



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
CENTRO TECNOLÓGICO
ENGENHARIA DE MATERIAIS

Mateus Florindo Peres

**Aplicação da Ferramenta de Qualidade PFMEA: Estudo de Caso em Empresa do
Setor de Materiais Florestais**

Curitiba
2023

Mateus Florindo Peres

**Aplicação da Ferramenta de Qualidade PFMEA: Estudo de Caso em Empresa do
Setor de Materiais Florestais**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Materiais do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Robson Félix

Curitiba

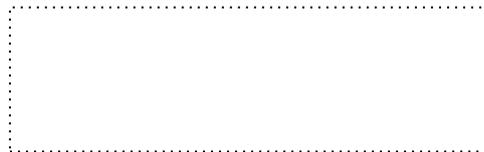
2023

Ficha de identificação da obra.

Mateus Florindo Peres

Aplicação da Ferramenta de Qualidade PFMEA: Estudo de Caso em Empresa do Setor de Materiais Florestais

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia de Materiais.

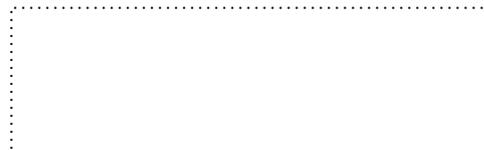


Coordenação do Curso

Banca examinadora



Dr. Celso Peres Fernandes



Me. Thiago Raulino Dal Pont



Eng. Mat. Pedro de Oliveira Nunes Junior

Curitiba, 2023.

Este trabalho é dedicado a Deus, aquele que me acompanhou em meus
momentos mais obscuros.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Universidade Federal de Santa Catarina, na figura do professor Dr. Me. Eng Celso Peres Fernandes, que mesmo durante a pandemia do coronavírus estiveram dispostos a me atender.

Ao supervisor Marcus Barnetche, pelo dinamismo, organização e atendimento humanizado aos alunos de engenharia de materiais.

Ao co-orientador Robson Félix, por manter firme a fé em meu potencial durante todos esses anos.

À minha namorada, Emanuelle Moreira, pelas noites em claro e por me continuar este trabalho em todos os momentos.

À minha família, por todo o suporte durante o tempo de faculdade.

Muito Obrigado.

RESUMO

A pesquisa, por meio da aplicação da ferramenta de qualidade PFMEA (*Process Failure Mode and Effects Analysis*), identificou potenciais falhas nos processos produtivos de uma empresa do setor de materiais florestais. Para atingir esse objetivo, utilizou-se um estudo de caso como método de pesquisa, envolvendo a coleta de dados e informações junto aos colaboradores da empresa, além da revisão da literatura pertinente. No decorrer da pesquisa, foram discutidos os conceitos fundamentais do PFMEA e sua aplicabilidade no contexto da empresa estudada. A análise detalhada dos processos e produtos permitiu a identificação de potenciais modos de falha, suas causas e consequências, bem como a priorização das mais nocivas ao processo produtivo, através do Número de Prioridade de Risco. Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação do PFMEA contribuiu significativamente para a melhoria da qualidade dos produtos e processos da empresa. Foram identificadas diversas falhas que podem resultar em não conformidades, retrabalho e prejuízos financeiros, caso seus acontecimentos não sejam mitigados. Além disso, a conscientização dos colaboradores sobre a importância da gestão de riscos e da qualidade foi fortalecida.

Palavras-chave: Falhas; Materiais Florestais; PFMEA; Qualidade.

ABSTRACT

The research, through the application of the quality tool PFMEA (Process Failure Mode and Effects Analysis), identified potential failures in the production processes of a company in the forestry materials sector. To achieve this objective, a case study was used as a research method, involving the collection of data and information from the company's employees, in addition to a review of the relevant literature. During the research, the fundamental concepts of PFMEA and their applicability in the context of the studied company were discussed. A detailed analysis of processes and products allowed the identification of potential failure modes, their causes and consequences, as well as the prioritization of those most detrimental to the production process, through the Risk Priority Number. The results obtained demonstrated that the application of PFMEA contributed significantly to improving the quality of the company's products and processes. Several failures were identified that could result in non-conformities, rework, and financial losses if their occurrences are not mitigated. Furthermore, employee awareness of the importance of risk and quality management was strengthened.

