



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOSÉ MATHEUS BARBOSA CORDEIRO DA SILVA

**ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DA FMEA COM AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIO: Um Estudo de Caso em uma Indústria do Ramo
Alimentício do Agreste Pernambucano**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Caruaru

2019

JOSÉ MATHEUS BARBOSA CORDEIRO DA SILVA

**ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DA FMEA COM AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIO: Um Estudo de Caso em uma Indústria do Ramo
Alimentício do Agreste Pernambucano**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

Área de concentração: Gestão da Produção.
Orientador: Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez.

Caruaru
2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

S586e Silva, José Matheus Barbosa Cordeiro da.
Elaboração e aplicação da FMEA com avaliação multicritério: um estudo de caso em uma indústria do ramo alimentício do Agreste Pernambucano. / José Matheus Barbosa Cordeiro da Silva. – 2019.
59 f. : 30 cm.

Orientador: Thalles Vitelli Garcez.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2019.
Inclui Referências.

1. Educação inclusiva. 2. Embalagem. 3. Processos industriais. 4. Falhas – análise. 5. Multicritério. I. Garcez, Thalles Vitelli Garcez (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)
089)

UFPE (CAA 2019-

JOSÉ MATHEUS BARBOSA CORDEIRO DA SILVA

**ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DA FMEA COM AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIO: Um Estudo de Caso em uma Indústria do Ramo
Alimentício do Agreste Pernambucano**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

Aprovado em: 19/06/2019.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez. (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes. (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dra. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente. (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marcos Antonio e Aldenise Rejane, e a toda minha família por me darem o apoio necessário para que eu chegasse aqui em frente as inúmeras dificuldades, que somente eles sabem que eu passei. Obrigado por cada palavra, incentivo, reclamação e pelas orações em meu favor.

Aos meus professores, Thalles Vitelli e Rodrigo Sampaio que com paciência e atenção incentivaram-me e orientaram-me durante meu tempo na universidade.

Aos meus avôs maternos, Pedro Andrade e Zenilda Barbosa por todo apoio em todos os momentos de dificuldade.

Ao meu tio, José Cláudio e minha Tia, Alzenir Barbosa pelo auxílio em tudo que eu precisei, pela necessidade de vir para outra cidade, além de todo o apoio em tudo que passei. Para mim, eles são meus pais de outra cidade.

À minha namorada, Gealine Bezerra por me incentivar a dedicar-se cada vez mais a minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

Por fim, queria dedicar esse trabalho ao meu primo, Renato Moura que foi um irmão para mim e colaborou em parte do que sou hoje.

RESUMO

Devido à alta taxa de ocorrência de falhas no processo produtivo, ocasionando perdas de produto e tempo de produção, em um determinado setor de uma linha de produção de massas em uma indústria do ramo alimentício, foi identificado um número alto de perdas. Apontou-se a necessidade da elaboração e aplicação de alguma ferramenta ou técnica para que esse problema fosse reduzido ou extinguido, sendo realizada a aplicação da ferramenta de Análise de Modo de Falha (*FMEA*). Para a realização desse estudo foi necessário realizar o mapeamento de todo o processo da linha de produção, para que ficasse mais claro o entendimento e o funcionamento da linha. Logo após, foi realizado junto a profissionais especializados do setor, ao qual o estudo foi aplicado, o levantamento dos problemas, suas possíveis causas e efeitos para que então fosse elaborado e aplicado o *FMEA*. Sendo o desenvolvimento dessa ferramenta auxiliado em uma das etapas pelo método de avaliação multicritério aditivo – *SMARTER*, para a obtenção do índice de severidade que foi observado alguns conflitos. Com a aplicação da ferramenta, houve o levantamento, avaliação dos resultados obtidos e medidas de planejamento preventivo de manutenção, de acordo com a utilização do diagrama de Pareto para cada um dos principais problemas classificados pela ferramenta *FMEA*. Além disso, houve o estabelecimento de um cronograma de melhoria contínua da ferramenta em questão, com a finalidade de manter sempre a revisão para além de garantir as melhorias encontradas, buscar cada vez mais maneiras de melhorar o processo e reduzir as falhas, garantindo assim uma vantagem operacional para o benefício da indústria.

Palavras-chave: Setor de Embalagem. Mapeamento de processos. Modo de Análise de Falha – *FMEA*. Avaliação Multicritério.

ABSTRACT

The high rate of occurrence of failures in the production process, causing product losses and production time, in a specific sector of a pasta production line in a food industry, was identified a high number of losses. It was pointed the necessity of the elaboration and application of some tools or techniques for this problem to be reduced or eliminated, being realized the application of the Failure Mode and Effect Analysis (*FMEA*). In order to carry out this study, it was necessary to map the complete process of the production line, in order to clarify the understanding and operation of the line. Soon after, it was carried out with specialized professionals of the sector, where the study was applied, the survey of the problems, their possible causes and effects so that then was prepared and applied the *FMEA*. Being the development of this tool aided in one of the steps by the additive multicriteria method - *SMARTER*, to obtain the index of severity that was observed some conflicts. With the application of the tool, there was the survey, evaluation of the results obtained and measures of preventive planning of maintenance, according to the use of the Pareto diagram for each of the main problems classified by the *FMEA* tool. In addition, there was the establishment of a schedule for continuous improvement of the tool in question, with the purpose of always maintaining the review in addition to ensuring the improvements found, seek more and more ways to improve the process and reduce failures, thus ensuring an operational advantage for the benefit of the industry.

Keywords: Package Sector. Process Mapping. Failure Mode and Effect Analysis - FMEA. Multicriteria Evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 –	Etapas do Projeto	28
Figura 4.1 –	Linha M04	31
Figura 4.2 –	Setor de Embalagem da Linha M04	31
Figura 4.3 –	Alimentadora <i>Alto-Pack</i>	34
Figura 4.4 –	<i>Check-Weigher</i>	34
Figura 4.5 –	Detector de Metais.....	35
Figura 4.6 –	10 Piores <i>RPN</i>	39
Figura 4.7 –	10 Piores <i>RPN</i> sem multicritério	39
Figura 4.8 –	Produtos para Reprocesso	42
Figura 4.9 –	Falha de Selagem.....	43
Figura 4.10 –	Falha de Descalibração do Detector de Metais.....	44
Figura 4.11 –	Amostras de Verificação do Detector de Metais.....	44
Figura 4.12 –	Falha de Descalibração da Balança.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 –	Defeito no Rolo de Selagem.....	47
Gráfico 4.2 –	Descalibração.....	47
Gráfico 4.3 –	Erro de Leitura da Balança.....	48
Gráfico 4.4 –	Desalinhamento do Filme.....	49
Gráfico 4.5 –	Defeito no Mordendo.....	49
Gráfico 4.6 –	Acionamento da Descarga	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Determinação dos índices de Severidade	22
Tabela 2.2 -	Determinação dos índices de Ocorrência	22
Tabela 2.3 -	Determinação dos índices de Detecção	23
Tabela 4.1.1 -	Determinação dos índices de Severidade de Tempo.....	36
Tabela 4.1.2 -	Determinação dos índices de Severidade de Produto.....	36
Tabela 4.2 -	Determinação dos índices de Ocorrência do Setor	37
Tabela 4.3 -	Determinação dos índices de Detecção do Setor	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Delimitação do Tema.....	14
1.2	Problema	15
1.3	Objetivos.....	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	Justificativa	15
1.5	Estrutura do trabalho	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	Definição de Falha	18
2.2	Gráfico de Pareto.....	19
2.3	Definição de <i>FMEA</i>	20
2.4	Aplicação do <i>FMEA</i>	21
2.5	Apoio a Decisão Multicritério.....	23
2.5.1	Métodos de Critério Único de Síntese.....	24
2.5.2	Método <i>SMARTER</i>	24
2.5.3	Multicritério no Contexto de <i>FMEA</i>	25
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
3.1	Classificação da Pesquisa.....	27
3.2	Coleta de Dados	27
3.3	Etapas do Processo de Desenvolvimento	27
4	ESTUDO DE CASO	29
4.1	Descrição da Empresa	29

4.2	Setor de Massas.....	29
4.2.1	Linha 09 (M01).....	29
4.2.2	Linha 12 (M03).....	30
4.2.3	Linha 13 (M04).....	30
4.3	Setor de Embalagem.....	30
4.4	Mapeamento do Processo.....	30
4.4.1	Início da Fabricação	31
4.4.2	Moega	31
4.4.3	Moinho	32
4.4.4	Formação da Massa (Masseira)	32
4.4.5	Molde da Massa e Emparelhamento.....	32
4.4.6	Aerotermino (Pré-Secagem) e Encartamento (Secagem).....	32
4.4.7	<i>GPL</i> e Resfriadores Gradual e Final.....	32
4.4.8	Silos	33
4.4.9	Embalagem	33
4.5	Identificação das Falhas, Efeitos e Causas.	35
4.6	Avaliação dos Índices de Severidade, Ocorrência e Detecção.	35
4.7	Cálculo do <i>RPN</i> e Classificação das Falhas.....	38
4.7.1	Abordagem Multicritério para Estimação do Índice de Severidade.....	38
4.7.2	Cálculo do valor de risco <i>RPN</i>	38
4.8	Avaliação das Principais Falhas.....	40
4.9	Estabelecimento de um Cronograma para Revisão do <i>FMEA</i>.	40
4.10	Discussão Gerencial.....	41
4.10.1	Perdas de Produção.....	41
4.10.2	Discussão e Ações de Melhorias para as Principais Falhas.....	42
4.11	Análise de Sensibilidade.....	46

4.11.1	Defeito no Rolo de Selagem.....	47
4.11.2	Descalibração do Detector de Metais	47
4.11.3	Erro de Leitura da Balança	48
4.11.4	Desalinhamento do Filme.....	49
4.11.5	Defeito no Mordendo	49
4.11.6	Acionamento da Descarga.....	50
4.12	Etapas Futuras.....	50
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A – Planilha FMEA	58
	APÊNDICE B – Gráfico de Pareto	59

1 INTRODUÇÃO

Sob a perspectiva de diversas indústrias, a necessidade de planejamento e controle de suas operações, atividades e os materiais dos processos industriais têm aumentado consideravelmente, dado ao crescimento do mercado competitivo mais acirrado. Para tanto, as empresas estão buscando maneiras para que possam se manter saudáveis através da utilização de técnicas e ferramentas para satisfazer as necessidades dos clientes, além de aumentar a confiabilidade de seus processos (Krum, 2014).

Gobis & Campanatti (2012) afirmam que o uso das ferramentas de gestão nas organizações teve mudanças devido a fatores de aumento de concorrência, consumidores mais exigentes, além de fatores econômicos. Sendo assim, viu-se necessária a utilização de ferramentas mais adequadas para suprir esses fatores.

Diversas ferramentas e técnicas, existem para auxiliar a gestão empresarial a fim de garantir um crescimento saudável e sustentável de uma empresa no mercado consumidor. Carpinetti (2012) menciona algumas: *Brainstorming*, Gráfico de Pareto e de Controle, Diagrama de Causa e Efeito. Além dessas, Filho & Neto (2016) falam sobre a utilização de ferramentas como a Metodologia de Análise e Solução de Problemas, conhecida como *MASP*.

Dentre as ferramentas da qualidade pode-se destacar, a Análises de Modos de Falhas e Efeitos (*FMEA*), por essa ser fortemente viável para realizar um levantamento de falhas no processo produtivo, além de propor possíveis melhorias, visto que falhas ocorrem constantemente no ambiente industrial, ou seja, *FMEA* tem destaque para dar o suporte adequado à prevenção de falhas e aumento da confiabilidade (Frank *et al.*, 2013).

De acordo com Gilchrist (1993), quando bem aplicado, o *FMEA* traz diversos benefícios, entre eles pode-se destacar: levantamento dos riscos das falhas, estabelecimento de classificação das principais falhas do processo, além de estabelecer uma lista com uma série de ações preventivas e melhorias a fim de controlar ou remover as falhas do processo. Para Palady (1997), o *FMEA* permite visualizar problemas que não foram antes antecipados, permitindo assim uma ordem de prioridades para a correção dos mesmos.

