por exemplo, o descuido para a importância da formação de uma equipe

multifuncional que trabalhará na construção da árvore de falhas (LIMA; FRANZ; AMARAL, 2006).

Segundo Scapin (1999), a relação FMEA/FTA é bilateral e complementar, ou seja, o uso do FTA traz informações para o FMEA que facilitam a elaboração do mesmo. A prática do FMEA, por conseguinte, possibilita a revisão da árvore de falhas fazendo com que, neste caso, o FTA seja utilizado como uma ferramenta de melhoria do FMEA ao dar à empresa um maior nível de certeza quanto à criticidade dos modos de falha. O mesmo autor afirma ainda, que a árvore de falhas permite um maior desdobramento das falhas primárias em secundárias, o que não é possível no FMEA.

3.4.2 Análises dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

O FMEA é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, de sistemas, projetos, processos e/ou serviços, antes que estas atinjam o cliente (STAMATIS, 2003).

Puente et al. (2002) afirma que o FMEA basicamente consiste em dois estágios. No primeiro estágio, possíveis modos de falhas de um produto ou processo e seus efeitos prejudiciais são identificados. Durante o segundo estágio, os responsáveis pelo desenvolvimento do FMEA determinam o nível crítico (pontuação de risco) destas falhas e as colocam em ordem. A falha mais crítica será a primeira do ranking, e será considerada prioritária para a aplicação de ações de melhoria.

Para melhor estudar e priorizar o FMEA, viu-se a necessidade de estudar o índice de Número de Prioridade de Risco (NPR) que, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), é o cálculo de prioridade e de ordem das ações de correção e melhoria do projeto. Esta etapa é extremamente importante para propor ações corretivas e preventivas e priorizar os modos de falhas que devem ser resolvidos primeiro. O NPR é calculado através da multiplicação dos valores de ocorrência, severidade e detecção que estão descritos a seguir.

3.4.2.1 Ocorrência (O)

Nesta etapa são apontadas as frequências dos modos de falha ou causa, para uma avaliação, sendo que os esforços para minimizar o número de ocorrências podem levar à avaliação das causas básicas. Os índices de capacidade de processo são medidas de desempenho de qualidade, através desses índices é possível estimar o percentual de produtos fora do

especificado ou a ocorrência estimada da falha, sendo assim, pode-se definir o índice de qualidade exigida, logo, o possível número de ocorrência que poderia acontecer (PALADY, 2004).

Tabela 1 - Índice de ocorrência.

Índice	Ocorrência	Proporção
1	Remota	1:1.000.000
2	Pequena	1:20.000
3		1:50.000
4	Moderada	1:1.000
5		1:400
6		1:80
7	Alta	1:40
8		1:20
9	Muito alta	1:8
10		1:2

Fonte: Adaptado de Moura (2000).

A ocorrência corresponde à probabilidade em que uma causa em estudo venha a ocorrer. Geralmente para reduzir a Ocorrência da causa ou mecanismo, é necessário que façam alterações no projeto. Fogliatto e Ribeiro (2009) ressaltam ainda que a análise da ocorrência seja feita em uma escala qualitativa de 1 a 10, sendo que o critério utilizado para gerar a tabela deve ser consistente para garantir uma melhora no processo. Os índices de ocorrências estão listados na Tabela 1.

3.4.2.2 Severidade (S)

Neste item é feito um levantamento qualitativo da severidade dos efeitos já listados, através do nível de impacto que a falha pode gerar em relação a quem o utiliza, essa avaliação geralmente é analisada por uma escala de 1 a 10, onde 1 representa efeito pouco severo e 10 representa efeito muito severo (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009). Neste caso a segurança do usuário poderá ser comprometida ou o custo da falha gerar sérios problemas financeiros à empresa, por isso é de grande relevância o contato com quem foi acometido pelos efeitos e severidade percebidos por ele (PALADY, 2004). A seguir, na Tabela 2, estão listados os índices de severidade.

Tabela 2 - Índice de severidade.

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que ocorreu
2 3	Pequena	Ligeira decadência do rendimento e leve descontentamento do usuário
4 5 6	Moderada	Decadência significativa do rendimento e descontentamento do cliente
7 8	Alta	Sistema para de funcionar com total descontentamento do usuário
9 10	Muito alta	O sistema para de funcionar e afeta a segurança do usuário

Fonte: Adaptado de Moura (2000).

3.4.2.3 Detecção (D)

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a detecção refere-se a uma estimativa, onde os controles atuais são capazes de detectar a falha antes que passe para um processo subsequente, assim utiliza-se uma escala de 1 a 10, onde 1 representa uma situação de fácil detecção e 10 representa uma situação delicada, de difícil detecção, vale ressaltar que, para a equipe conseguir avaliar o modo de falha por meio da escala é importante que a falha ocorra e assim identificar se os controles implantados estão sendo eficientes no processo. Inspeções aleatórias e amostragem são métodos válidos e que geralmente apresentam um bom resultado para detecção.

Tabela 3 - Índice de detecção.

Índice	Detecção	Critério
1 2	Muito alta	A falha certamente vai ser detectada
3 4	Alta	Boa probabilidade de detecção da falha
5 6	Moderada	50% de detecção da falha
7 8	Baixa	Pouco provável que a falha seja detectada
9	Muito baixa	Muito provável que a falha não seja detectada
10	Praticamente Impossível	Impossível ser detectada

Fonte: Adaptado de Moura (2000).

3.4.2.4 Número de Prioridade de Risco (NPR)

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), o NPR é calculado para priorizar as ações de melhoria do processo, sendo que neste cálculo considera-se resultado (R), severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), conforme a Equação 1:

$$R = S \times O \times D \quad (\text{Equação 1})$$

Diz ainda que o valor do risco pode variar entre 1 e 1.000, e a equipe deve deslocar sua atenção e concentrar seus esforços naqueles itens em que o risco é maior. É importante entender que o valor de risco não segue um comportamento linear, Isso acontece por dois motivos: primeiro, trata-se de um produto (o resultado cresce geometricamente à medida que crescem os valores das parcelas) e, segundo, a escala utilizada para avaliar ocorrência é claramente não linear.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a empresa que utiliza desta ferramenta tem inúmeras vantagens, dentre elas:

- Auxilia da redução dos riscos de falhas;
- Aumenta a probabilidade de que todos os modos de falha com suas respectivas falhas e efeitos serão analisados;
- Auxilia na identificação dos parâmetros do processo a serem controlados para reduzir ou detectara condição de falha nos processos;
- Ajuda a priorizar os modos potenciais de falha, estabelecendo uma ordem para as ações de melhoria nos processos;
- Documenta os resultados do estudo, facilitando análises futuras do processo de manufatura ou montagem;
- Aumentam o conhecimento de todos os envolvidos em relação aos aspectos importantes do processo, associados com a qualidade/confiabilidade do produto;
- Estabelece um referencial que auxilia na análise e melhoria de processos similares;

Os componentes e seus respectivos pesos do NPR, conforme acima apresentado, estão listados na **Tabela** a seguir.