Keywords: Failures; Forestry Materials; PFMEA; Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do FMEA.....	19
Figura 2 – Atribuição das tarefas e responsabilidades.....	23
Figura 3 – Tipos de falhas em um processo.....	25
Figura 4 – Ciclo PDCA.....	29
Figura 5 – Processo de cromagem.....	33
Figura 6 – Maquinário responsável pelo processo Header.....	35
Figura 7 – Diagrama Espinha de Peixe aplicado a falha de jateamento ineficiente no processo Jato.....	37
Figura 8 – Tabela PFMEA antes e após plano de ação de instalação de bóia de nível.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escala de severidade (s)	20
Quadro 2 – Escala de ocorrência (o)	20
Quadro 3 – Escala de detecção (d)	21
Quadro 4 – Exemplo de planilha FMEA.....	21
Quadro 5 – Como deve ser usado o plano de ação 5W2H.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – PFMEA do Processo Jato.....	38
Tabela 2 – PFMEA do Processo Cromagem.....	43
Tabela 3 – PFMEA do Processo ERHT.....	45
Tabela 4 – PFMEA do Processo Estamparia.....	46
Tabela 5 – PFMEA do Processo Header.....	51
Tabela 6 – PFMEA do Processo Tratamento Térmico.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA	<i>Failure Mode And Effect Analysis (Análise de Modo e Efeitos de Falha)</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures (Tempo Médio Entre Falhas)</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repare (Tempo Médio para Reparo)</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Action (Planejar, Fazer, Checar, Agir)</i>
PFMEA	<i>Process of Failure Mode And Effect Analysis (Análise de Processo Modo e Efeitos de Falha)</i>
RPN	<i>Risk Priority Number (Número de Prioridade de Risco)</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)	18
2.1.1	FMEA aplicado a processos (PFMEA)	22
2.2	GESTÃO DA QUALIDADE	26
2.2.1	Ferramentas da Qualidade	27
3	METODOLOGIA	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	31
3.2	PROCESSOS ANALISADOS.....	32
3.2.1	Cromagem	33
3.2.2	ERHT	34
3.2.3	Estamparia	34
3.2.4	Header	34
3.2.5	Jato	35
3.2.6	Tratamento térmico	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A	44
	APÊNDICE B	46
	APÊNDICE C	47
	APÊNDICE D	52
	APÊNDICE E	54

1 INTRODUÇÃO

O cenário empresarial atual tem buscado por excelência na qualidade dos produtos, processos e, até mesmo, nos materiais disponíveis nas organizações, impulsionando a procura por estratégias e ferramentas que mitiguem os riscos e maximize a eficiência e satisfação dos clientes. Assim, a Ferramenta de Análise de Processo Modo e Efeitos de Falha (FMEA – *Process of Failure Mode And Effect Analysis*) se destaca pela eficácia em identificar potenciais falhas, contribuindo para melhoria contínua.

O setor de materiais florestais envolve diversas atividades essenciais para o fornecimento de matérias-primas cruciais em diversos segmentos industriais. Dessa forma, a qualidade dos produtos e a otimização dos processos de extração, processamento e distribuição determinam a competitividade das empresas. Reduzir as falhas de produção dos materiais utilizados no setor, além de aumentar a eficiência produtiva, garante a confiabilidade dos processos. Assim, como o FMEA aplicado a processos pode auxiliar a qualidade dos produtos finais?

Esse trabalho justifica-se pela aplicação da ferramenta de qualidade em questão como instrumento estratégico para avaliação de riscos e a melhoria contínua em empresas no setor de materiais florestais, por meio de um estudo de caso em empresa atuante no setor. O intuito é analisar como o PFMEA pode ser implementado de maneira eficaz, identificando pontos de falhas no processo e propondo ações corretivas e preventivas.