A ferramenta *FMEA* pode ser aplicada tanto no desenvolvimento de novos produtos, bem como em produtos já no mercado consumidor, devido ser uma das principais ferramentas utilizada para aumentar a confiabilidade de um produto (Ferreira & Toledo, 2001). Por exemplo, o caso de uma empresa do setor automobilístico a nível mundial, a Alfa Auto, em que

no ano de 2009 teve um grande número de reclamações por defeitos no ar condicionado, dado isso a empresa elaborou e aplicou o *FMEA*, após isso foi coletado defeitos de climatização em veículos fabricados entre Fevereiro e Outubro de 2010, obtendo uma massiva redução com o desenvolvimento da ferramenta *FMEA* (Ramos & Chaves & Brandalise, 2012).

Quando se fala de indústria alimentícia, o Brasil tem destaque a nível mundial no setor. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA, 2018), nos últimos anos houve um crescimento do faturamento, chegando a R\$ 656 bilhões no ano de 2018 o setor conta com aproximadamente 36 mil indústrias de todos os portes.

Diversos problemas ocorrem constantemente nas indústrias de todos os ramos, problemas que podem ser especificados de acordo com Shingo (1996), são elas: Perdas por superprodução, transporte, processamento em si, fabricar produtos defeituosos, espera, no movimento e por fim, por estoque.

Na indústria alimentícia não é diferente, dados coletados nos meses anteriores na empresa a qual o trabalho será executado, é visto diversas consequências devido a estas perdas, dentre elas: quebra de equipamentos, paradas não programadas, reprocesso de produtos, além da própria perda do produto acabado, sendo que tudo isso implica no faturamento da empresa.

Sendo assim, neste estudo foi utilizada a ferramenta *FMEA* em um dos setores do processo produtivo de uma linha de massas em uma empresa do ramo de produtos alimentícios do agreste pernambucano, fazendo o levantamento dos modos de falhas potenciais, além das possíveis causas de paradas do processo e propor melhorias a fim de assegurar o crescimento competitivo e sustentável da empresa, garantindo assim uma melhor utilização de seus recursos e um potencial aumento de sua lucratividade.

1.1 Delimitação do Tema

No setor de produção de massas, o processo que representa o gargalo é a de embalagem, que contém atividades desde o corte da massa (serra) até a paletização dos fardos (streichadeira), esse estudo estará fundamentado em uma das quatro linhas de produção de massas alimentícias, mais precisamente no equipamento de alimentação do setor de embalagem.

1.2 Problema

A necessidade de atuação para aplicação de alguma ferramenta no setor foi observada e também recomendada pelo supervisor do setor, dado que além de ser o gargalo do processo produtivo, há uma alta taxa de ocorrência de paradas, devido as diferentes causas em suas atividades, ocasionando então perdas, desde tempo de fabricação até a perda de produto fabricado, gerando assim custos desnecessários para a linha produtiva e consequentemente a indústria.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho, tem por objetivo realizar a aplicação da Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*FMEA*) no setor de embalagem de uma linha de massas alimentícias em uma indústria de alimentos do agreste pernambucano, a fim de garantir uma redução nas paradas e perdas do setor.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar o levantamento das falhas do setor de embalagem;
- b) Propor melhorias a fim de reduzir as falhas do setor;
- c) Estabelecer um cronograma de revisão do *FMEA* para garantir sua manutenção.

1.4 Justificativa

A utilização do *FMEA* estabelece para o setor ou operação ao qual foi aplicada, uma planilha classificando os modos de falhas potenciais que podem ocorrer, sendo assim possível avaliar esses e estabelecer ações preventivas para que sejam extinguidas ou reduzidas as perdas devido aos modos de falhas. Souza & Andrade (2018), em seu estudo aplicaram a ferramenta *FMEA* em uma empresa de mineração, obtiveram diversos dados sobre os problemas do processo, identificam que poucas de várias causas representavam quase todos os problemas do processo.

Rodrigues & Cortez & Cavaignac (2018), em seu estudo da aplicação do *FMEA* na área de segurança do trabalho, identificou quais das operações em uma empresa de construção civil devem ser priorizadas, a fim de garantir a segurança do operador, consequentemente garantir um trabalho mais adequado e também evitar problemas desnecessários para a empresa.

Visto que o setor ao qual a ferramenta será aplicada, é o gargalo do processo produtivo com um alto número de paradas em um curto intervalo de tempo, foi clara a necessidade da atuação para a eliminação ou redução das falhas e perdas existentes no processo, que mesmo com uma pequena redução dessas paradas através da avaliação dos resultados da aplicação do *FMEA* é algo muito considerável a todo o setor de massas e consequentemente a empresa.

Assim, esse trabalho se justifica na necessidade de formulação do *FMEA* para o setor de embalagens de uma linha de produção de massas, que representa uma das principais causas de falhas e consequentemente perdas de todo o processo produtivo. Sendo assim, os resultados obtidos deste trabalho poderão vir a ter um forte impacto na produção e consequentemente na lucratividade da empresa.

1.5 Estrutura do trabalho

Esse trabalho foi dividido em 5 capítulos que seguem o raciocínio da seguinte forma:

- ✓ Capítulo 1 (Introdução): Trata da abordagem ao assunto que será tratado, fazendo uma delimitação do tema em uma área específica, define os objetivos, além da justificativa para se realizar o trabalho e como se dá a estrutura do trabalho.
- ✓ Capítulo 2 (Referencial Teórico e Revisão da Literatura): Revisa os principais pontos dos conceitos que serão abordados no trabalho: definição de falhas, conceitos e aplicações do gráfico de Pareto, a metodologia *FMEA* e a definição e exemplos dos métodos de avaliação multicritério.
- ✓ Capítulo 3 (Procedimentos Metodológicos): Neste capítulo, é apresentado o trabalho quanto a classificação do enquadramento da pesquisa, o tipo de coleta dos dados do trabalho e as etapas de desenvolvimento do projeto.
- ✓ Capítulo 4 (Estudo de Caso): Neste capítulo, apresenta todo o desenvolvimento do processo, faz uma apresentação da empresa, do setor a qual a ferramenta foi aplicada, mostrando o mapeamento do processo, após isso é mostrado como se

deu o desenvolvimento da ferramenta *FMEA* e sua avaliação. Ainda nesse capítulo, é apresentado alguns dados que mostram os problemas encontrados no setor e os possíveis resultados com o desenvolvimento do trabalho.

- ✓ Capítulo 5 (Conclusão): Apresenta as conclusões obtidas com o trabalho, limitações, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo revisa os principais pontos referentes à definição de falhas, a definição do gráfico de Pareto, a definição de *FMEA*, como se dá à aplicação do *FMEA* e a definição de avaliação multicritério.

2.1 Definição de Falha

Slack & Chambers & Johnston (2002) abordam que nenhum processo produtivo é livre da ocorrência de falhas e defeitos, sendo essencial para qualquer organização ter o controle desses, a fim de evitar prejuízos para a organização.

Sendo assim, necessário entender que falhas e defeitos são diferentes em qualquer processo. De acordo com Fagundes & Almeida (2004), há diferença entre uma falha e um defeito. A falha é “toda alteração física ou química no estado de funcionamento do equipamento que impede o desempenho de sua função requerida e o leva invariavelmente à indisponibilidade”, já o defeito é “toda alteração física ou química no estado de funcionamento de um equipamento que não o impede de desempenhar sua função requerida, podendo o mesmo operar com restrições”.

Para isso, o controle e aprimoramento do processo produtivo visam além do mais, garantir que a ocorrência de falhas possa ser prevenida, combatendo as possíveis causas e buscando modos de se recuperar em casos que uma ou mais falhas ocorram (Slack & Chambers & Johnston, 2002). Rodrigues (2004) definiu um conjunto dos tipos de falhas que podem ocorrer ao longo de um processo:

- ✓ Falhas prematuras ou de partida: Ocorrem no início do processo produtivo e sua relação se dá aos equipamentos operacionais, capacitação da mão-de-obra e falta de informação sobre a operação.
- ✓ Falhas aleatórias ou casuais: Ocorrem durante o processo produtivo, são falhas que ocorrem aleatoriamente e podem ser de característica técnica, operacional e humana.
- ✓ Falhas por desgaste: Ocorrem devido ao tempo de utilização de um equipamento e sua vida útil, sendo a manutenção benéfica ou maléfica a esse tipo de falha, prolongando a vida útil e prevenindo possíveis falhas, ou se a manutenção não for

adequada ou não for realizada antecipando o fim da sua vida útil e aumentando a taxa de ocorrência das falhas.

Visto isso, é necessário para todo e qualquer processo produtivo buscarem maneiras que possam vir a prevenir e controlar essas falhas, a fim de garantir que a operação seja realizada de modo eficiente e eficaz, reduzindo perdas no processo provenientes das falhas, aumentando a confiabilidade do processo e também a confiabilidade do cliente.

2.2 Gráfico de Pareto

Ao final do século XIX, o economista italiano Vilfredo Pareto concluiu que 80% da riqueza da população estavam concentradas em uma parcela de 20% da população, assim Juran adaptou para ser uma representação em que 80% dos problemas são provenientes de 20% das causas (Carvalho *et al.*, 2012).

Sendo assim, Peinado & Graeml (2007) abordam que essa pequena quantidade de problemas e causas de um todo devem ser resolvidas, devido a serem os mais representativos, tornando mais prático agir em algumas causas do que agir sobre todo o problema.

Peinado & Graeml (2007), ainda apresentam como se dá a elaboração do gráfico de Pareto:

- 1) Colocam-se os problemas em uma coluna, seguido de seus respectivos números de ocorrência.
- 2) Colocam-se os problemas de acordo com seus números de ocorrência em ordem crescente.
- 3) Faz a operação matemática para achar o percentual de cada problema em virtude do número total de ocorrências.
- 4) Elabora-se um gráfico de barras com os problemas no eixo horizontal e o número de ocorrências no vertical, com uma linha tracejada indicando o percentual de cada.
- 5) Procuram-se ações para que os problemas que representem cerca de 80% das ocorrências sejam priorizados.

Fonseca *et al.* (2018) em um estudo sobre falhas e problemas encontrados no processo de produção de embalagens secundárias, aplicaram o gráfico de Pareto em virtude de três análises de consequências dos mesmos defeitos, essas consequências são: ocorrência de defeitos,

retrabalho e refugo, e nas três um dos defeitos foi o mais representativo variando em torno de 60% dos problemas, para os autores esse problema foi priorizado no momento de realização das ações de melhorias, vistos que consideraram que os outros por representarem uma taxa quase que a mesma não eram necessários tomar medidas de correção naquele momento.

2.3 Definição de *FMEA*

O *FMEA* surgiu em 9 de novembro de 1949, com o exército americano, que a partir de um procedimento militar feito para demonstrar os efeitos de falhas em equipamentos nos sistemas, fazendo uma classificação de acordo com sucessos de missões, contingentes e equipamentos (Sakurada, 2001). Com o passar do tempo, no ano de 1976 o ramo automobilístico passou a utilizar o *FMEA* para evitar que problemas provenientes do processo produtivo chegassem ao mercado consumidor (Dailey, 2004). De acordo com Yang *et al.*(2006), *FMEA* se trata de uma ferramenta que tem o objetivo de identificar as falhas do sistema, processo ou produto, visando minimizar ou eliminar essas falhas antes que aconteçam.

Segundo Stamatis (2003), existem quatro tipos de *FMEA*:

- ✓ *FMEA* de sistema: Utilizado para fazer a análise das falhas potenciais de um sistema e subsistemas, causados devido a deficiências dos sistemas ou de suas funções, as análises são feitas a partir das interações entre os sistemas e elementos do sistema;
- ✓ *FMEA* de produto: Utilizado para fazer a análise das falhas de um projeto de produtos antes de sua fabricação, essas falhas são causadas por deficiências no projeto dos produtos;
- ✓ *FMEA* de processo: Utilizado para fazer a análise das falhas de um processo de fabricação ou montagem, essas falhas são causadas por deficiências no processo de fabricação ou montagem;
- ✓ *FMEA* de serviço: Utilizado para fazer a análise das falhas de um serviço antes que ele chegue ao consumidor, essas falhas são causadas por deficiências no sistema ou na prestação do serviço;

Stamatis (2003) ainda apresenta alguns dos benefícios que a aplicação bem sucedida do *FMEA* pode oferecer, são alguns exemplos:

- ✓ Estabelecimento de uma ordem de necessidade de ações de melhoria;

-
- ✓ Identificação de falhas e gargalo do sistema;
 - ✓ Redução de custos;
 - ✓ Maior qualidade e confiabilidade do processo e produto;
 - ✓ Melhora o desempenho das equipes;
 - ✓ Redução de lead-time;
 - ✓ Antecipação de falhas.