Tabela 4 - Classificação e pesos dos componentes do NPR

Componente do NPR	Classificação	Peso
Frequência da Ocorrência (F)	Improvável	1
	Muito Pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
Severidade da Falha (S)	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
Detectabilidade (D)	Alta	1
	Moderadamente grave	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
Índice de Risco (NPR)	Baixo	1 A 50
	Médio	50 A 100
	Alto	100 A 200
	Muito alto	200 A 1000

Fonte: Adaptado de Moura (2000).

3.4.3 Análise 5W1H

Segundo Paranhos Filho (2007), esta ferramenta é utilizada durante a fase investigatória do problema. Seu nome tem relação com as iniciais em inglês das perguntas que devem ser feitas para se entender o problema, essas perguntas são: *What* (O quê? Qual é o problema?), *When* (Quando? Qual frequência em que ocorre?), *Where* (Onde ocorreu?), *How* (Como ocorreu?), *Why* (Por que ocorreu? Em que circunstâncias ocorrem?) e *Who* (Quem participará das ações de correção e controle?).

Para Yamashina (2007) uma vez respondida estas perguntas apropriadamente, pode-se ter uma figura clara de qual foi o problema. Segundo ele, um problema bem entendido é um problema resolvido.

3.4.4 Manutenção Autônoma

Segundo Ribeiro (2010), o pilar da Manutenção Autônoma tem como finalidade desenvolver nos colaboradores a responsabilidades e o zelo com seus maquinários e equipamentos, tendo os mesmos a eficiência de inspecioná-los e identificar eventuais falhas existentes. Nesse pilar, os operadores passam a ter liberdade de ação, autogerenciamento e domínio de seus meios de fabricação.

A Manutenção Autônoma é uma das atividades mais importantes do TPM, pois impacta exatamente na minimização de falhas que causam redução na produtividade de equipamentos, defendem Xenos (1998) e Nakajima (1989).

Segundo Xenos (1998), a Manutenção Autônoma é uma técnica fácil e efetiva para os colaboradores participem nas ações de manutenção diária, tais como a inspeção, limpeza e lubrificação. A execução de Manutenção Autônoma possibilita uma maior dominação do operador sobre seu equipamento que, como resultado, permite-o antecipar manifestações de defeitos e erros, assim como tomar contramedidas para impedir que os mesmos se tornem adversidades mais significativas no futuro (IMAI, 2014).

3.4.5 Machine Ledger

O livro da máquina (*Machine Ledger*) é um documento que lista, detalha e registra o histórico de todos os componentes de um equipamento classificado como crítico. Nele são relatados todos os elementos que servem para caracterizar e classificar até o nível dos componentes (MORAES, 2014). Estes níveis tratam da criticidade caso o dado componente falhe. Esta classificação está listada na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação dos componentes do *Machine Ledger*

Classificação	Características
Classe A	Em caso de falha do componente a máquina para.
Classe B	Em caso de falha do componente o impacto sobre a máquina é limitado.
Classe C	Em caso de falha do componente o impacto sobre a máquina é praticamente nulo.

Fonte: Adaptado de Moraes (2014).

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o estudo de caso em uma empresa de pintura de textura de moveis.

4.1 CARACTERÍSTICA DA EMPRESA

A empresa atua há doze anos no setor de fabricação e venda de móveis. Possui 20 (vinte) funcionários, sendo 2 (dois) proprietários, que administram a empresa, 2 (dois) secretários, 1 (um) gerente de produção, 1 (um) vendedor, 13 (treze) funcionários para produção, divididos nos setores de pintura, corte, colagem, furadeira e embalagem, e 1 (um) motorista, que faz o transporte de insumos da cidade de Ubá-MG para a cidade de Pesqueira, a empresa tem como “carro chefe” um portfólio de cinco produtos entre eles estão: armário multiuso, armário de cozinha, guarda roupas (quatro, seis e onze portas). A empresa conta com uma unidade produtiva situada na cidade de Pesqueira - PE.

Em relação aos aspectos mantenedores da tecnologia da empresa, sendo eles os maquinários específicos da linha produtiva ou os sistemas de informação do setor administrativo, são atuantes de forma reativa às falhas, de maneira geral, havendo manutenção corretiva como principal ferramenta para a assistência e resolução dos problemas inerentes aos equipamentos, como os desgastes decorrentes do uso contínuo e repetitivo. Isso ocorre devido a inexistência de programação da manutenção.

A organização não tem um departamento especializado em manutenção, toda demanda de serviço profissional é feita por uma empresa terceirizada que não está localizada na região, o que dificulta o acesso fazendo com que a linha pare por dias ocasionando altos custos.

Quando se trate de manutenção autônoma, pode-se dizer que a mesma é inexistente na empresa visto que, não há padronização no método de utilização dos equipamentos, não aplicam a cultura de treinamento e especialização dos operadores, a empresa não conta com manuais que auxiliam nos métodos de manutenção e conseqüentemente não tem padrões e programação para reparo e troca de peças dos equipamentos.

Tais comportamentos ocasionam menor disponibilidade e confiabilidade de todos os equipamentos, o que no fim das contas aumenta os custos unitários de cada tipo produto, devido a redução da produção. O principal processo que apresenta falhas recorrentes é a etapa de pintura que está descrito logo a seguir.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA

O processo de pintura das peças que compõem os produtos começa a partir da introdução dessas unidades, que uma a uma são colocadas manualmente em uma esteira a qual será responsável por transportar o material através de máquinas acopladas em todo o percurso, conforme representado no Fluxograma 5. O processo se inicia através do procedimento de lixar toda extensão do produto o qual posteriormente será coberto por uma camada de massa específica para MDP (*Medium Density Particleboard*), que possui a função de reparar as imperfeições da madeira, de maneira mais minuciosa do que a lixa, além é claro de proporcionar uma base para aplicação das tintas da pintura. Depois dessa etapa, um forno especial espera aquecido, para que as peças sejam devidamente secas durante o percurso dentro dele, após as etapas de lixar, aplicar massa e secar, o produto está pronto para receber camadas de tinta, as quais são divididas em dois tipos de tinta, tinta de base (coloração básica a sem nenhum aditivo de design) e a tinta especial (responsável por conferir uma textura diferente da básica), ficam estes um em cada máquina, a qual sempre posterior a um processo de pintura existe um forno finalizador. Apenas quando todo esse processo está terminado, o componente lixado, pintado e seco é que o produto está pronto para continuar sua jornada.