Utilizando as bases de dados Google Acadêmico e Scielo como principais meios de pesquisa, o trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 1 apresenta-se a introdução, bem como o objetivo geral e os específicos. No capítulo 2 inicia-se o desenvolvimento do trabalho, especificamente a fundamentação teórica. No capítulo 3 foi trabalhada a metodologia do trabalho. No capítulo 4 tem-se os resultados e as discussões pertinentes. O capítulo 5 é responsável pela conclusão. E, por fim, as referências utilizadas no trabalho.

Dessa forma, o presente trabalho visa contribuir para a disseminação do conhecimento acerca da aplicação da ferramenta FMEA de processos, destacando sua importância como recurso valioso para aprimorar a qualidade e a eficiência nos processos das empresas do setor de materiais florestais, fortalecendo sua posição no mercado altamente competitivo e dinâmico.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos foram definidos com base no tema e, conseqüentemente, no que se espera encontrar ao final da pesquisa, auxiliando a orientação da pesquisa e fornecendo uma direção clara para o desenvolvimento do presente trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Demonstrar a aplicação do PFMEA, gerenciando os riscos e preservando a qualidade dos processos e, conseqüentemente, produtos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho estão listados a seguir:

- Entender o conceito de qualidade e a sua importância para as organizações;
- Compreender o que é a ferramenta PFMEA e como funciona a sua utilização;
- Comprovar, através de estudo de caso, como a ferramenta de qualidade PFMEA é utilizada em uma empresa de produtos e materiais florestais, já tendo sido utilizada pontualmente, entretanto não de maneira global;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA

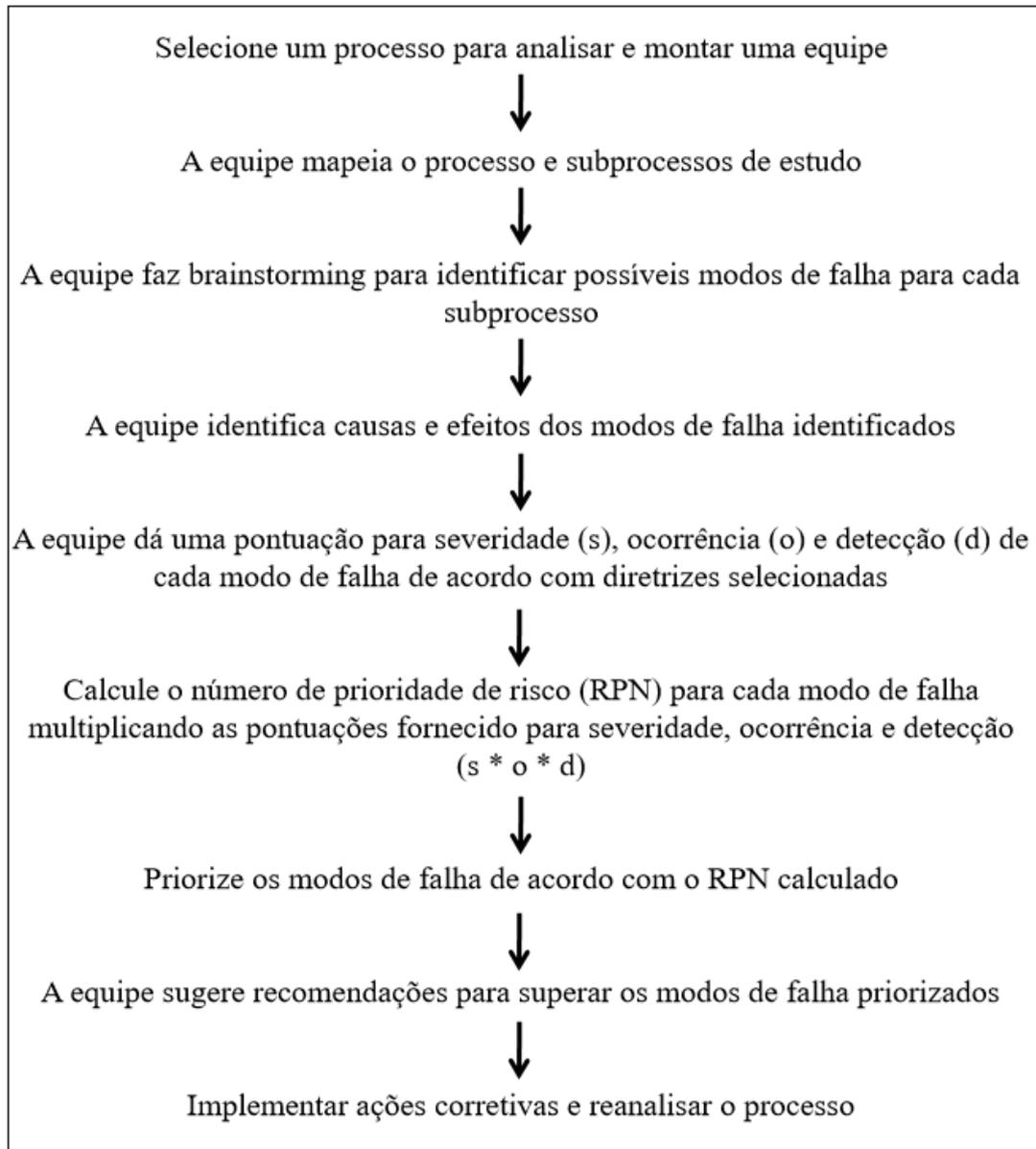
A Análise do Modo de Falhas ou *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) é um método proativo que tem como principal função identificar possíveis falhas antes que elas ocorram. Apesar de o FMEA ser um procedimento demorado e complicado, ele promove diversos benefícios para as organizações que o implementam, principalmente em empresas que buscam entregar um produto ou serviço de qualidade para seus clientes (ANJALEE et al., 2020).