Macedo & Nardini & Ferrer (2005), apresentam alguns benefícios que o *FMEA* trouxe a uma determinada empresa. O *FMEA* foi utilizado com o objetivo de revisar e aprimorar o processo de usinagem de discos de frenagem. Foram identificados aproximadamente 400 modos de falhas potenciais, sendo que para cada modo geralmente ocorriam devido a três causas, tendo um total de 1250 causas. Após a análise feita a partir da elaboração do *FMEA* e as ações recomendadas terem sido realizadas, a empresa conseguiu diminuir em um período de seis meses aproximadamente 20% de refugo, que era um dos principais problemas para a empresa, reduzindo a necessidade de realização de horas-extras, desgastes de equipamentos, pois não havia tempo para realizar manutenções preventivas, dentre outros fatores.

2.4 Aplicação do *FMEA*

A aplicação do *FMEA* se trata da formação de uma tabela com uma análise quantitativa de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). A severidade para Thyssenkrupp (2006), é o efeito de quão severo o modo de falhas que o cliente pode perceber. A ocorrência para Santanna & Junior (2011), é a probabilidade de ocorrência da falha durante a vida útil. E por fim, a detecção que de acordo com Thyssenkrupp (2006), é o valor atribuído a possibilidade de detecção pelo sistema antes que ele ocorra.

De acordo com Palady (1997), o *FMEA* é elaborado em 7 passos:

- 1) Identificação das etapas do processo;
- 2) Levantamento das possíveis falhas que podem ocorrer no processo;
- 3) Identificação dos possíveis efeitos dessas falhas;
- 4) Identificação das possíveis causas para cada modo de falha;
- 5) Avaliar os índices de acordo com a probabilidade de severidade, ocorrência e detecção;

- 6) Realizar o cálculo de prioridade de risco (*RPN*) a partir da multiplicação dos três índices;
- 7) Direcionar atividades de correção e melhoria para as falhas de maior prioridade de acordo com o cálculo do *RPN*.

Para a determinação das notas de acordo com o 5º passo (Severidade, Ocorrência e Detecção), Toledo & Amaral (2006) elaboraram tabelas para que possa auxiliar o estabelecimento dos índices, presentes das tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 respectivamente.

*Tabela 2.1 – Determinação dos índices de Ocorrência.
Fonte Toledo & Amaral (2006).*

SEVERIDADE		
ÍNDICE	SEVERIDADE	CRITÉRIO
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorreu.
2	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente.
3		
4	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente.
5		
6		
7	Alta	Sistema deixa de funcionar e há grande descontentamento do cliente.
8		
9	Muito Alta	Idem ao anterior, porém afeta a segurança.
10		

*Tabela 2.2 – Determinação dos índices de Ocorrência.
Fonte Toledo & Amaral (2006).*

OCORRÊNCIA			
ÍNDICE	OCORRÊNCIA	PROPORÇÃO	CPK
1	Remota	1:1.000.000	$C_{pk} > 1,67$
2	Pequena	1:20.000	$C_{pk} > 1,00$
3		1:4.000	
4	Moderada	1:1.000	$C_{pk} < 1,00$
5		1:400	
6		1:80	
7	Alta	1:40	
8		1:20	
9	Muito Alta	1:8	
10		1:2	

Tabela 2.3 – Determinação dos índices de Detecção.
 Fonte Toledo & Amaral (2006).

DETECÇÃO		
<i>ÍNDICE</i>	<i>DETECÇÃO</i>	<i>CRITÉRIO</i>
1	<i>Muito Grande</i>	<i>Certamente será detectado.</i>
2		
3	<i>Grande</i>	<i>Grande probabilidade de ser detectado.</i>
4		
5	<i>Moderada</i>	<i>Provavelmente será detectado.</i>
6		
7	<i>Pequena</i>	<i>Provavelmente não será detectado.</i>
8		
9	<i>Muito Pequena</i>	<i>Certamente não será detectado.</i>
10		

Por fim, o risco *RPN* será calculado a partir da multiplicação dos três índices, gerando assim uma classificação decrescente dos modos de falhas potenciais, para que possam ser avaliados e recomendada ações para eliminar ou prevenir tais falhas.

Souza (2012), em seu projeto, procurou adaptar a aplicação da ferramenta *FMEA* considerando os conceitos da manufatura enxuta, avaliando não somente as falhas de um processo, mas também o fluxo de informação entre eles, procurando identificar as melhorias para ambos, a fim de garantir que os conceitos da produção enxuta sejam alinhados aos objetivos do *FMEA*.

Oliveira & Paiva & Almeida (2010) realizaram um estudo em qual propôs a utilização integrada do *FMEA* com a *FTA* tornando a aplicação das ferramentas uma forma de facilitar a visualização, auxiliando a tomada de decisões a partir das análises realizadas, melhorando as ações pela possibilidade de entender os pontos críticos de cada ação tomada.

2.5 Apoio a Decisão Multicritério

Em todo processo de decisão tem-se as alternativas, os critérios e as consequências (Almeida, 2011). Critérios esses que são definidos pelo decisor ou já atribuídos pelo próprio

problema em questão, como a cor de um carro que o decisor quer comprar, e devido a avaliação de alguns critérios de tomada de decisão serem conflitantes, surge a necessidade de métodos que possam ser eficazes nesse tipo de avaliação (Brans & Mareschal, 2005). Sendo assim, a utilização dos métodos multicritério é específica para solucionar esses problemas, além de ser vastamente abrangente, tem sua utilização em modais de transporte, locais de estudo (Saaty, 2005); seleção de fornecedores (Tramarico *et al.*, 2012; Deng *et al.*, 2014); planejamento e programação de recursos e gerenciamento da cadeia de suprimentos (Subramanian & Ramanathan, 2012).

De acordo com Almeida (2011), um problema multicritério é caracterizado pela existência de mais de uma alternativa, sendo necessário atender mais de um objetivo, geralmente conflitantes. Almeida (2011) ainda traz uma diferença entre os métodos de soluções dos problemas multicritério, eles são classificados em Métodos de Agregação Aditivos, Ordinais, Sobreclassificação, além de existirem outros. Dentre os métodos de avaliação multicritério pode-se destacar: *AHP*, *PROMETHEE*, *ELECTRE* (Rodrigues & Martins & Monteiro, 2001).

2.5.1 Métodos de Critério Único de Síntese

De acordo com Almeida (2010) métodos de agregação aditivos, consistem em atribuir uma função valor $v_j(a)$ para cada critério j , de modo que a soma de cada função valor do critério multiplicados por seus respectivos pesos, k_j , irão representar uma função valor global $v(a)$:

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j \cdot v_j(a), \text{ dado que } \sum_{j=1}^n k_j = 1$$

Logo será escolhida a alternativa com o maior valor de $v(a)$, além disso, a função de agregação aditiva só será verdadeira, se os critérios forem mutuamente independentes em preferência.

2.5.2 Método *SMARTER*

Um dos métodos de agregação aditiva é o *SMARTER*, que é uma variação de outro método de agregação aditiva o *SMARTS*, que foi proposto por Edwards & Barron (1994). Esse método se baseia na obtenção das constantes de escala a partir do procedimento *swing*. Almeida (2011) traz como se dá à aplicação do método, através dos seguintes passos:

-
- 1) Propósitos e Decisores: Nesta etapa são identificados os decisores e os propósitos do problema.
 - 2) Obtenção da Estrutura dos Atributos: Nesta etapa, os objetivos e suas variáveis são estabelecidos, de modo que se deve refinar a lista para que não tenha atributos de pouca importância.
 - 3) Estabelecimento das Alternativas: Nesta etapa, são identificadas as alternativas para o problema.
 - 4) Construção da Matriz de Consequências: Esta etapa ocorre a obtenção da matriz de consequências para as alternativas de acordo com seus critérios, podendo ser representada por avaliações ou valores.
 - 5) Eliminação das Alternativas Dominadas: Nesta etapa, a ocorre a eliminação das alternativas dominadas, são as alternativas que não serão escolhidas de forma alguma.
 - 6) Construção da Matriz de Avaliação: Nesta etapa, é obtido as funções valor dos critérios, de modo que esses critérios estejam em uma mesma escala, ou seja, todos os critérios devem ser convertidos para uma mesma escala de avaliação.
 - 7) Efetuar Parte 1 do Swing para ordenação dos Critérios: Nesta etapa, ocorre a ordenação dos critérios a partir de perguntas realizadas ao decisor para saber suas preferências em relação aos critérios mais importantes, essas perguntas são simples, e colocam o decisor para escolher o que ele acha melhor, de modo que ele esteja na pior situação.
 - 8) Obtenção dos Pesos: Esta etapa é o que difere o método *SMARTER* do método *SMARTS*, a partir da ordenação obtida na etapa anterior, é realizado cálculos pelo procedimento *ROC (Ranking Ordered Centroid)*, que é a aplicação da equação para a obtenção dos pesos, considerando n critérios de modo que os pesos são $w_1 \geq w_2 \geq w_i \geq w_n$, a equação é mostrada a seguir:

$$w_i = 1/n \sum_{j=i}^n 1/j \quad \therefore i = 1, 2, \dots, n$$

2.5.3 Multicritério no Contexto de *FMEA*

A utilização de mais de uma metodologia ou ferramentas em um problema pode auxiliar na resolução do mesmo, logo a utilização da avaliação multicritério juntamente com o *FMEA* pode vir a facilitar o seu desenvolvimento e aplicação. Pedrosa (2014) utilizou do método

multicritério *AHP* em conjunto a aplicação do *FMEA*, com o desenvolvimento do *FMEA* ele obteve os *RPN* para as falhas, sendo que utilizou do método multicritério para realizar uma avaliação quanto ao risco que a falha apresenta, para assim tomar uma decisão quanto ao direcionamento das melhorias. Inácio & Barbieri & Lima (2016) elaborou uma estrutura com a aplicação do *FMEA* combinado ao método *AHP* para dá priorização a equipamentos eletromecânicos.

Cavalcante *et al.* (2007) utiliza do método multicritério *PROMETHEE II* para estabelecer a priorização das falhas mais críticas como uma alternativa a aplicação do *FMECA*, levando em conta que apenas a multiplicação dos índices do *FMEA* podem não retratar a realidade crítica das falhas, fazendo também com que haja uma maior interação com as preferências dos decisores.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta etapa do projeto, são apresentadas brevemente as classificações da pesquisa, como se deu a coleta dos dados, e por fim, um breve resumo de como foi separada as etapas para elaboração da ferramenta.

3.1 Classificação da Pesquisa

A pesquisa é definida com base nos objetivos de pesquisa exploratória, descritiva e explicativa. De acordo com Turrioni & Mello (2012), uma pesquisa exploratória procura construir hipóteses com base em informações adquiridas de levantamentos, a descritiva visa descrever características a partir de técnicas de pesquisas e a explicativa procura explicar a razão da ocorrência de determinados fatores.

3.2 Coleta de Dados

A coleta de dados se deu através da avaliação pelos profissionais pertencentes ao quadro funcional do setor de embalagem de uma das linhas de massas da empresa Vitamassa, a qual foi indispensável à colaboração para as pesquisas. Essas pesquisas foram realizadas durante o primeiro turno operacional da empresa.

3.3 Etapas do Processo de Desenvolvimento

O projeto foi desenvolvido a partir da elaboração e aplicação da ferramenta *FMEA* em uma indústria do ramo de alimentos no setor de embalagem de massas na cidade de Caruaru-PE, de acordo com as definições de alguns autores (Palady, 1997; Slack & Chambers & Johnston, 2002; Yang *et al.* 2006; Stamatis, 2003), além de se basear em outros trabalhos expostos anteriormente, visando assim realizar uma mesclagem de conceitos e exemplos, para que os resultados propostos sejam alcançados.

O projeto foi desenvolvido em sete etapas: Mapeamento do Processo, Identificação das Falhas, Efeitos e Causas, Avaliação dos Índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, Cálculo do RPN e Classificação das Falhas, Avaliação das Principais Falhas e Estabelecimento de um

Cronograma para Revisão do FMEA, a Figura 3.1 representa as etapas de desenvolvimento do projeto.