4.2.1 Detalhamento da Impressora de Textura

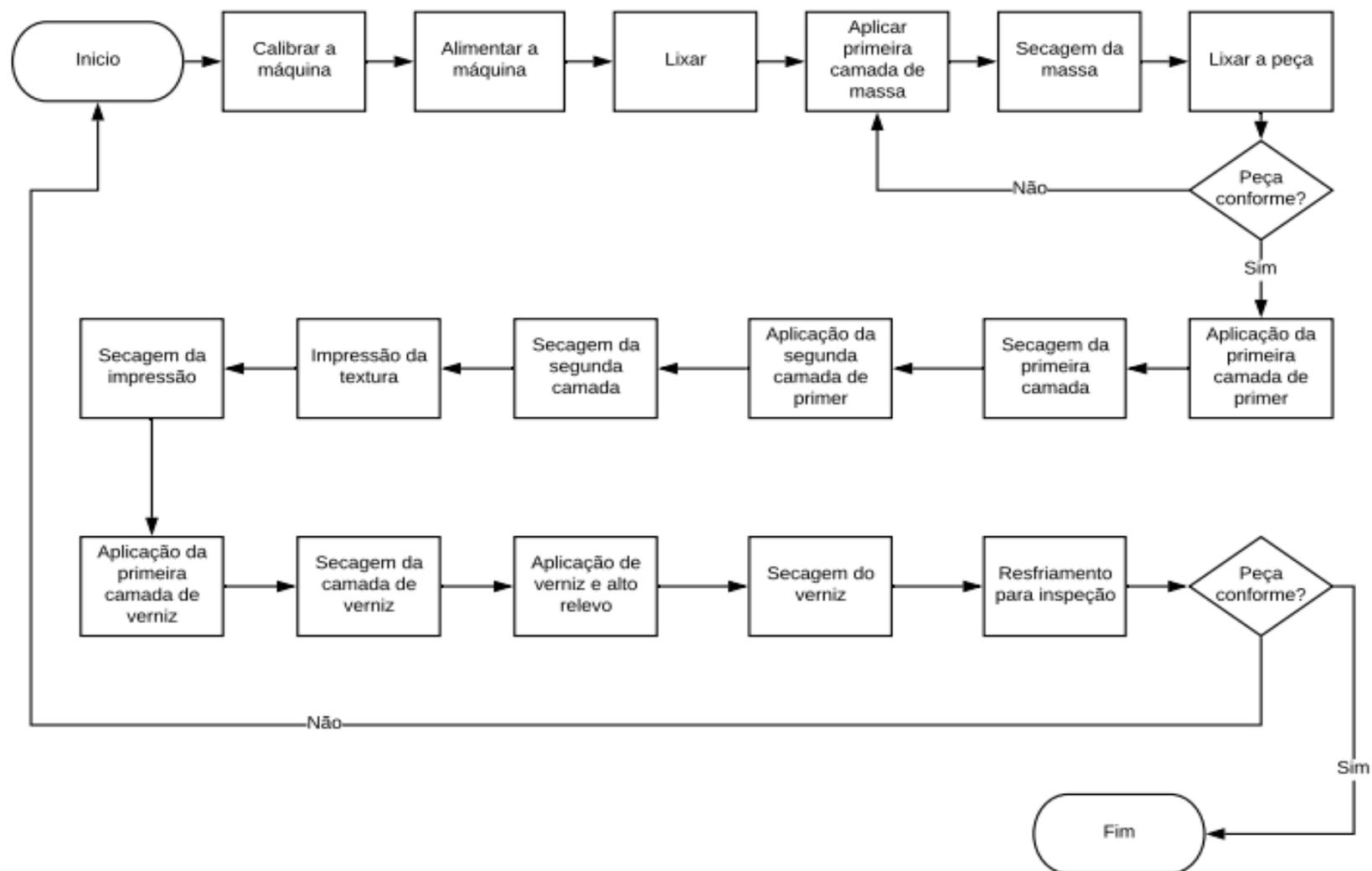
Impressora de precisão com duplo cabeçote impressor Ø 400 mm (Figura 1), fica instalada na linha de pintura junto das máquinas que preparam a peça para impressão, como já descrita, ela possibilita a utilização de dois padrões de impressão o que minimiza o tempo de paradas para limpeza e substituição de cores.

Figura 1 - Impressora duplo cabeçote para impressão direta



Fonte: Maclinea (2014).

Fluxograma 5 - Processo de pintura.



Fonte: Autor (2019).

O detalhamento da máquina é importante, pois fotos e desenhos dos subconjuntos e componentes facilitam a gestão visual e nos casos de treinamentos para os funcionários. Os componentes do sistema de transporte e as partes que compõem o sistema de pintura estão detalhadas nos apêndices.

4.3 ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA)

A princípio as principais e mais recorrentes falhas foram identificadas, para se manter em estudo sobre todas as possíveis causas, e desta forma destrinchar as falhas subsequentes até encontrar a causa raiz, segue:

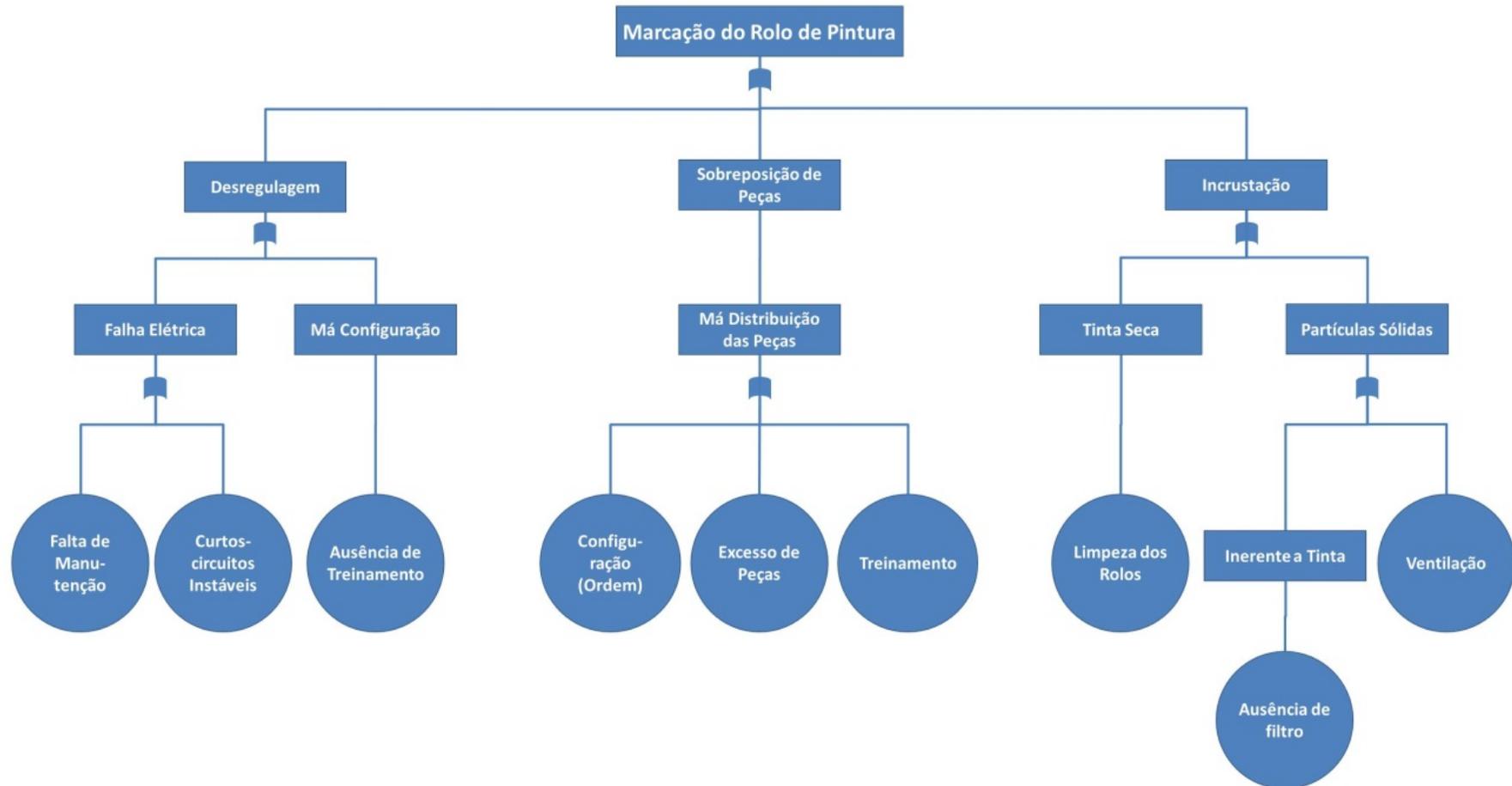
i) Marcação do rolo de pintura acarreta em retrabalho de todas as peças as quais ela pintou, a árvore de falha está apresentada no Fluxograma 6.