A gestão da qualidade necessita de diversas ferramentas para que seja feita de forma satisfatória e chegue até o consumidor final. Cada ferramenta é responsável por cuidar de um aspecto da qualidade, a gestão dos riscos operacionais, por exemplo, pode ser realizada através do FMEA, pois com a identificação das possíveis falhas e criando ações para cada uma delas, é possível evitar piores ocorrências ou mitigar seus efeitos (MENEZES, 2020).

Segundo Ouyang et al. (2022), a análise FMEA tem um papel fundamental na melhoria da confiabilidade nas indústrias, o que a torna uma ferramenta bastante viável para identificar modos de falha de alto risco. Ou seja, através da prévia análise das possíveis falhas em um determinado processo é possível agir, prevenindo o acontecimento ou estabelecer um plano de ação caso determinada ocorrência surja. O modo de falha refere-se à maneira específica pela qual um componente, processo ou sistema pode falhar em cumprir sua função ou atingir seu desempenho esperado, enquanto falha é a ocorrência real do evento indesejado ou não planejado que interrompe o funcionamento normal do sistema.

Rabello (2022) afirma que para implementar o FMEA, primeiro é necessário decidir os modos de falha, com dados que sejam os mais próximos da realidade. Em seguida, deve-se estabelecer valores em forma de ranking com base em três aspectos – severidade, ocorrência e detecção – para cada modo de falha. Por fim, a multiplicação entre esses três valores resulta no *Risk Priority Number* (RPN), ou seja, o número de prioridade de risco.

Figura 1 – Etapas do FMEA



Fonte: Anjalee et al. (2020).

O FMEA agindo como um identificador de falhas, permite que a equipe recomende as ações que vão mitigar os efeitos indesejados, o que tem um impacto direto na qualidade do que é produzido ou do serviço prestado. Ou seja, como o gerenciamento da qualidade tem como premissa a gestão dos riscos operacionais, a função básica da ferramenta FMEA, ela se torna o artifício que identifica as falhas, e implementa processos que evitem suas ocorrências (MENEZES, 2020).