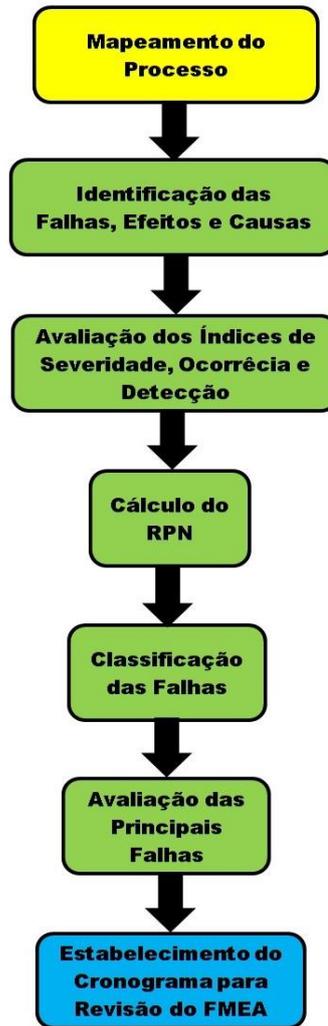


Figura 3.1 – Etapas do Projeto.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da Empresa

A empresa em questão é uma indústria de alimentos atuante em quase todos os estados das regiões norte e nordeste do Brasil, dispondo de duas unidades: a unidade sede, localizada em Caruaru-PE, onde atualmente ocorre toda a produção de todos os setores em que atua, e a unidade filial de Queimadas-PB, que no momento funciona apenas com a produção de café e centro de distribuição.

No total são mais de 700 colaboradores, atuando nos setores de Recursos Humanos, Administração, Marketing, Produção, Vendas, Almoxarifado, Expedição, Logística, Qualidade, Segurança e Saúde do Trabalhador, entre outros. Nos setores de maior demanda, os colaboradores são distribuídos em até três turnos de trabalho, totalizando 24 horas de produção diárias.

A indústria atua nos segmentos de Biscoitos, Massas, Misturas para Bolo, Café, Salgadinhos e no segmento de Água Mineral, tendo, no total, 16 linhas de produção e um mix de mais de 30 diferentes produtos.

4.2 Setor de Massas

Dentre as 16 linhas de produção, o setor de massas possui quatro linhas de produção, sendo que a linha 10 (M02) está desativada, o setor de massas possui uma única área destinada ao recebimento, armazenamento e abastecimento de matéria-prima (Farinha de Trigo) que é utilizada por todas as linhas produtivas de massas, através de um sistema de distribuição por silos.

4.2.1 Linha 09 (M01)

Compreende a linha fabril de macarrão longo: Espaguete, Espaguete Fino e Talharim, composta por vários setores distintos, são eles: Masseuras, Pré-secagem, GPL (galeria de pastas longas), Resfriador, Serra e Empacotamento. Com uma capacidade de produção de 1.200 kg/h.

4.2.2 Linha 12 (M03)

Compreende toda a linha fabril de macarrão curto: Ninho, Argola, Penne, Parafuso e Búzio, composta por vários setores distintos, são eles: Moega, Masseuria, Secagem e Empacotamento.

4.2.3 Linha 13 (M04)

Compreende a linha fabril de macarrão longo, composta por vários setores distintos, são eles: Masseurias, Pré-secagem, Secagem, *GPL* (galeria de pastas longas), Resfriador Gradual, Resfriador Final, Silos, Serra e Empacotamento. Com uma capacidade de produção de 2.500 kg/h.

4.3 Setor de Embalagem

O setor de embalagem das linhas de produção de massas é composto pela Serra, Gira-Pasta, Balanças 1 e 2, Alimentadora, *Check-Weigher*, Detector de Metal, Enfardadeira e Strechadeira, o setor é responsável pelo empacotamento do macarrão pronto até o momento da formação do *palet* para ser liberado para a expedição.

4.4 Mapeamento do Processo

Aqui estão descritas todas as etapas de uma das linhas de produção de massa longa, especificamente macarrão aliança, sendo toda a linha ao qual pertence o setor de embalagem para qual foi elaborado *FMEA*, a Figura 4.1 representa o processo de fabricação da linha M04, e a Figura 4.2 representa o processo do setor de embalagem da mesma linha.

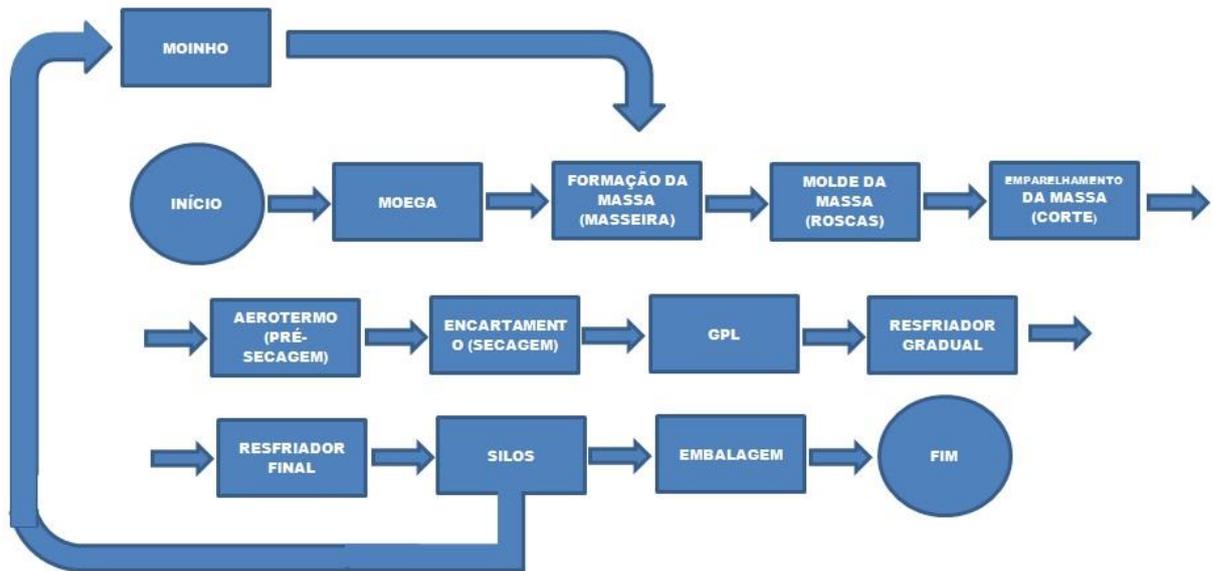


Figura 4.1 – Linha M04.

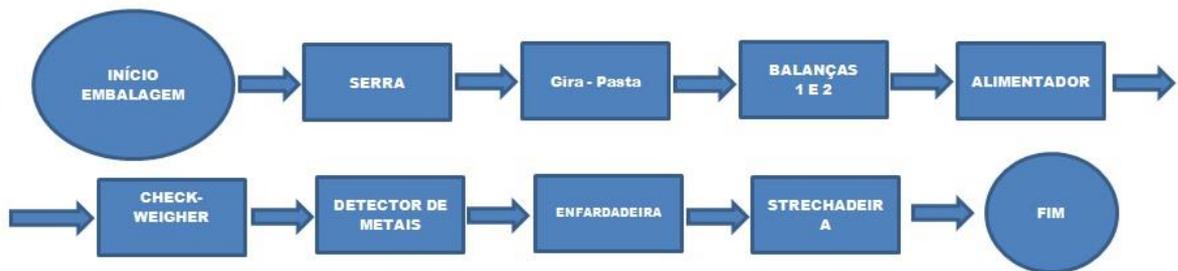


Figura 4.2 – Setor de Embalagem da Linha M04.

4.4.1 Início da Fabricação

No início acontece à chegada da matéria-prima para armazenamento, essa matéria-prima é a farinha de trigo, que vem em sacos grandes chamados de *Big-Bags*, transportados por caminhões, logo após o armazenamento e avaliação por parte da Qualidade, a farinha é liberada para a fabricação das massas com a etapa da Moega.

4.4.2 Moega

É a etapa de abastecimento de matéria-prima (farinha de trigo) nos silos. Na moega a farinha recebida passa por uma armadilha magnética, com o objetivo de evitar que partículas de metal entrem no processo. Em seguida, a farinha passa por um turbo peneira, evitando que sujidades entrem no processo. A moega é dividida em vários equipamentos: Rosca da moega, rosca alimentadora de pó fino, turbo peneira, exclusiva, compressor.

4.4.3 Moinho

É a etapa de abastecimento de reprocesso em um silo específico. No moinho o produto a ser reprocessado é colocado na máquina para que a máquina possa fazer a moagem, armazenar no silo, e depois distribuir para a masseira.

4.4.4 Formação da Massa (Masseira)

Na masseira, adiciona-se água e corante (caso necessário) à farinha, onde é realizado um processo de centrifugação (pré-mistura). Em seguida, ocorre a homogeneização da massa, onde a mesma sofre algumas alterações físico-químicas até formar uma espécie de liga.

A mistura é encaminhada até a masseira a vácuo, onde a pressão negativa existente em seu interior fará com que sejam retiradas as bolhas de ar formadas no processo de homogeneização.

4.4.5 Molde da Massa e Emparelhamento

Nesta etapa, a massa é encaminhada até as camisas de extrusão, e por meio de uma rosca sem fim, são prensadas contra o cabeçote (distribuidor) e direcionadas para a matriz (trafila) que é responsável por moldar a massa, logo será a trafiladora quem determinará o tipo de produto que será produzido. Após essa etapa, a massa é cortada e organizada (estendida) em canas (varas de alumínio). E, seguirão o percurso até o emparelhamento, onde esta será responsável por padronizar o comprimento final do filete. Além disso, todas as sobras (retalhos) da cortadora são transportadas pelo vibrador, e depois é mandado por pressão para a masseira, onde serão reprocessados.

4.4.6 Aerotermo (Pré-Secagem) e Encartamento (Secagem)

São compostas por um conjunto de galerias que apresentam temperaturas e umidades específicas, onde geralmente seguem um intervalo de controle, e que cada uma é responsável por uma das etapas de retirada de umidade do macarrão, cujo propósito é de retirar até 10% da umidade.

4.4.7 *GPL* e Resfriadores Gradual e Final

No *GPL* (galeria de pastas longas) e resfriamento é retirada a umidade do produto para que o mesmo chegue ao final na faixa de 12.5%.

4.4.8 Silos

Existem quatro silos ao final do processo de fabricação para que façam o armazenamento do produto para que possam seguir para a etapa de embalagem, esses silos tem a função de separar a etapa de embalagem da fabricação, garantindo assim que uma falha na produção não seja motivo de parada para a embalagem, e vice-versa.

4.4.9 Embalagem

É a etapa do processo que faz o corte e empacota a massa fabricado e faz verificações através de dispositivos de controle para que o produto possa ser distribuído ao consumidor final, composta por etapas apresentadas a seguir:

4.4.9.1 Serra

A cana, com massa seca (aproximadamente 12,5% de umidade absoluta), deposita o produto numa esteira (correia), e a mesma encaminha para a serra.

Neste último, o macarrão é cortado em três lugares distintos para que seja dividido em duas partes de comprimentos padrão. Onde, se cortam as pontas, o centro e a parte onde o macarrão faz uma curva em “C”, isto é, a parte do filete que é colocada em contato com as canas. Por fim, o produto cai no gira-pasta, e encaminhado as caçambas coletoras.

4.4.9.2 Balanças e Alimentadora

Nesta etapa o macarrão é descarregado pelas caçambas nas máquinas, cada máquina possui duas balanças para otimizar o procedimento, essas balanças são responsáveis pelo controle de peso fino e peso grosso para que possam descarregar a quantidade específica do produto fabricado. Na alimentadora, é onde o produto é acondicionado em filme específico e datado, a Figura 4.3 representa a alimentadora da embalagem fabricada pela *Alto-Pack*.



Figura 4.3 – Alimentadora Alto-Pack.

4.4.9.3 Check-Weigher e Detector de Metais

Como medida de controle, é utilizado um equipamento chamado *Check-Weigher* cuja função é verificar o peso do produto em movimento, visando que sigam um intervalo fixo padrão, caso contrário o pacote é rejeitado. Após isso é utilizado um detector de metais, cujo propósito é de ser uma última linha de defesa na cadeia produtiva, capaz de identificar metais dentro da embalagem fechada, cujo diâmetro siga um intervalo definido.