ii) Descarrilamento do trilho acarreta em parada de toda linha de pintura, a árvore está presente no Fluxograma 7.

iii) Lixamento inadequado acarreta em imperfeições na peça, o que ocasiona retrabalho, a árvore é apresentada a seguir no Fluxograma 8.

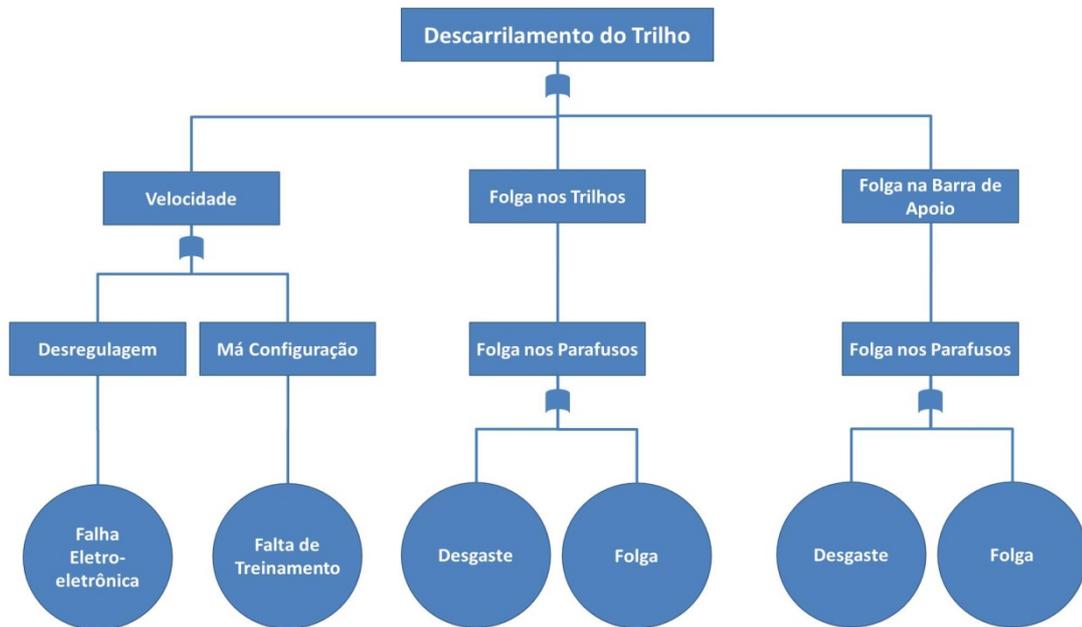
Com as árvores de falhas que serão mostradas, percebe-se que uma única falha pode abranger várias causas raízes, através de etapas que a antecedem. Logo, ao determinar estas causas e implantar formas de evita-las, o sistema se apresentará com um maior nível de confiabilidade, visto que as providências relacionadas à manutenção serão tomadas com certa rapidez, pois elas serão baseadas no cálculo de NPR, onde é medido o nível de criticidade e o quão danosa a falha ocorra, para desta forma priorizar e agir diretamente na causa do evento topo.

Fluxograma 6 - Árvore de falhas marcação do rolo da pintura.



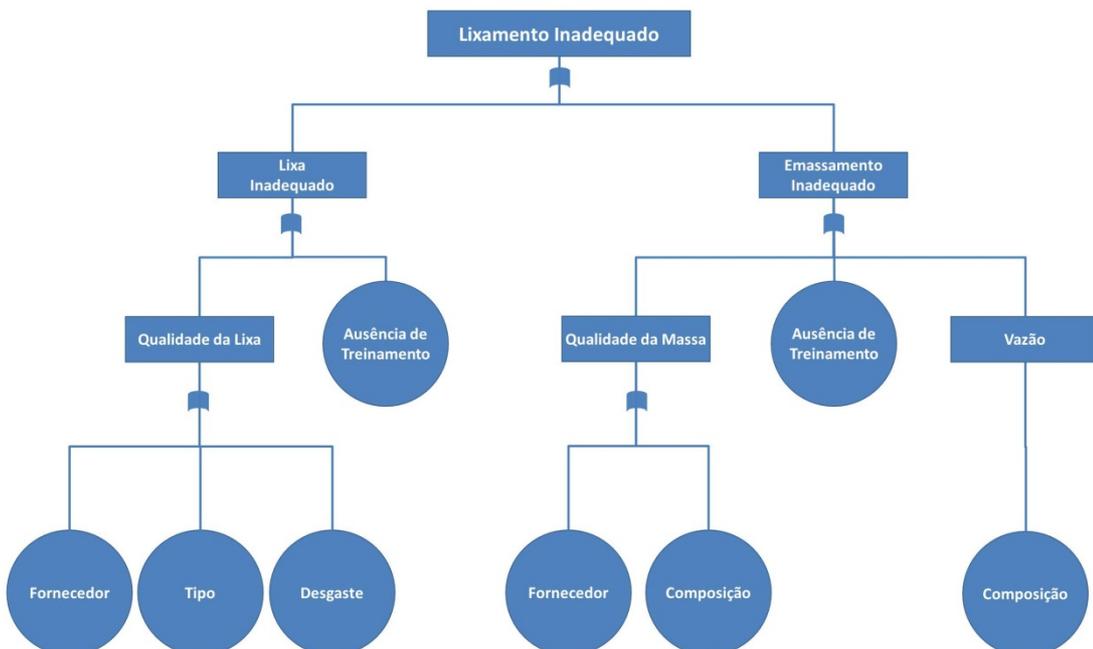
Fonte: Autor (2019).