Uma das etapas de maior importância na aplicação do FMEA é a definição dos valores de severidade (s), ocorrência (o) e detecção (d), que variam entre 1 e 10. A severidade é classificar como o grau de importância dado a cada efeito da

possível falha (JUNIOR; RODRIGUES, 2022). O quadro 1 demonstra os valores de severidade relativos a classificação do seu efeito

Quadro 1 – Escala de severidade (s)

Escala	Descrição
1	Efeito não percebido
2	Efeito bastante insignificante
3	Efeito bastante insignificante
4	Efeito insignificante
5	Efeito trivial
6	Efeito menor
7	Efeito moderado
8	Efeito significativo
9	Efeito crítico
10	Efeito perigoso a vida ou a continuidade operacional

Fonte: Patrício (2013) (adaptada).

Segundo Junior e Rodrigues (2022), a ocorrência reflete a probabilidade de ocorrer determinada falha, inclusive, apresentando o seu respectivo percentual. O quadro 2 ilustra a descrição de cada escala relativa a ocorrência e as probabilidades dos seus acontecimentos.

Quadro 2 – Escala de ocorrência (o)

Escala	Probabilidade	Descrição
1	Menos de 0,01%	Extremamente remoto, altamente improvável
2	0,011 – 0,20	Remoto, improvável
3	0,210 – 0,60	Pequena chance de ocorrer
4	0,610 – 2,00	Pequeno número de ocorrências
5	2,001 – 5,00	Quantidade ocasional de falhas
6	5,001 – 10,00	Ocorrência moderada
7	10,001 – 15,00	Ocorrência frequente
8	15,001 – 20,00	Ocorrência elevada
9	20,001 – 25,00	Ocorrência muito elevada
10	Mais de 25%	Ocorrência certa

Fonte: Patrício (2013) (adaptada).

A escala detecção de uma determinada falha se constitui em como ela pode ser identificada. Diferentemente da severidade e da ocorrência, a escala de detecção segue uma ordem inversa, pois quanto maior for sua nova na escala, menor é a probabilidade de ser identificada a falha (JUNIOR; RODRIGUES, 2022). É possível observar essa relação no quadro 3.

Quadro 3 – Escala de detecção (d)

Escala	Descrição
1	Quase certo que será detectada
2	Probabilidade muito alta de detecção
3	Alta probabilidade de detecção
4	Chance moderada de detecção
5	Chance média de detecção
6	Alguma probabilidade de detecção
7	Baixa probabilidade de detecção
8	Probabilidade muito baixa de detecção
9	Probabilidade remota de detecção
10	Detecção quase impossível

Fonte: Patrício (2013) (adaptada).

Os valores estabelecidos para severidade, ocorrência e detecção se multiplicam para que o RPN possa ser calculado e, a partir do número de prioridade de risco é possível colocar as falhas em ordem decrescente – quanto maior o RPN, mais crítica é a falha – para evidenciar as que precisam de ações corretivas ou mitigadoras com mais brevidade (TOSMANN, 2022).

Em seu estudo, Bononi e Polli (2020) estabeleceram um modelo da ferramenta FMEA com o objetivo de mitigar falhas de processos produtivos na agroindústria 4.0, que também pode ser utilizado em outros setores. O quadro 4 demonstra as variáveis escolhidas pelos autores.

Quadro 4 – Exemplo de planilha FMEA

Modo de falha	Efeitos da falha	Severidade (s)	Ocorrência (o)	Detecção (d)	NPR (s*o*d)	Ações recomendadas

Fonte: Bononi e Polli (2020) (adaptada).

As empresas que buscam alcançar um bom nível de excelência acabam encontrando determinados riscos e, para que isso não atrapalhe seus objetivos, eles

devem ser mitigados, principalmente no desenvolvimento dos seus processos cotidianos. Dessa forma, uma importante ferramenta para gerenciar determinados riscos é o *Process FMEA* (PFMEA), ou seja, a metodologia FMEA aplicada a processos (CRUZ, 2018).