Figura 4.4 – Check-Weigher.



Figura 4.5 – Detector de Metais.

4.4.9.4 Enfardadeira e Strechadeira

É a etapa onde a massa é enfardada por uma máquina e liberado para armazenagem previamente identificado no *palet* que será envolto em um filme de plástico com algodão pela stretchadeira.

4.5 Identificação das Falhas, Efeitos e Causas.

Nesta etapa foi elaborada uma planilha que separa as falhas, efeitos e causas por cada etapa do procedimento de embalagem. Esse levantamento foi feito a partir de perguntas ao supervisor e a um técnico de manutenção de embalagens do setor, quais as falhas que podem ocorrer em cada etapa do processo, os efeitos que elas podem causar a produção e as possíveis causas para cada falha, cujo total de falhas levantadas foram de 40 falhas, apresentadas no Apêndice A.

4.6 Avaliação dos Índices de Severidade, Ocorrência e Detecção.

Foram elaboradas junto ao supervisor da área as tabelas com os índices para cada uma das avaliações, essas tabelas estão representadas a seguir.

As tabelas 4.1.1 e 4.1.2 representam a atribuição dos índices de severidade, foram elaboradas duas tabelas, esse fato se deu a existência de conflitos em relação a algumas consequências dos modos de falhas, a tabela 4.1.1 relaciona a avaliação quanto ao tempo de parada de equipamentos que prejudicam a produção, já a tabela 4.1.2 relaciona a avaliação quanto a perda de produto no processo de produção.

Quanto à avaliação dos índices na tabela 4.1.1 em um mesmo grau, o menor índice dentro de um grau representa que para aquele grau a característica avaliada é menos impactante quando comparado a uma falha mais impactante no mesmo grau. Para a tabela 4.1.2 em um mesmo grau, o menor índice dentro de um grau representa que para aquele grau a característica avaliada está relacionada a quantidade de produto que pode ser perdido devido a falha ocorrente, ou seja, se em falhas avaliadas no mesmo grau, pode haver um maior desperdício de produto.

Tabela 4.1.1 – Determinação dos índices de Severidade de Tempo.

SEVERIDADE (S)		
ÍNDICE	GRAU	CARACTERÍSTICA
1	Muito Baixo	Raramente causa parada do equipamento.
2	Baixo	Difícil causar parada do equipamento.
3		
4	Moderado	Pode causar parada do equipamento.
5		
6		
7	Crítico	Causa parada do equipamento.
8		
9	Muito Crítico	Causa parada total do equipamento, apresenta risco ao cliente.
10		

Tabela 4.1.2 – Determinação dos índices de Severidade de Produto.

SEVERIDADE (S)		
ÍNDICE	GRAU	CARACTERÍSTICA
1	Muito Baixo	Raramente causa perda de produto.
2	Baixo	Difícil causar perda de produto.
3		
4	Moderado	Pode causar perda de produto.
5		
6		
7	Crítico	Causa perda de produto.
8		
9	Muito Crítico	Causa perda de produto, produto vai para varredura.
10		

A Tabela 4.2 representa a atribuição dos índices de ocorrência de acordo com a frequência com que as falhas podem ocorrer em um determinado período, quanto à avaliação dos índices na tabela em um mesmo grau, o menor índice dentro de um grau representa que para aquele grau a característica avaliada tem uma frequência de ocorrência menor que em uma falha naquele mesmo grau.

Tabela 4.2 – Determinação dos índices de Ocorrência do Setor.

OCORRÊNCIA (O)		
ÍNDICE	GRAU	CARACTERÍSTICA
1	Frequência Muito Baixa	Mais de 1 vez por trimestre.
2	Frequência Baixa	Mais de 1 vez por mês
3		
4	Frequência Moderada	Mais de 1 vez por semana.
5		
6		
7	Muita Frequência	Mais de 1 vez por dia.
8		
9	Altíssima Frequência	Mais de 1 vez por turno.
10		

A Tabela 4.3 representa a atribuição dos índices de detecção de acordo com a possibilidade com que as falhas possam ser detectadas, quanto à avaliação dos índices na tabela em um mesmo grau, quanto menor o índice dentro de um grau menor a utilização de equipamentos para auxiliar na detecção, ou seja, para aquele grau a característica avaliada pode ser detectada apenas pela visão do operador, sinais sonoros ou parada imediata do equipamento ou da linha.

Tabela 4.3 – Determinação dos índices de Detecção do Setor.

DETECÇÃO (D)	
ÍNDICE	CARACTERÍSTICA
1	Muito Fácil de Detectar.
2	Fácil de Detectar.
3	
4	Provavelmente será Detectado.
5	
6	
7	Difícil de Detectar.
8	
9	Muito Difícil de Detectar.
10	

4.7 Cálculo do *RPN* e Classificação das Falhas.

Devido à avaliação do *FMEA* não permitir uma flexibilidade quanto à análise de uma falha apresentar mais de um índice de severidade para a mesma falha, se viu necessário a utilização de um método que permitisse agrupar os índices de severidade para a avaliação do *FMEA*.

Logo, foi utilizado o método de avaliação multicritério para sanar esse problema. Para isso, foi utilizado o método de agregação aditivo *SMARTER* para o cálculo dos índices de severidade.

4.7.1 Abordagem Multicritério para Estimação do Índice de Severidade

Para estimação dos índices de severidade foi utilizado o método de agregação aditivo *SMARTER*, de acordo com as etapas propostas por (Almeida, 2011).

Após a identificação dos elementos do problema de decisão, foram realizadas perguntas ao supervisor da área para identificar a sua prioridade em relação à perda de produto ou a perda de tempo de produção. Desta forma, obteve-se a ordem de importância dos critérios, e, conseqüentemente, a ordem de importância dos critérios. De posse da ordem, foi estimado o valor das constantes de escala de acordo com a equação:

$$w_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{j}$$

Como foram avaliados dois critérios, $n = 2$, obtendo dois valores de constante de escala, $w_1 = 0,75$ e $w_2 = 0,25$. A partir disso, foi obtido o valor dos índices de severidade para cada modo de falha, de acordo com o método.

4.7.2 Cálculo do valor de risco *RPN*

Após a atribuição dos índices de avaliação de cada uma das falhas, foi realizado o cálculo do risco *RPN*, fazendo a seguinte multiplicação de acordo com os passos do *FMEA*: $RPN = S \times O \times D$, isto é, multiplica-se os índices de severidade, ocorrência e detecção de cada modo de falha, sendo que o na obtenção dos índices de severidade utiliza-se o método multicritério *SMARTER*.

Já realizado o produto e estabelecido o *RPN* para cada uma das falhas, essas falhas foram classificadas em uma planilha, ordenando as falhas com maior *RPN* para as de menor *RPN*, cujo maior *RPN* obtido foi de 780 para um dos modos de falhas.

A planilha elaborada do *FMEA* pode ser observada no Apêndice A, apresentando os índices e os respectivos *RPN* para cada modo de falha, bem como, as principais falhas que serão avaliadas grifadas na cor amarela. A Figura 4.6 apresenta os 10 piores *RPN* encontrados e seus respectivos modos de falhas.

FMEA										
Item / Função do Processo	Modos de Falha Potencial	Peso Sev Produto	Peso Sev Tempo	Severidade de Produto	Severidade de Tempo	S	O	D	Risco (RPN)	Classificação
Alimentador (Auto-Pack e Stiavelli)	Defeito no rolo de selagem	0,75	0,25	9	10	9,25	10	8	740	1º
Detector de Metais	Descalibração	0,75	0,25	10	10	10,00	9	7	630	2º
Check-Weight	Erro de leitura da balança	0,75	0,25	9	10	9,25	8	7	518	3º
Alimentador (Auto-Pack e Stiavelli)	Desalinhamento do filme	0,75	0,25	8	9	8,25	7	8	462	4º
Enfardadeira	Defeito no mordendo	0,75	0,25	8	8	8,00	7	7	392	5º
Balança (Auto-Pack e Stiavelli)	Acionamento de descarga	0,75	0,25	9	6	8,25	4	7	231	6º
Balança (Auto-Pack e Stiavelli)	Falha operacional da balança	0,75	0,25	7	3	6,00	2	6	72	7º
Transportador	Defeito no sensor de descarga	0,75	0,25	4	5	4,25	3	4	51	8º
Alimentador (Auto-Pack e Stiavelli)	Alinhamento do colarinho	0,75	0,25	4	7	4,75	2	5	47,5	9º
Detector de Metais	Defeito elétrico	0,75	0,25	9	9	9,00	1	5	45	10º

Figura 4.6 – 10 Piores *RPN*.

De acordo com a Figura 4.6, os maiores *RPN* se encontram na alimentação do produto logo no começo do setor de embalagem, além dos dispositivos de detecção de problemas do setor, que são vistos como os mais críticos, representando 8 dos 10 maiores *RPN* encontrados. Essa criticidade é observada durante o dia-a-dia da linha, quando a maioria das falhas e perdas ocorrem nessas duas etapas do processo.

FMEA						
Item / Função do Processo	Modos de Falha Potencial	S	O	D	Risco (RPN)	Classificação
Alimentador (Auto-Pack e Stiavelli)	Defeito no rolo de selagem	9	10	8	720	1º
Detector de Metais	Descalibração	10	9	7	630	2º
Check-Weight	Erro de leitura da balança	9	8	7	504	3º
Alimentador (Auto-Pack e Stiavelli)	Desalinhamento do filme	8	7	8	448	4º
Enfardadeira	Defeito no mordendo	7	7	7	343	5º
Balança (Auto-Pack e Stiavelli)	Acionamento de descarga	10	4	7	280	6º
Balança (Auto-Pack e Stiavelli)	Falha operacional da balança	10	2	6	120	7º
Alimentador (Auto-Pack e Stiavelli)	Alinhamento do colarinho	7	2	5	70	8º
Alimentador (Auto-Pack e Stiavelli)	Desalinhamento da corrente	7	2	4	56	9º
Detector de Metais	Defeito elétrico	10	1	5	50	10º

Figura 4.7 – 10 Piores *RPN* sem multicritério.

Observando a Figura 4.7 que estabelece o cálculo dos *RPN* sem a utilização do método multicritério ocorre a substituição do 9º maior *RPN*, a saída do defeito no transportador, e a entrada de um defeito de desalinhamento na corrente. Para os *RPN* que serão avaliados para as propostas de melhorias, permanecem inalterados, exceto pelo fato de seus *RPN* serem menores em relação à Figura 4.6. Este fato pode ser considerado como específico do problema em questão, visto que em outras circunstâncias ou fatores a ordem das falhas pode ser alterada, pela utilização de outros métodos multicritério ou a sua não utilização.

4.8 Avaliação das Principais Falhas.

Para uma melhor avaliação e também pela possibilidade de intervenção foram separadas as 6 maiores falhas para que possam ser avaliadas. Essa priorização foi feita a partir de uma adaptação para o problema em questão, dos conceitos abordados anteriormente sobre o diagrama de Pareto, pois essas falhas representam aproximadamente 80% do somatório dos *RPN* de cada falha, diagrama esse apresentado no Apêndice B.

Assim junto ao mesmo supervisor e ao técnico de mecânica de embalagens, as falhas foram avaliadas observando o levantamento de suas possíveis causas e efeitos, quais seriam as possíveis melhorias que poderiam ser feitas para a eliminação ou redução dessas falhas. Logo foi feito para cada uma das seis e especificado na planilha do *FMEA* para que se possível realizar tais melhorias.

4.9 Estabelecimento de um Cronograma para Revisão do *FMEA*.

Foi estabelecido junto ao mesmo supervisor e técnico em mecânica de embalagens presentes nas outras etapas do projeto, um cronograma para que possa ser feito a revisão da planilha *FMEA*.

Verificando se mais falhas possam acontecer ou mudanças de índices de avaliação dos fatores, o cronograma estabelecido foi para que a cada três meses fossem reavaliados os índices de severidade, ocorrência e detecção, além de verificar diferentes modos de falhas que possam ocorrer no setor.