Fluxograma 7 - Árvore de falhas do descarrilamento dos trilhos da pintura.



Fonte: Autor (2019)

Fluxograma 8 - Árvore de falhas do lixamento inadequado.



Fonte: Autor (2019).

4.4 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Em seguida, observou a necessidade de estudar o Índice de Número de Prioridade de Risco (NPR) calculado através da multiplicação dos valores de ocorrência, severidade e detecção que devem ser classificados conforme apresentado nas tabelas já apresentadas (Classificação e pesos dos componentes do NPR.). Esta etapa foi extremamente importante para propor ações corretivas e preventivas e priorizar os modos de falhas que devem ser resolvidos visto através do cálculo, a tabela mostra que o rolo de pintura é o mais danoso em todos aspectos e o que deve ser priorizado para diminuição dos níveis. O quadro do FMEA é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Valor estimado para cálculo de NPR.

Empresa: EMPRESA X		FMEA – ANÁLISE MODO E EFEITO DE FALHA				Data: 01/12/2019			
Local: Pesqueira-PE		Setor: Produção			Sistema: Pintura				
Componente/ Processo	Função do Componente	Possíveis Falhas			Controle Atual	Índice			NPR
		Modo	Efeito	Causa		F	S	D	
Esteira / Transporte	Transportar peças de madeira	Parada da esteira	Não pintar	Descarrilamento	Visual	2	7	7	98
				Rompimento da correia	Visual	2	3	9	54
				Velocidade alta	Visual	3	2	7	35
Rolo de Pintura / Pintura	Pintar as placas de madeira	Pintura não conforme	Retrabalho	Desalinhamento dos rolos	Visual	6	3	8	162
				Sobreposição das peças de madeira	Visual	5	4	8	160
				Incrustações	Visual	3	6	7	126
Lixas / Lixamento	Gerar conformidade na superfície das peças de madeira pré-pintura	Superfície não conforme	Retrabalho	Mau Lixamento	Visual	2	8	7	112
				Mau emassamento	Visual	2	8	3	48
				Qualidade da lixa/massa	Visual	4	4	8	128

Fonte: Autor (2019).

4.5 APLICAÇÃO DO 5W1H

Para melhor auxiliar os operadores, e baseadas nas árvores de falhas, foi proposto a criação de um 5W1H, que contém informações para manutenção de componentes, como, onde, a forma correta de fazer e quem, estas pequenas ações minimizam e poupa de submeter por determinado tempo ações maiores da manutenção, segue no Quadro 4.

Quadro 4 - 5W1H.

O que? (What?)	Onde? (Where?)	Quando? (When?)	Quem? (Who?)	Como? (How?)	Porque? (Why?)
Regular o rolo da pintura	Na máquina de pintura	Imediato	Operador	Regulagem manual	Evitar a marcação da pintura na madeira
Manutenção preventiva em relação às lixas	Nas lixas	Na identificação do desgaste ou do mal lixamento	Operador	Troca Manual	Evitar retrabalhos ou perdas
Regular a pressão das bombas	Na bomba de aplicação da tinta, massa e primer	Diariamente	Operador	Ajuste pré-operação	Evitar o desgaste/ má aplicação
Treinamento	No setor de montagem	Nos próximos três meses	Especialista em treinamento	Cursos capacitantes	Evitar erros na montagem
Ajuste de velocidade	Na fase de produção de pintura	Diariamente	Operador	Programar a velocidade adequada	Evitar erros na pintura
Utilizar fixadores para o travamento dos parafusos	No descarrilamento dos trilhos	Semanalmente	Operador	Ajuste pré-operação	Evitar desgaste no parafuso ou parafuso folgado
Utilizar ferramentas especializadas para regulagem nos parafusos	Folga na barra de apoio dos trilhos	Semanalmente	Operador	Ajuste pré-operação	Evitar desgaste no parafuso ou parafuso folgado

Fonte: Autor (2019).

4.6 PLANO DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

Diante da dificuldade de acesso aos serviços de manutenção profissional, este plano de gerenciamento terá como foco promover a maior interação da manutenção autônoma com o processo para tentar minimizar a demanda por manutenções profissionais.

Antes de iniciar qualquer processo de gestão da manutenção é necessária a elaboração de regras gerais, que servirão como um procedimento de segurança, para compor toda e qualquer atividade de manutenção constante no plano e que devem ser expostas para todos os funcionários de maneira clara.

Quadro 5 - Procedimentos de segurança

Procedimentos de Segurança
1 - Estar confortável para a realização da atividade de manutenção;
2 - Utilizar EPI's e EPC's e ferramentas adequadas às atividades, não improvisadas;
3 - Usar <i>lock out/ tag out</i> antes de qualquer trabalho em máquinas ou equipamentos;
4 - Limpar e organizar equipamentos e a área ao concluir as atividades;
5 - Em caso de dúvidas, consulte imediatamente o líder.

Fonte: Autor (2019).

O foco da manutenção autônoma são as pessoas, ou seja, capacitar os integrantes da operação para que possam executá-los da melhor maneira possível, e no menor tempo possível, que estendam a vida útil do maquinário, ou seja, entender sinais de diminuição do rendimento e pequenas falhas que levem a problemas maiores e que precisem de manutenção profissional.

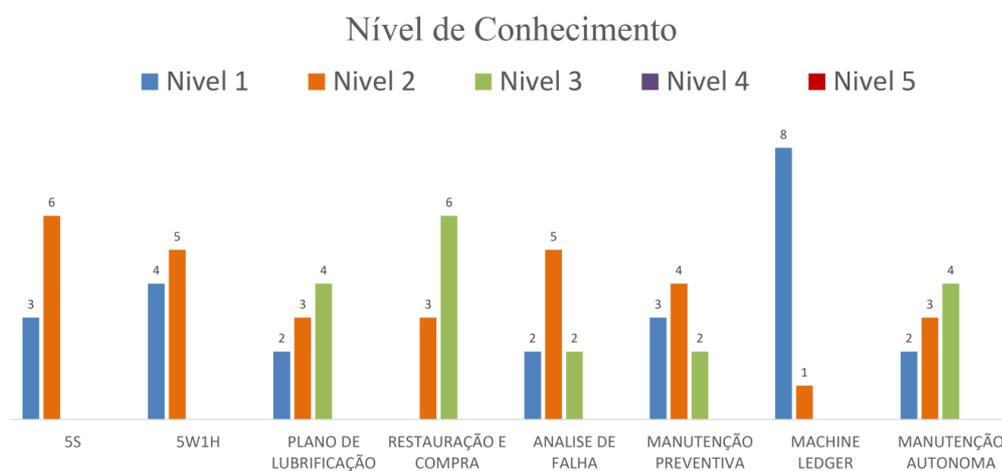
É neste âmbito que houve um forte trabalho em gestão dos conhecimentos. Num primeiro momento foram medidos os conhecimentos de cada participante do projeto (com relação a ferramentas e métodos já estabelecidos). A escala utilizada para o nível de conhecimento é descrito no Quadro 6.