2.1.1 FMEA aplicado a processos (PFMEA)

Analisar os processos permite que os defeitos sejam identificados e prevenidos, o que leva ao aperfeiçoamento da produção e minimização dos custos, aumentando o nível de satisfação do cliente e os lucros relativos ao produto. A aplicação da PFMEA pode ainda proporcionar melhorias eficientes na maneira como os colaboradores trabalham e modernizar os processos, porém, é necessário o apoio da equipe e a conscientização da importância da ferramenta (CRUZ, 2018).

Este método é empregado para analisar e superar as eventuais deficiências de um procedimento específico dentro de uma empresa ou unidade de negócios. Através do PFMEA, torna-se viável detectar uma falha específica, mobilizar uma equipe e implementar abordagens para corrigir essas imperfeições. Sua aplicação deve ser iniciada a cada vez que um novo processo é introduzido e mantida ao longo de todo o ciclo de vida desse processo (CRISSI, 2016).

Segundo Cruz (2018), o principal intuito de aplicar a metodologia FMEA nos processos da organização é reduzir a quantidade de retrabalho, evitando que determinados aspectos interfiram de forma negativa, os riscos danosos. O retrabalho é, portanto, um inimigo da produtividade, pois, além de ter que refazer tudo que já foi feito, ele inutiliza todos os recursos perdidos anteriormente – materiais, humanos, financeiros, entre outros.

Ribeiro (2011) demonstra que o princípio de utilização é o mesmo para todos os tipos de FMEA (processo, produto, design, sistema). No entanto, ele estabelece um plano de trabalho de seis passos para o PFMEA, servindo de suporte para elaboração de outros subsequentes.

Passo 1: Preparação

A equipe envolvida na aplicação do PFMEA é fundamental para alcançar o resultado desejado, assim, ela contribui na etapa de preparação, mantendo um alto nível de envolvimento em todas as fases, atuando de forma cooperativa com todos os membros. A preparação da ferramenta tem como objetivo estabelecer os requisitos iniciais, ou seja, as tarefas e responsabilidades de cada componente da equipe. A figura 2 ilustra as principais atribuições e responsabilidades de cada componente em uma equipe do FMEA aplicado a processos.

Figura 2 – Atribuição das tarefas e responsabilidades

<p>Líder do projeto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definição de tarefas e objetivos. 	<p>Moderador</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definição dos tópicos a serem utilizados durante a reunião.
<p>Líder do projeto e moderador</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definição dos membros da equipe; • Estimar os recursos necessários. 	<p>Líder do projeto e membros da equipe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fornecimento de todos os documentos necessários.

Fonte: Adaptada de Ribeiro (2011).

Passo 2: Análise Estrutural

Uma abordagem recomendada para a análise de processos é o FMEA estruturado, onde o processo é representado na forma de uma estrutura que descreve suas etapas. A cada etapa do processo são atribuídas funções e, a cada função, são associadas as suas falhas potenciais, garantindo, dessa forma, uma análise minuciosa e abrangente do processo.

As falhas potenciais são organizadas em uma árvore de falhas, composta por três níveis sucessivos: o Efeito, a Falha Potencial e, por fim, a Causa Potencial da Falha. Assim, o objetivo desta etapa do PFMEA é desenvolver uma compreensão abrangente do sistema, com base em uma visão geral do produto ou processo, apresentada por meio de um diagrama de blocos que permite a identificação dos elementos do sistema.

Passo 3: Análise Funcional

A etapa de análise funcional tem o objetivo de estabelecer uma visão do processo com relação às suas funções. Ou seja, a análise funcional se baseia em listar as funções que devem ser desempenhadas durante o processo e, caso isso não ocorra, uma falha é identificada e deve ser analisada, corrigida e controlada pela ferramenta em questão.

A análise funcional deve incluir especificações para o desempenho mínimo necessário, tanto no início da operação do processo quanto durante as fases de utilização e manutenção. Nesta etapa, a equipe deve considerar diversos fatores, como os procedimentos operacionais durante a execução do processo, os métodos de teste, o tipo de controle a ser realizado durante o processo, entre outros.