4.10 Discussão Gerencial

4.10.1 Perdas de Produção

Devido à alta taxa de ocorrência de paradas do setor de embalagem, há uma necessidade essencial de resolver as paradas rapidamente para que o setor volte a funcionar. A maioria dos efeitos dessas paradas para o setor tem relação com perdas de produção, devido à necessidade de descarte de produto para varredura, quando o produto se torna inutilizável, além do descarte para reprocesso, onde o produto volta ao início da linha de produção, sendo moído e colocado como matéria prima do processo.

Em análises feitas nos meses de Novembro e Dezembro de 2018, de indicadores de varredura, reprocesso e produção, foi identificada que no mês de Novembro houve uma média de produção diária de 32.000 kg de macarrão sendo que a programação diária tem uma média de 51.000 kg de macarrão, e ao final do mês os indicadores para varredura e reprocesso foram respectivamente, 9.451,1 kg e 139.995 kg.

Já no mês de Dezembro com dados obtidos até o dia 16 do mês, devido a uma parada para realizar 20 dias de limpeza em toda a indústria, houve uma média de produção diária de 60.000 kg de macarrão sendo que a programação diária tem uma média de 75.000 kg de macarrão, esse aumento de produção se deu ao fato da necessidade de suprir todos os dias que em que a produção será parada para limpeza, e ao final do mês os indicadores para varredura e reprocesso foram respectivamente, 5.617 kg e 81.450 kg.

A varredura pode acontecer em qualquer setor da linha de produção, mas o reprocesso é quase que em sua totalidade proveniente do setor de embalagem, pois o produto só pode ser reprocessado, para virar matéria prima, quando estiver acabado, antes que o mesmo seja embalado, a Figura 4.8 mostra os produtos ensacados para seguirem para o reprocesso.



Figura 4.8 – Produtos para reprocesso.

Outro fator interessante a ser analisado é o de tempo correspondente as paradas na linha de produção, no mês de Novembro de 2018 houve um tempo de aproximadamente 16 horas de parada de linha, logo essas 16 horas representaram uma perda de dois turnos de produção.

No mês de Dezembro de 2018 até o momento de parada da produção da indústria houve um tempo de aproximadamente 3 horas de parada de linha, se comparado ao mês de Novembro poderia haver uma redução significativa de tempo de paradas, mas isso se deu também pelo fato da produção e manutenção está utilizando a capacidade máxima para que os dias parados do mês possam ser supridos nos dias de produção do mês.

4.10.2 Discussão e Ações de Melhorias para as Principais Falhas

4.10.2.1 Pacote Não é Selado

O maior *RPN* e o maior causador de paradas do setor de embalagem é a falha quando o pacote de macarrão não é selado e ocasiona a parada da máquina, além de o produto e os seus subsequentes necessitarem serem retirados para ajuste da máquina.

Essa retirada de produto ocasiona o reprocesso ou até mesmo a perda (varredura), a Figura 4.9 mostra o que essa falha ocasiona no alimentador. Esse modo de falha ocorre na etapa de alimentação da máquina causado pelo atraso da entrega do produto pelo carrinho alimentador e também por uma falta de tensionamento dos roletes de selagem do alimentador.

Junto ao mecânico de embalagens e ao supervisor do setor, foi discutido para ser estabelecido um planejamento de manutenção preventiva para corrigir esse problema, esse planejamento é feito para que seja realizada diariamente na troca de turnos a lubrificação dos

cilindros por onde passa o filme da embalagem, além da lubrificação das paletas transportadoras do carrinho alimentador, e semanalmente realizar a troca da fita teflon acima dos roletes de selagem que é por onde passa a parte de baixo do pacote para ser selado.



Figura 4.9 – Falha de Selagem.

4.10.2.2 Descalibração do Detector de Metais

O segundo maior *RPN* e o segundo maior causador de desperdício de produto acabado do setor é a falha quando há uma descálbrção do detector de metais, ele começa a descartar exageradamente diversos pacotes de macarrão, a Figura 4.10 mostra uma das consequências dessa falha. Esse modo de falha ocorre devido a uma falha na vibração do detector e a problemas elétricos e eletrônicos do detector.



Figura 4.10 – Falha de Descalibração do Detector de Metais.

Junto ao mecânico de embalagens, ao supervisor da elétrica e ao supervisor de embalagens foi discutido para ser estabelecido um planejamento de manutenção preventiva para corrigir esse problema, esse planejamento é feito para que seja realizada semanalmente a troca da polia sincronizada do redutor, além de realizar uma verificação da calibração do detector de metais a cada hora, fazendo o teste com três amostras e anotando as observações encontradas.

A Figura 4.11 mostra as amostras para se fazer essa detecção, após realizar o procedimento e for observado a descalibração deve ser comunicado ao pessoal da elétrica para que tomem as medidas necessárias.



Figura 4.11 – Amostras de Verificação do Detector de Metais.

4.10.2.3 Descalibração da Balança

O terceiro maior *RPN* e o maior causador de desperdício de produto acabado do setor é a falha quando há uma descalibração na balança de alimentação do pacote essa falha gera tanto consequências no próprio alimentador, e na etapa futura de *check-weigher* que vai ser onde ocorre o descarte de produto devido a massa estar fora dos níveis aceitáveis, ele começa a descartar exageradamente diversos pacotes de macarrão, a Figura 4.12 mostra uma das consequências dessa falha. Esse modo de falha ocorre devido a uma falha nos componentes mecânicos e eletrônicos da balança.



Figura 4.12 – Falha de Descalibração da Balança.

Junto ao mecânico de embalagens e ao supervisor de embalagens foi discutido para ser estabelecido um planejamento de manutenção preventiva para corrigir esse problema, esse planejamento é feito para que seja realizada diariamente a calibração da balança.

4.10.2.4 Desalinhamento do Filme

Esse modo de falha acontece quando o sensor de fotocélula não consegue capturar a leitura do pacote, devido a uma falha de leitura pelo sensor de fotocélula, além da desregulagem das bobinas de filme, ocasionando a perda de macarrão e a parada da máquina.

Foi discutido para ser estabelecido um planejamento de manutenção preventiva para corrigir esse problema, esse planejamento é feito para que seja realizada diariamente a regulagem do sensor fotocélula, além da lubrificação dos cilindros por onde passa o filme da embalagem.

4.10.2.5 Terminal das Mordaças de Separação

Esse modo de falha acontece quando ocorre a falha de separação entre os fardos ou o fardo não é selado, ocasionando a derrubada dos pacotes de macarrão gerando uma necessidade de realizar o empacotamento em fardos de modo manual, além da perda de tempo de enfardamento visto que o fardo não vai para o *palet*.

Foi discutido para ser estabelecido um planejamento de manutenção preventiva juntamente com o pessoal da elétrica, além de colocar um dispositivo para reduzir impactos da atividade das mordaças.

4.10.2.6 Acionamento de Descarga da Balança

Esse modo de falha acontece quando ocorre uma falha no acionamento pelo sensor de descarga do produto para o carrinho transportador, essa falha geralmente ocorre devido ao acúmulo de produto não utilizado ou sobras que ficam entre os espaços vazios da balança, logo o produto acumula e ocasiona a parada da máquina, necessitando de uma calibração e limpeza.

Foi discutido para que quando visivelmente estiver acumulando restos de produtos, deve ser realizada uma pequena limpeza com ar comprimido e também por dia realizar uma pequena lubrificação das partes, visto que essa falha não tem uma frequência alta de ocorrência.

4.11 Análise de Sensibilidade

Dentre os modos de falhas analisados no desenvolvimento do FMEA, é observado que o decisor tem uma suma importância na atribuição dos valores das constantes de escala na avaliação multicritério, logo, se essas constantes tiverem valores diferentes, quais alterações podem ocorrer na classificação das falhas?

Assim foi realizado uma análise de sensibilidade dos valores das constantes de escala de cada um dos seis maiores *RPN*.

4.11.1 Defeito no Rolo de Selagem

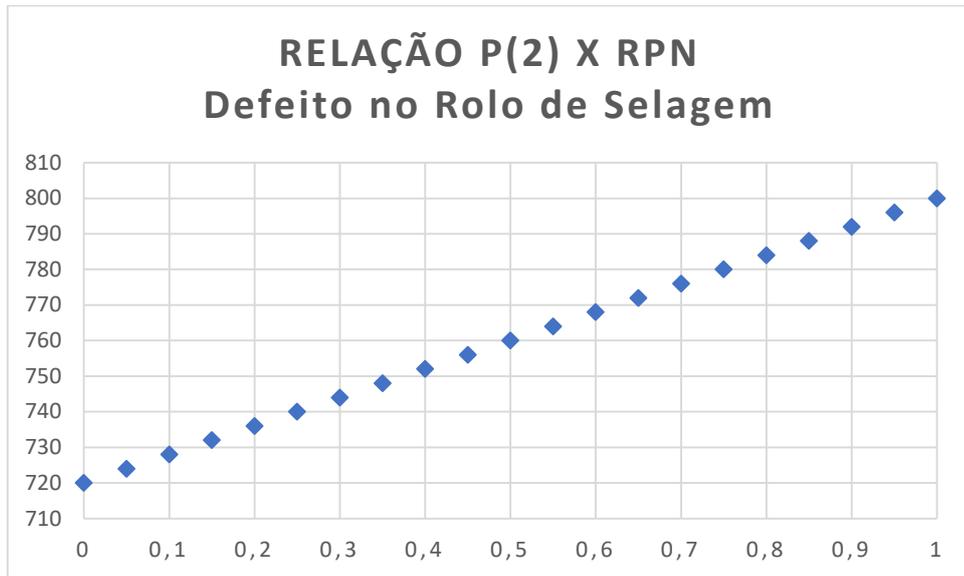


Gráfico 4.1 – Defeito no Rolo de Selagem.

De acordo com a figura 4.13, a medida que o peso atribuído a severidade de produto aumenta o valor do *RPN* também cresce, isso se dá devido ao valor atribuído ao índice de severidade de produto ser superior ao valor do índice de severidade de tempo. Sendo assim o *RPN* do defeito do rolo de selagem sempre será o maior dentre os *RPN*.

4.11.2 Descalibração do Detector de Metais

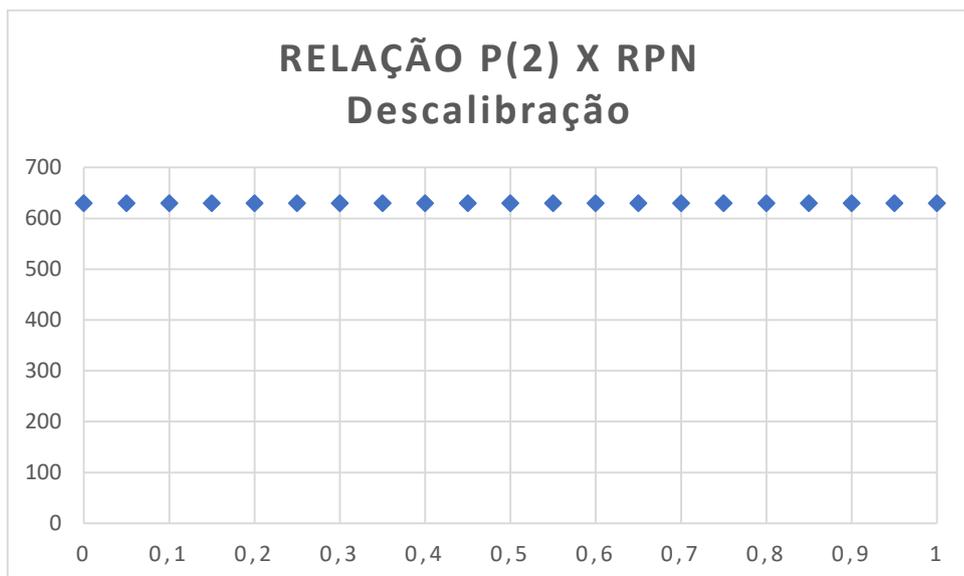


Gráfico 4.2 – Descalibração.

Já na figura 4.14, a medida que o peso atribuído a severidade de produto aumenta o valor do *RPN* continua constante, isso se dá devido ao valor atribuído ao índice de severidade de produto ser igual ao valor do índice de severidade de tempo. Sendo assim o *RPN* da descalibração do detector de metais pode ser ultrapassado por outros *RPN*.