Quadro 6 - Escala de nível de conhecimento sobre a ferramenta

Nível	Conhecimento
1	Não tem conhecimento algum sobre o tema
2	Reconhece o nome do método ou ferramenta
3	Conhece e aplica método ou ferramenta
4	Conhece a teoria e aplica o método ou ferramenta
5	Aplica sem a necessidade de supervisão e pode ensinar

Fonte: Autor (2019).

Para começar a implementar a manutenção autônoma devemos analisar o nível de conhecimento atual dos 9 funcionários que estão envolvidos diretamente com os maquinários fabris, o requerido e o resultado deve ser plotado em um Gráfico 1 que serve como base para o plano de treinamento adequado dos funcionários.

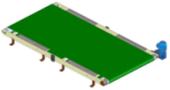
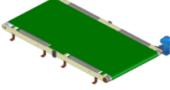
Gráfico 1 - Nível de conhecimento.

Fonte: Autor (2019).

Dando continuidade, outro critério de necessário para que o plano de manutenção tenha sucesso é a eliminação das fontes de sujeira que deve ser feito por meio de levantamento em toda máquina, buscando fontes de contaminação por cavacos, vazamentos, áreas de difícil acesso, fontes de problemas de segurança e de qualidade. Uma parada de máquina deve ser programada para executar esta atividade, para que as máquinas comecem a operar em suas condições de base com maior eficiência.

Por último, foi adaptada a ferramenta *Machine Ledger* para criação de um cronograma de atividades de manutenção (para melhor visualização o quadro completo vai estar disponível em anexo), relacionado aos componentes da máquina que mais falham (os componentes selecionados foram aqueles que estavam diretamente relacionados às causas de maior prioridade no apontadas pelo FMEA). Esse plano de ação tem a duração de 30 dias podendo ser renovado e deve ser mantido na máquina para facilitar a gestão visual.

Quadro 7 - Machine Ledger para impressora de textura.

Machine Ledger - Empresa X					Responsáveis									
Linha 1	Componente				AM	PM								
Máquina: Impressora	Desenho/Imagem	Número do Componente	Fornecedor	Classificação			Ano 2019 (Dias)							
Subgrupo: Parte inferior da Máquina									1	2	3	4		
		19039	Maclinea	A			Manutenção Planejada do Subsistema Completo							
					X									
					X									
		24181 - 4946	Maclinea	A			Manutenção Planejada do Subsistema Completo							
					X									
					X									
		12852	Maclinea	A			Manutenção Planejada do Subsistema Completo							
					X									
					X									

Fonte: Autor (2019).

Esse quadro vai obedecer a um sistema de cores, para acompanhamento das atividades.

Sistema de cores:



-  Realizado em Manutenção Corretiva
-  Atividade Realizada conforme Programado



Atividade Programada



Realizado em hora extra

5 CONCLUSÃO

A Gestão da Manutenção é fundamental para a produtividade das organizações, devido a questões como aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, assim como da diminuição dos custos de operação. Neste sentido, a presente pesquisa faz uma análise sistemática, utilizando as ferramentas FTA e FMEA, com o objetivo de detectar falhas na impressora de textura.

Inicialmente, utilizou-se a metodologia da Árvore de Falha por ser uma ferramenta que proporciona um resultado mais distintivo, promovendo assim causas raízes para cada subsistema da máquina, posteriormente com o método de análise FMEA utilizando do número de prioridade de risco, foi possível quantificar e visualizar os efeitos/danos que as falhas causam, fica nítido que as falhas relacionadas ao rolo de pintura devem ser priorizadas, pois estes contém os maiores níveis calculados, além disso buscar a correlação da falha com as funções dos componentes que mais causam problemas é aumentar a vida útil da máquina, por isso o uso do 5W1H e do Machine Ledge, para tornar-se de fácil entendimento do operador do que fazer, onde e de que maneira, em dado componente específico.

Para que o plano de ação funcione conforme o planejado é necessário que haja uma mudança na cultura da empresa em relação à política de manutenção, que deve passar a investir fortemente em ações de capacitação das pessoas envolvidas com todas as etapas do processo para evitar que ocorram erros de operação, e tornar os mesmos aptos a entender sinais de falhas antes mesmo que elas ocorram, e assim dar a capacitação esperada para que o próprio operador faça as devidas correções para retomada da produtividade.

A cultura da empresa também precisa ser modificada em relação a pontos como limpeza, disciplina entre outros fatores, tendo em vista que a manutenção autônoma instiga os operadores a desenvolver o senso de zelo pelas máquinas, fato esse que contribui amplamente nas atividades de preservação dos equipamentos, assim como pertencimento e importância para empresa.

Com a elaboração do estudo feito na empresa, pode-se verificar o quanto à manutenção traz benefícios à organização, seja diretamente, como recursos financeiros, de processo e de matéria prima ou indiretamente com o aumento da produtividade, confiabilidade, vida útil do equipamento, fim das paradas não planejadas e do bem-estar do operador.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia, 2007.
- DUNN, Sandy. Reinventing the maintenance process: towards zero downtime. *In: Queensland Maintenance Conference Proceedings*, Queensland, Australia. 1998.
- FIEP. Federação das Indústrias do Estado do Paraná. **Panorama setorial: indústria de móveis: Paraná 2017**. Curitiba: Fiep, 2017.
- FITCH, J. C. Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditiva/preventiva convencionais. **Revista Elo**. São Paulo, 2003.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Fortaleza: UEC, 2002.
- FONTANINI, Ricieri Augusto Mendes. **Implementação de Planos de Manutenção para uma Linha de Envasamento em uma Cervejaria dos Campos Gerais (PR)**. 2018. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- FUENTES, Fernando Félix Espinosa. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. 2006. 207f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª ed., São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Industrial Anual**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 dez. 2019.
- IMAI, Yassuo. **Curso de Formação de Facilitadores de TPM**. Material distribuído no curso pela IM&C International. São Paulo, 2014.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção - Função Estratégica**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Quality Mark, 2009.
- LAFRAIA, João. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LIMA, Byanca Porto et al. Análise para implementação de um sistema de gestão da manutenção em uma empresa de locação de equipamentos para construção civil. **Cadernos UniFOA. Especial Eng. Produção**, v. 10, n.2, pp. 15-39, 2015.
- LIMA, P. F. A.; FRANZ, L. A. S; AMARAL, F. G. Proposta de utilização do FTA como ferramenta de apoio ao FMEA em uma empresa do ramo automotivo. **XIII Simpósio de Engenharia de Produção**. Bauru: SIMPEP, p. 15-22, 2006.
- LUCATELLI, Marcos Vinícius. **Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares**. 2002. 284f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MACLINEA. **Lista de Peças**. IMP 130/400T2+BS. Curitiba, 2014.