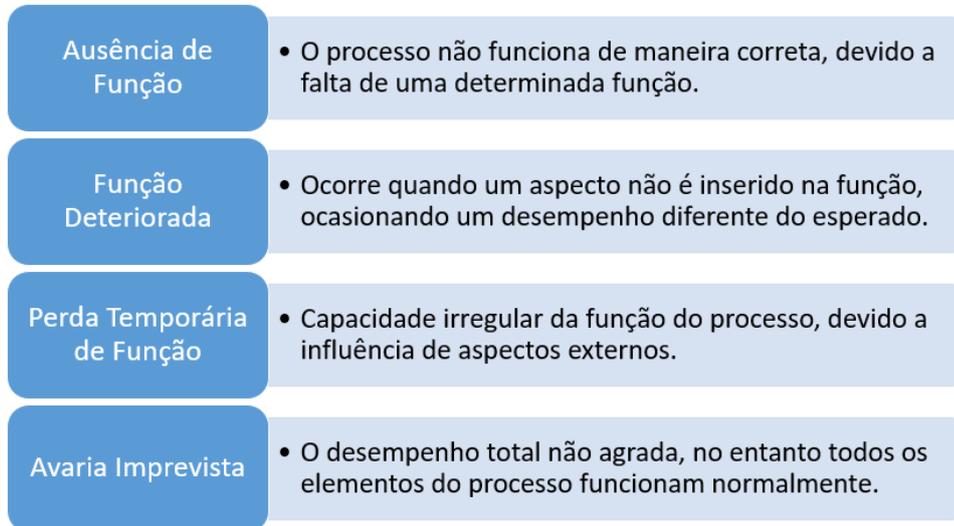
Dado que um processo envolve uma série de operações, sua funcionalidade descreve como uma operação específica deve ser executada. Cada operação de processo pode apresentar diferentes potenciais modos de falha, por isso, no FMEA Padrão, é necessário listar cada uma das funções de uma operação de manufatura de produtos como operações separadas.

Passo 4: Análise de Falhas

Os modos potenciais de falha podem ser considerados como a maneira pela qual um mau funcionamento se torna visível. Em outras palavras, eles representam o resultado quando uma função específica não pode ser realizada conforme o planejado, ou descrevem como o processo poderia falhar em atender aos requisitos estabelecidos para ele. É importante perceber que as falhas nas funções estão

intrinsecamente ligadas às próprias funções. Portanto, uma fase bem-sucedida depende significativamente da formulação adequada das funções das operações de processo. A figura 3 estabelece os tipos de falhas identificados por Ribeiro (2011).

Figura 3 – Tipos de falhas em um processo



Fonte: Adaptada de Ribeiro (2011).

Portanto, essa etapa tem como principal objetivo detectar as falhas e correlaciona-las com as funções, fazendo a ligação de causa e efeito. Nesta etapa outras ferramentas podem ser utilizadas, como o Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe, responsável por auxiliar na identificação das causas de determinados problemas processuais.

Passo 5: Análise de Ações

A etapa relativa a análise das ações depende do cálculo de RPN, assim, a equipe responsável pela ferramenta deve estabelecer valores para severidade (s), ocorrência (o) e detecção (d). O cálculo do RPN, um indicador geral da importância da falha, permite que seja possível listar as falhas em ordem decrescente, ou seja, priorizando as que possuem um impacto maior, são mais danosas ao processo.

Passo 6: Otimização

Por fim, a etapa de otimização refere-se ao estabelecimento de meios para melhorar o processo. Assim, essa etapa determina todas as ações que precisam ser implementadas pelos responsáveis, quando devem ser realizadas, por quem, quanto vai custar, entre outros aspectos que não deixem gerem problemas no plano de ação. É muito comum que as organizações utilizem o plano de ação 5W2H na etapa de otimização, pois através dele não resta dúvidas do que deve ser feito, além de ser uma ferramenta de fácil entendimento, sendo democraticamente direcionada a todos os colaboradores.