4.11.3 Erro de Leitura da Balança

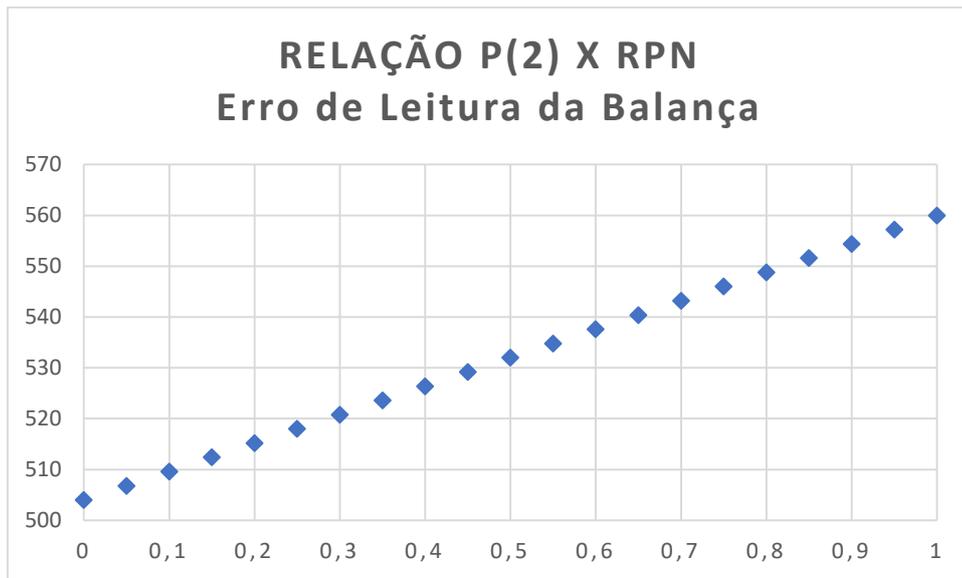


Gráfico 4.3 – Erro de Leitura da Balança.

De acordo com a figura 4.15, a medida que o peso atribuído a severidade de produto aumenta o valor do *RPN* também cresce, isso se dá devido ao valor atribuído ao índice de severidade de produto ser superior ao valor do índice de severidade de tempo. Sendo assim o *RPN* do defeito de erro de leitura da balança ficará entre os maiores *RPN*.

4.11.4 Desalinhamento do Filme

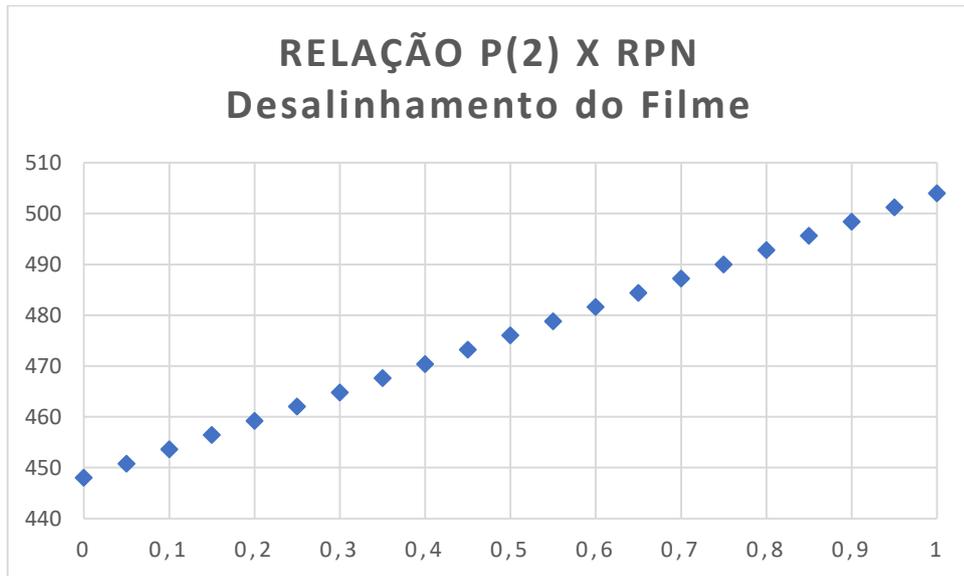


Gráfico 4.4 – Desalinhamento do Filme.

De acordo com a figura 4.16, a medida que o peso atribuído a severidade de produto aumenta o valor do *RPN* também cresce, isso se dá devido ao valor atribuído ao índice de severidade de produto ser superior ao valor do índice de severidade de tempo. Sendo assim o *RPN* do desalinhamento do filme ficará entre os maiores *RPN*.

4.11.5 Defeito no Mordendo

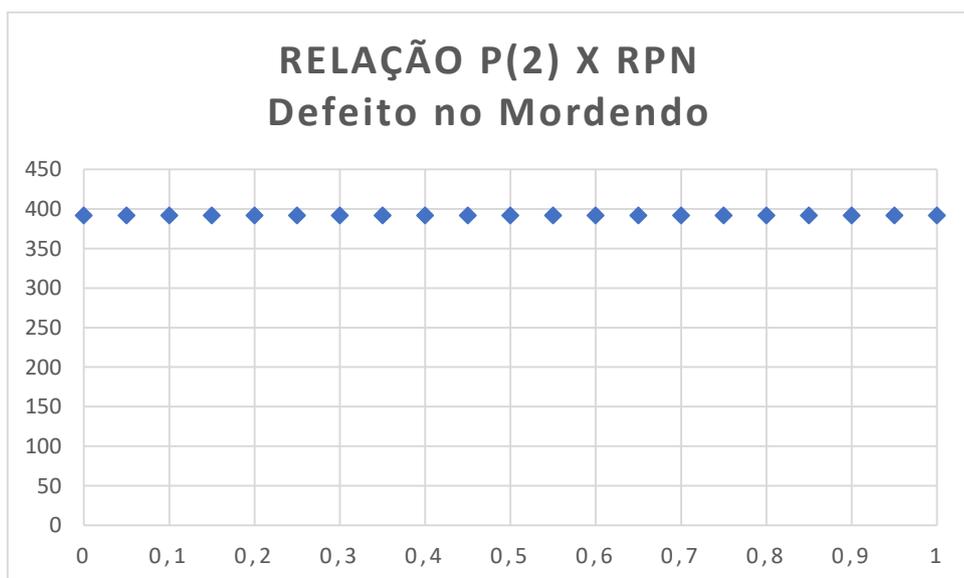


Gráfico 4.5 – Defeito no Mordendo.

Já na figura 4.17, a medida que o peso atribuído a severidade de produto aumenta o valor do *RPN* continua constante, isso se dá devido ao valor atribuído ao índice de severidade de produto ser igual ao valor do índice de severidade de tempo. Sendo assim o *RPN* do defeito no mordendo pode ser ultrapassado por outros *RPN*.

4.11.6 Acionamento da Descarga

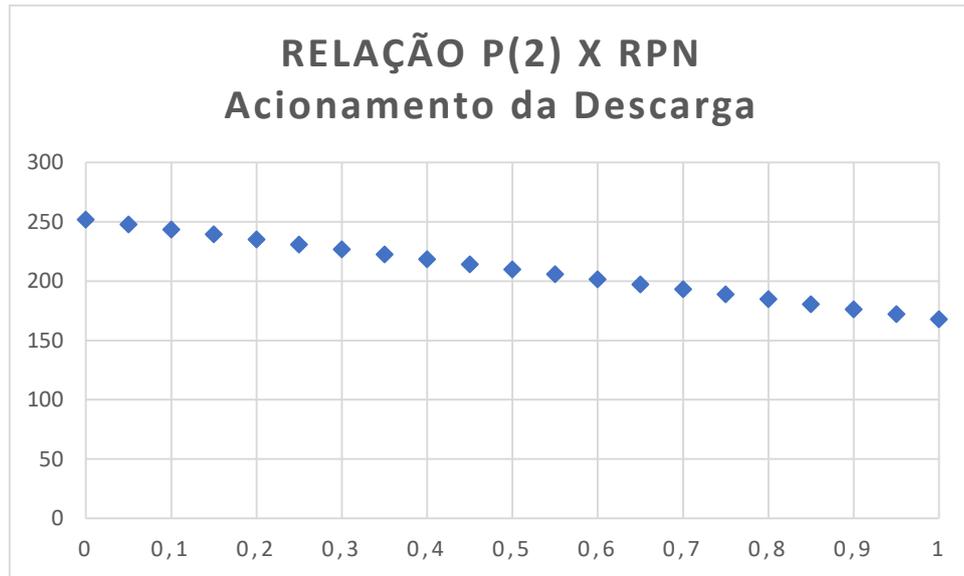


Gráfico 4.6 – Acionamento da Descarga.

Já na figura 4.18, a medida que o peso atribuído a severidade de produto aumenta o valor do *RPN* decresce, isso se dá devido ao valor atribuído ao índice de severidade de produto ser inferior ao valor do índice de severidade de tempo. Sendo assim o *RPN* do acionamento da descarga pode ser ultrapassado por outros *RPN*.

4.12 Etapas Futuras

Além do que se foi proposto nas avaliações das principais falhas, é viável a análise de outros métodos e ferramentas para a solução desses problemas, bem como, uma aplicação de conceitos de 5s no setor pode ajudar a sanar alguns problemas, até mesmo os que não foram abordados, a utilização do ciclo *PDCA* como uma forma de melhoria contínua para o setor.

Também ferramentas e métodos específicos da gestão da manutenção para controlar e corrigir esses problemas, utilizar os conceitos da *TPM* no setor de embalagem, e expandir para todo o setor de massas, visto que problemas de manutenção não ocorrem apenas em um a parte

do setor. A metodologia Manutenção centrada na confiabilidade (MCC) pode ser utilizada para adequar as políticas de manutenção da organização ao setor.

Mas, não são apenas esses métodos e ferramentas descritos aqui que podem ser aplicados ao problema, existem diversos outros dentro e fora do campo da Engenharia de Produção. Fica uma proposta de um futuro projeto, analisar outros métodos e ferramentas para sanar tais problemas.

5 CONCLUSÃO

Para a realização deste estudo foi feita uma análise em uma indústria do setor de produção de alimentos, especificamente na linha de produção de massas. Para entendimento do processo, foi realizado o Mapeamento dos Processos para se obter uma visão geral da linha, e então, houve o levantamento das falhas, causas e efeitos, para que fosse elaborado e aplicado o *FMEA*.

Identificou-se a necessidade da realização do *FMEA* no setor de embalagem do macarrão, devido esse setor ser o gargalo e maior fonte de paradas de todo o processo de fabricação de massas. Para isso, foi separado por etapa de processo de embalagem as falhas para uma melhor visualização e avaliação, sendo que foi encontrado o total de 40 falhas.

Para o desenvolvimento da ferramenta *FMEA* se viu necessária a aplicação de um método de decisão multicritério, especificamente o método *SMARTER*, para a obtenção dos índices de severidade, devido a existência de conflitos de avaliação dos índices.

A partir da adaptação dos conceitos do diagrama de Pareto, foram selecionadas as 6 que representam aproximadamente 80% do somatório dos *RPN* avaliados, com a finalidade de encontrar possíveis melhorias para eliminar ou reduzir tais falhas.

Assim, algumas dessas melhorias foram encontradas e estabelecidas com a aplicação do *FMEA*, como o estabelecimento de uma manutenção preventiva para alguns equipamentos, procedimentos de controle para auxiliar na detecção, reduzindo assim as consequências de algumas dessas falhas.

Após a finalização do *FMEA*, foi estabelecido junto a profissionais especializados do setor um cronograma de revisão da planilha *FMEA*, com a finalidade de manter gradativamente o controle e melhorias das falhas que venham a ocorrer no setor de embalagem, visto que a partir dos dados obtidos nos meses de Novembro e Dezembro do ano de 2018 houve muitas perdas de produção, resultando em produtos descartados para reprocesso e para varredura, além do próprio tempo de parada da linha, por exemplo, a perda de produto para reprocesso no mês de Novembro, perdeu-se praticamente a produção média de três dias.

Aqui se apresentou uma maneira de resolução de problemas encontrados em um setor de toda uma linha de produção, visto que alguns dos problemas encontrados podem ser provenientes de etapas anteriores do processo, e que em outros setores da linha de produção também são encontrados diversos problemas, logo fica uma proposta de ampliação para um

futuro trabalho, aplicar a ferramenta *FMEA* em toda a linha de produção, não restringindo apenas a um setor.