- MANTO, Sandro Roberto. **A Implantação da Metodologia do TPM para Melhorar a Gestão da Manutenção de Máquinas e Equipamentos da Criare Móveis**. 2014. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização). MBA em Gestão de Estratégica de negócios. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Bento Gonçalves.
- MARÇAL, R. F. **Gestão da Manutenção**. Ponta Grossa: Programa de Especialização em Gestão Industrial com ênfase em Produção e Manutenção (ESPGESTIND-PM), 2008.
- MOUBRAY, John. **Reliability-Centered Maintenance**. 2^a Ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 1997.
- MORAES, José Donizetti. **Manutenção Industrial - Entendendo sua função e organização**. Belo Horizonte, 2014
- NAKAJIMA, Seiichi. **Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989.
- OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008.
- PALADY, Paul. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas antes que ocorram**. 3. ed. São Paulo: IMAM, 2004.
- PARANHOS FILHO, Moacyr. **Gestão da Produção Industrial**. 20 ed. Curitiba: Ibpx, 2007.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.
- PUENTE, J et al. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, n. 2, v. 19, 2002.
- SCAPIN, C. A. **Análise sistêmica de falhas**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- SOUZA, Fábio Januário de. **Melhoria do Pilar “Manutenção Planejada” da TPM Através da Utilização do RCM para Nortear as Estratégias de Manutenção**. 2004. 114f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RIBEIRO, H. **Desmitificando a TPM: como implantar o TPM em Empresas Fora do Japão**. São Caetano do Sul: Ed. PDCA, 2010.
- SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- STAMATIS, D.H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. Milwaukee, Winsconsin: ASQ Quality Press, second edition, 2003.
- TAVARES, L. A. **Administração Moderna de Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Polo, 1999.
- TAVARES, Adriano Rafael Silva Santos de Almeida. **Manutenção Preventiva – Ferramenta de Apoio ao Planejamento**. 2019. 51f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- TOVAR, Pedro Henrique Heringer. **Análise FMEA Para Aplicação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade: estudo de caso em motor hidráulico poclain**. 2017. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória..

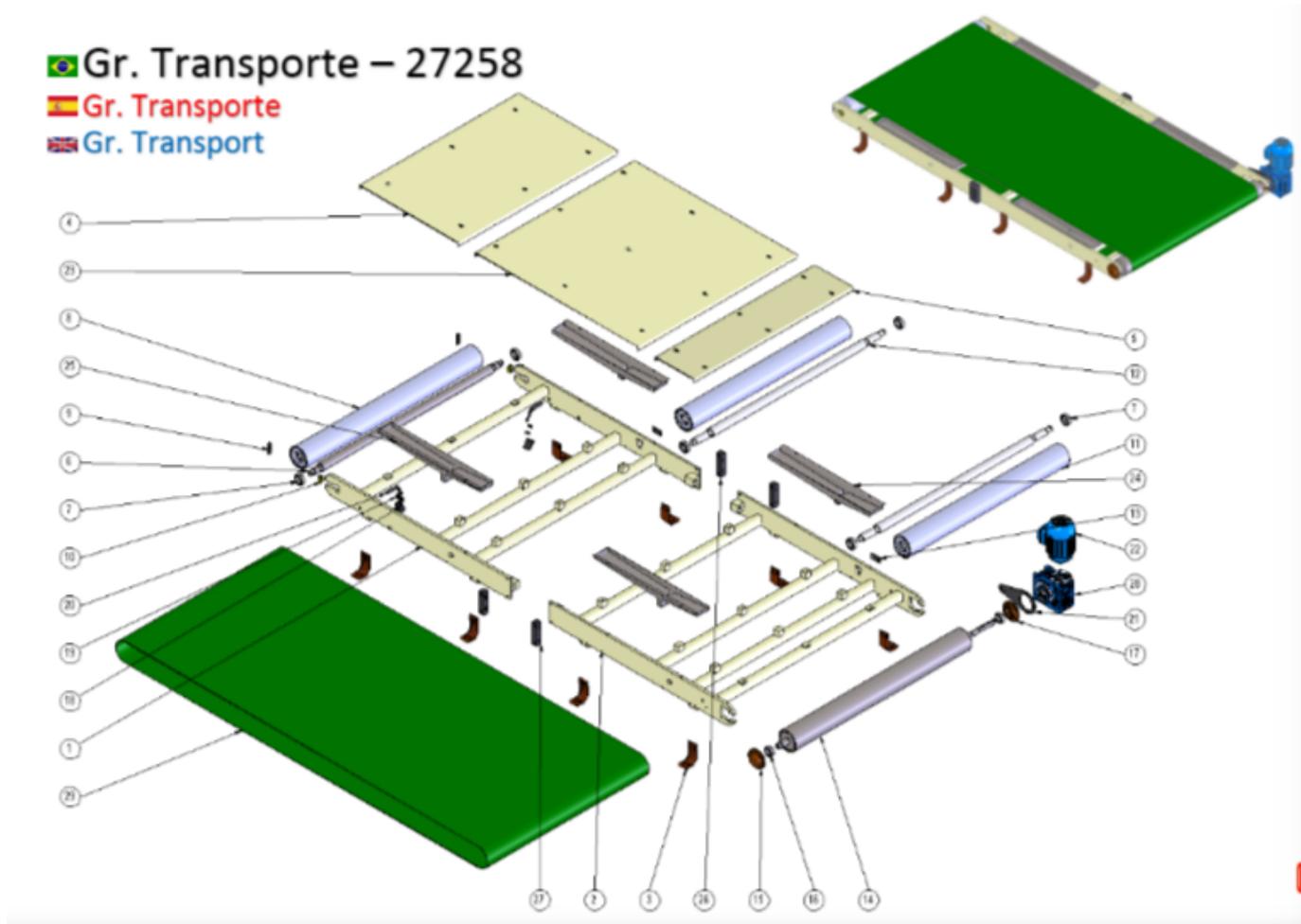
VERMA D. System engineering and architecting: a global perspective. **Presentation at the North Star Chapter of INCOSE**, 2002.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora Falconi, 1998.

YAMASHINA, H. **Material de Treinamento WCM (World Class Manufacturing)**. Curitiba: 2007.