REFERÊNCIAS

- ABIA. **Números Do Setor – Faturamento**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. 2018.
<https://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2016.%0Apdf>.
- ALMEIDA, A. T. **O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. Recife: Ed. Universitária Da UFPE. 2011.
- BRANS, J. P; MARESCHAL, B. **PROMETHEE Methods. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys***. 2005. 163–86. Springer.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão Da Qualidade: Conceitos e Técnicas**. São Paulo: Atlas. 2012.
- CARVALHO, M. M; PALADINI, E. P; BOUER, G; FERREIRA, J. J. A; MIGUEL, P. A. C; SAMOHYL, R. W; ROTONDARO, R. G. **Gestão Da Qualidade. *Teoria e Casos 2***. 2012.
- CAVALCANTE, CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO, RODRIGO JOSÉ PIRES FERREIRA, ANDERSON JORGE DE MELO BRILO, AND ADIEL TEXEIRA ALMEIDA. **Modelo Multicritério Para Priorização de Causas de Falha: Uma Crítica Ao FMECA**. 2007. *Pesquisa Operacional*, 1318–25.
- DAILEY, KENNETH W. **The FMEA Pocket Handbook**. Port St Lucie, FL: DW Publishing Co. 2004.
- DENG, XINYANG, YONG HU, YONG DENG, AND SANKARAN MAHADEVAN. **Supplier Selection Using AHP Methodology Extended by D Numbers**. 2014. *Expert Systems with Applications* 41 (1): 156–67. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.018>.
- EDWARDS, W; BARRON, F. H. **SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement**. 1994. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 60 (3): 306–25. <https://doi.org/10.1006/obhd.1994.1087>.
- FAGUNDES, L. D; ALMEIDA, D. A. **Mapeamento de Falhas Em Concessionárias Do Setor Elétrico: Padronização, Diagramação e Parametrização**. 2004. In *Simpósio de Engenharia de Produção*. Vol. 11.
- FERREIRA, H. S. R; TOLEDO, J. C. **Metodologias e Ferramentas de Suporte à Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto na Indústria de Autopeças**. 2001. *Xxx Encontro Nacional De Engenharia De Producao*, no. February: 1–9.
https://www.researchgate.net/publication/266907815%0Ahttp://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR52_0820.pdf.
- FILHO, A. I. L; NETO, A. M. S. **Análise com a Ferramenta MASP para Solução de Problema de Qualidade em uma Linha de Usinagem de uma Empresa do Setor Automotivo**. 2016.

-
- FONSECA, E. A. P; FREITAS, J. A; PEDRO, R. S; PONTARA, P. C; NASCIUTTI, A. A **Influência das Ferramentas da Qualidade na Produção de Embalagens Secundárias.** *XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2018. <https://doi.org/10.17143/ciaed/xxivciaed.2018.8817>.
- FRANK, A. G; PEDRINI, D. C; ECHEVESTE, M. E; RIBEIRO, J. Ç. D. **Integração do QFD e da FMEA Por Meio de uma Sistemática para Tomada de Decisões no Processo de Desenvolvimento de Produtos.** 2013. *Production* 24 (2): 295–310. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000036>.
- GILCHRIST, W. 1993. **Modelling Failure Modes and Effects Analysis.** *International Journal of Quality & Reliability Management* 10 (5): 02656719310040105. <https://doi.org/10.1108/02656719310040105>.
- GOBIS, M. A; CAMPANATTI, R. 2012. **Os Benefícios da Aplicação de Ferramentas de Gestão de Qualidade Dentro das Indústrias do Setor Alimentício.** *Revista Hórus* 7: 26–40.
- INÁCIO, P. P. A; BARBIERI, A. C; LIMA, J. P. 2016. **Análise Multicritério para Priorização de Manutenção de Equipamentos de uma Praça de Pedágio.** *XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*, 205–15. <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2016/pdf/156122.pdf>.
- KRUM, R. C. 2014. **PLACAS DE MADEIRA: Estudo de Caso.** Ponta Grossa.
- MACEDO, S. M; NARDINI, J. J; FERRER, M. H. 2005. **Manual MB & A, FMEA Análise dos Modos de Falhas e Efeitos,** Janeiro 2004.
- OLIVEIRA, U. R; PAIVA, E. J; ALMEIDA, D. A. 2010. **Metodologia Integrada para Mapeamento de Falhas: Uma Proposta de Utilização Conjunta do Mapeamento de Processos com as Técnicas FTA, FMEA e a Análise Crítica de Especialistas.** *Produção* 20 (2006): 77–91. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132010005000004>.
- PALADY, P. 1997. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos.** São Paulo: IMAM.
- PEDROSA, B. M. M. 2014. **Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) Aplicada a um Secador Industrial.** <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4151/1/Dissertação.pdf>.
- PEINADO, J; GRAEML, A. R. 2007. **Administração Da Produção (Operações Industriais e de Serviços).** <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000093>.
- RAFAEL, P. S. R; CORTEZ, K, P; LUIS, A; CAVAGNAC, O. 2018. **ANÁLISE DE RISCO DE ACIDENTES DE TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: Estudo de Caso em uma Obra Vertical no Município de Imperatriz-MA.**
- RAMOS, H. A; CHAVES, C. A; BRANDALISE, N. 2012. **Aplicação Do Método Fmea No Processo de Climatização de Uma Indústria Automobilística.** *Anais Do Simpósio de Excelência Em Gestão Em Tecnologia.*

RODRIGUES, F. H; MARTINS, W. C; MONTEIRO A. B. F. C. 2001. **O Processo de Decisão Baseado Em Um Método de Análise Hierárquica Na Tomada de Decisão Sobre Investimentos.** *Gestão Logística Do Transporte de Cargas.* São Paulo: Atlas.

RODRIGUES, M. V. C. 2004. **Ações Para a Qualidade.** Qualitymark Editora Ltda.

SAATY, T. L. 2005. **Analytic Hierarchy Process.** *Encyclopedia of Biostatistics* 1.

SAKURADA, E. Y. 2001. **As Técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no Desenvolvimento e na Avaliação de Produtos.** 143.
https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_4.

SANTANNA, A. P; JUNIOR, R. P. S. P. 2011. **Composição Probabilística no Cálculo das Prioridades na FMEA.** *Sistemas & Gestão* 5 (3): 179–91.

SHINGO, S. 1996. **O Sistema Toyota de Produção.** Bookman Editora.

SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. 2002. **Administração Da Produção.** Tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher; Revisão Técnica Henrique Luiz Corrêa. São Paulo: Atlas.

SOUZA, A. N; ANDRADE, J. J. O. 2018. **ANÁLISE DE FALHAS PARA SUBSIDIAR A PROPOSIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO:** Um Estudo de Caso em uma Empresa do Ramo de Mineração, 1–17.

SOUZA, R. V. B. 2012. **Aplicação do Método FMEA para Priorização de Ações de Melhoria em Fluxos de Processos.**

STAMATIS, D. H. 2003. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution.** ASQ Quality Press.

SUBRAMANIAN, N; RAMANATHAN, R. 2012. **A Review of Applications of Analytic Hierarchy Process in Operations Management.** *International Journal of Production Economics* 138 (2): 215–41. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.036>.

THYSSENKRUPP. 2006. **Treinamento Seis Sigma Sessão 1,2,3.** In *Metalúrgica Campo Limpo Ltda.*

TOLEDO, J. C; AMARAL, D. C. 2006. **FMEA-Análise do Tipo e Efeito de Falha.** GEPEQ- Grupo de Estudos e Pesquisa Em Qualidade -DEP - UFSCar. Apostila.

TRAMARICO, C. L; SALOMON, V. A. P; MARINS, F. A. S; MUNIZ, J. R. 2012. **Modelagem com AHP e BOCR para a Seleção de Prestadores de Serviços Logísticos.** *Pesquisa Operacional Para o Desenvolvimento* 4 (2): 139–59.

TURRIONI, J. B; MELLO, C. H. P. 2012. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção.** *Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI.*
http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf.

YANG, C; LIN, W; LIN, M; HUANG, J. 2006. A Study on Applying FMEA to Improving ERP Introduction: An Example of Semiconductor Related Industries in Taiwan.
International Journal of Quality & Reliability Management 23 (3): 298–322.

APÊNDICE A – Planilha FMEA

FMEA										
Nº	Item / Função do Processo	Modos de Falha Potencial	P (1)	P (2)	S (1)	S (2)	S	O	D	Risco (RPN)
1	Serra	Enganchamento de cana	0,75	0,25	7	4	6,25	7	1	43,75
2		Acionamento da haste	0,75	0,25	7	3	6,00	4	1	24
3		Serra fora de tempo	0,75	0,25	5	5	5,00	4	2	40
4		Quebra de disco de corte	0,75	0,25	9	6	8,25	1	2	16,5
5		Defeito no motor da serra	0,75	0,25	7	3	6,00	1	1	6
6		Defeito no motor da corrente de descarga	0,75	0,25	8	2	6,50	2	1	13
7	Gira-Pasta	Acionamento da descarga	0,75	0,25	3	7	4,00	4	1	16
8		Problema no sensor de nível	0,75	0,25	4	8	5,00	3	2	30
9	Transportador	Defeito na corrente	0,75	0,25	7	3	6,00	1	3	18
10		Defeito no sensor de descarga	0,75	0,25	4	5	4,25	3	4	51
11	Balança (Alto-Pack e Stiavelli)	Acionamento de descarga	0,75	0,25	9	6	8,25	4	7	231
12		Defeito no motor de vibração	0,75	0,25	6	5	5,75	1	6	34,5
13		Falha mecânica da balança	0,75	0,25	8	4	7,00	1	5	35
14		Falha operacional da balança	0,75	0,25	7	3	6,00	2	6	72
15	Caminho (Alto-Pack e Stiavelli)	Quebra do caminho	0,75	0,25	8	6	7,50	1	3	22,5
16		Enganchamento do carrinho	0,75	0,25	7	5	6,50	3	2	39
17	Alimentador (Alto-Pack e Stiavelli)	Quebra de corrente	0,75	0,25	8	3	6,75	1	3	20,25
18		Desalinhamento de corrente	0,75	0,25	6	2	5,00	2	4	40
19		Defeito no rolo de selagem	0,75	0,25	9	10	9,25	10	8	740
20		Desalinhamento do filme	0,75	0,25	8	9	8,25	7	8	462
21		Alinhamento do colarinho	0,75	0,25	4	7	4,75	2	5	47,5
22		Defeito no temporar do rolo de selagem	0,75	0,25	9	10	9,25	4	1	37
23	Defeito no temporar da pinça	0,75	0,25	9	8	8,75	2	1	17,5	
24	Quebra de esteira	0,75	0,25	5	7	5,50	1	4	22	
25	Check-Weigher	Defeito elétrico	0,75	0,25	6	5	5,75	1	7	40,25
26		Erro de leitura da balança	0,75	0,25	9	10	9,25	8	7	518
27		Defeito no IHM	0,75	0,25	9	3	7,50	1	1	7,5
28	Detector de Metais	Descalibração	0,75	0,25	10	10	10,00	9	7	630
29		Defeito elétrico	0,75	0,25	9	9	9,00	1	5	45
30		Defeito no IHM	0,75	0,25	9	3	7,50	1	1	7,5
31	Enfardadeira	Defeito na esteira alimentadora	0,75	0,25	5	4	4,75	3	2	28,5
32		Defeito no acumulador	0,75	0,25	5	7	5,50	1	5	27,5
33		Defeito no mordendo	0,75	0,25	8	8	8,00	7	7	392
34		Defeito no empurrador	0,75	0,25	2	3	2,25	1	6	13,5
35		Defeito no elevador de fardo	0,75	0,25	3	2	2,75	2	2	11
36		Defeito no IHM	0,75	0,25	9	3	7,50	1	1	7,5
37		Falta de filme	0,75	0,25	5	2	4,25	4	1	17
38		Defeito no furador	0,75	0,25	1	1	1,00	1	4	4
39	Paletização	Falha na contagem de fardos	0,75	0,25	1	4	1,75	2	3	10,5
40		Erros de etiquetagem	0,75	0,25	1	1	1,00	2	5	10

APÊNDICE B – Gráfico de Pareto