APÊNDICE

Vista explodida do subsistema da esteira de transporte.



Fonte: Maclinea (2014)

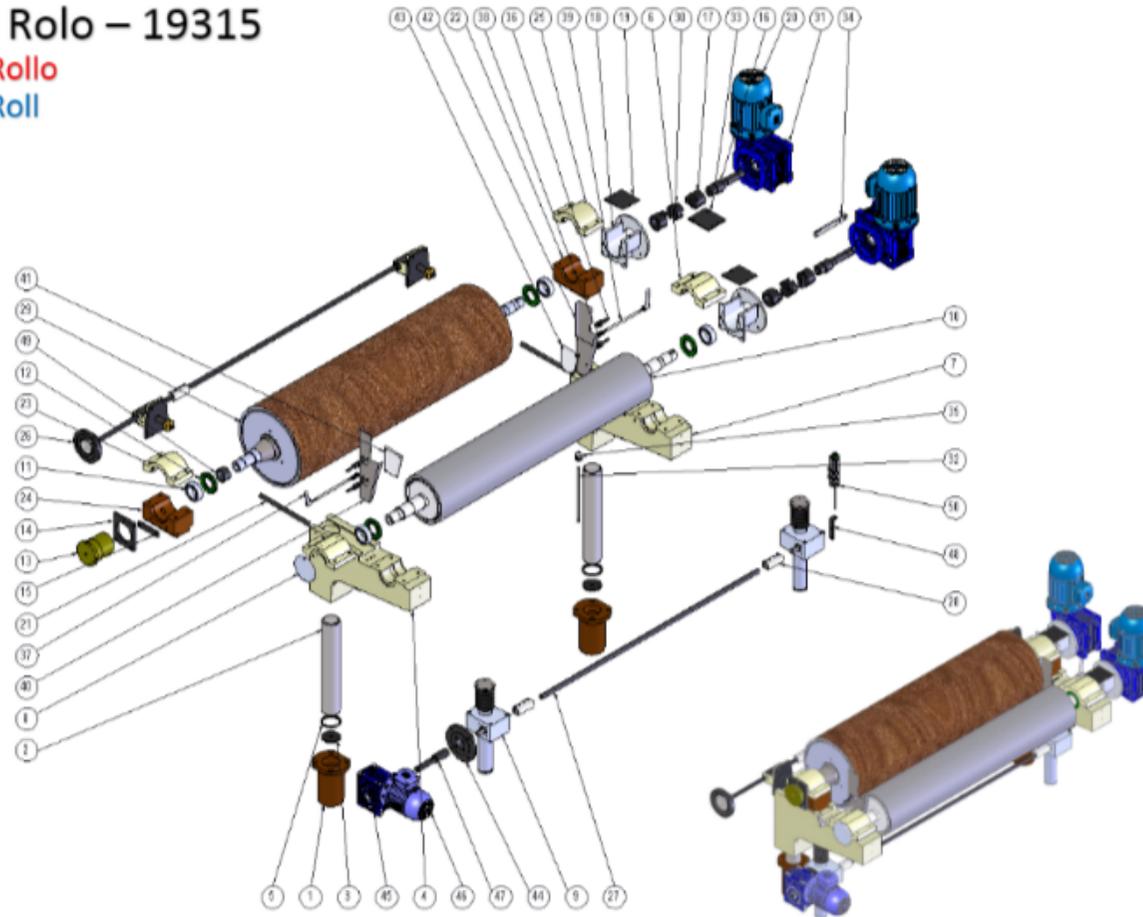
Componentes do subsistema da esteira de transporte.

01	27690 (1x)	02	27694 (1x)	03	12852 (8x)	04	23562 (1x)	05	10189 (1x)
06	82811 (1x)	07	979 (6x)	08	83488 (1x)	09	9970 (2x)	10	9971 (2x)
11	8513 (2x)	12	23591 (2x)	13	9978 (2x)	14	12854 (1x)	15	24181 (1x)
16	4946 (2x)	17	24182 (1x)	18	9979 (2x)	19	104 (4x)	20	1382 (2x)
21	9981 (1x)	22	7802 (1x)	23	27691 (1x)	24	27692 (1x)	25	27693 (1x)
26	61375 (2x)	27	61376 (2x)	28	28636 (1x)				

Fonte: Maclinea (2014).

Vista explodida do subsistema do rolo de pintura.

 Gr. Rolo – 19315
 Gr. Rollo
 Gr. Roll



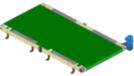
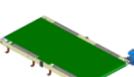
Fonte: Maclinea (2014).

Componentes do subsistema do subsistema do rolo

01	17601 (2x)	02	19316 (2x)	03	19319 (2x)	04	22787 (1x)	05	5319 (2x)
06	22786 (2x)	07	22785 (1x)	08	22786 (1x)	09	19039 (2x)	10	23 (1x)
11	4943 (2x)	12	31272 (2x)	13	31251 (1x)	14	31252 (1x)	15	39441 (2x)
16	31250 (2x)	17	9986 (2x)	18	19346 (2x)	19	9995 (2x)	20	6599 (2x)
21	31274 (2x)	22	36078 (1x)	23	36079 (1x)	24	36077 (1x)	25	31256 (1x)
26	62808 (1x)	27	19340 (1x)	28	12865 (2x)	29	18144 (1x)	30	9985 (2x)
31	69602 (2x)	32	9988 (1x)	33	21581 (1x)	34	10058 (1x)	35	10001 (2x)
36	3297 (4x)	37	2758 (2x)	38	2256 (2x)	39	32999 (2x)	40	19349 (1x)
41	22328 (1x)	42	19350 (1x)	43	39925 (1x)	44	26672 (1x)	45	18115 (1x)
46	3037 (1x)	47	26673 (1x)	48	19323 (1x)	49	31545 (1x)	50	7468

Fonte: Maclinea (2014).

Machine Ledger da Impressora de Textura.

Machine Ledger - Empresa X			Responsáveis																																					
Linha 1	Componente		Número do Componente	Fornecedor	Classificação	AM	PM	Ano 2019 (Dias)																																
Máquina: Impressora	Desenho/Imagem							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
 	19039	Maclinea	A	Manutenção Planejada do Subsistema Completo																																				
				Limpeza																																				
				Lubrificação																																				
				Inspeção	X										X																				X					
				Reaperto	X										X																				X					
  	24181 - 4946	Maclinea	A	Manutenção Planejada do Subsistema Completo																																				
				Limpeza	X																X																	X		
				Lubrificação	X																X																		X	
				Inspeção																	X																		X	
				Reaperto																																				
 	12852	Maclinea	A	Manutenção Planejada do Subsistema Completo																																				
				Limpeza																																				
				Lubrificação																																				
				Inspeção	X						X				X						X					X								X					X	
				Reaperto	X						X				X						X					X								X						X

Fonte: Autor (2019).