2.2 GESTÃO DA QUALIDADE

O conceito relativo a qualidade teve diversas mudanças no decorrer da evolução histórica dos processos produtivos e dos requisitos impostos pela demanda no que concerne um produto ou serviço de qualidade. Ou seja, o conceito de qualidade tem evoluído conforme os seres humanos também evoluem. A competitividade presente no mercado tem exigido que as empresas entregue cada vez mais qualidade nos seus produtos para que tenham mais chances de sobrevivência (ISHIDA; OLIVEIRA, 2019).

Segundo Motta e Corá (2019), a primeira pessoa a desenvolver uma metodologia relativa a gestão e, conseqüente, controle da qualidade, com fundamentos quantitativos foi Shewart, em 1931, nos Estados Unidos da América. Logo depois, na década de oitenta, Deming e Juran foram responsáveis por disseminar a ideia de controle da qualidade pelo país, ministrando palestras, treinamentos e escrevendo livros.

Ishida e Oliveira (2019) acrescentam que a partir do conceito, percebe-se que a qualidade pode ser compreendida como algo dinâmico, porém subjetivo, intrinsecamente ligado aos seus atributos. Um dos pilares fundamentais da qualidade reside em sua capacidade de atender às demandas e requisitos dos consumidores. Para que isso se torne uma realidade, é necessário que todos os membros da organização compartilhem uma compreensão profunda e abrangente do que a qualidade significa e implica.

Visando a redução ou mitigação de determinados problemas, as empresas percebem a necessidade de implementar um sistema de gestão da qualidade, o que proporciona os seguintes benefícios (DANIEL; MURBACK, 2014):

- Melhoria da satisfação e fidelização dos clientes, garantindo o atendimento de suas necessidades;
- Aumento da competitividade e das oportunidades, tanto no mercado doméstico quanto no internacional;
- Aprimoramento da circulação de conhecimento dentro da empresa;
- Redução dos custos operacionais, por meio da diminuição dos gastos relacionados à qualidade e do aumento da eficácia, resultado da ênfase na prevenção em vez de correção;
- Aumento da produtividade devido à padronização dos processos;
- Elevação do moral e da motivação dos colaboradores à medida que trabalham com maior eficiência.

A administração científico sempre teve como objetivo utilizar o operário o máximo de tempo possível. De maneira diferente, o controle de qualidade concentrou-se em alcançar tempos ideais nos quais as metas de produção fossem atingidas, fazendo os produtos serem fabricados com o mínimo de desperdício sem perder os padrões requeridos. Para isso, o controle de qualidade analisa os processos de produção minuciosamente, estabelece padrões ótimos e desenvolve manuais detalhados (MOTTA; CORÁ, 2019).

2.2.1 Ferramentas da Qualidade

As ferramentas voltadas para melhoria da qualidade dos processos produtivos, em sua maioria, são simples e, ao mesmo, tempo, efetivas. Elas se adaptam ao modelo de negócio e conseguem alterar positivamente os produtos e serviços prestados, na maioria dos casos. Assim, é necessário conhecer as principais ferramentas para aplicar as que podem gerar os melhores resultados em cada tipo de negócio (RABELLO, 2023).

Daniel e Murback (2014) citam que as ferramentas de qualidade são funcionais para acelerar as habilidades e competências das equipes, pois através

das ferramentas, suas metodologias e técnicas, elas conseguem identificar causas e propor soluções para todos os tipos de problemas. Ou seja, é possível utilizar uma ferramenta que facilite a identificação do que está gerando um efeito indesejado e uma outra que possibilite verificar, entre várias soluções, qual é a mais viável para o momento que a empresa vive - financeiramente, estrategicamente, entre outros aspectos.

A busca pela qualidade nos processos empresariais requer um alinhamento preciso entre o que foi planejado e o que efetivamente é executado. Para atingir esse objetivo, é essencial que as organizações estabeleçam parâmetros mensuráveis que permitam uma avaliação sistemática. Esses recursos são aplicáveis tanto em grandes corporações quanto em empresas de menor porte, compartilhando a característica fundamental de fazer uso de ferramentas gráficas e contar com profissionais capacitados para analisar de maneira crítica os resultados alcançados (COELHO et al., 2016).

O Diagrama de Causa e Efeito de Ishikawa, conhecida popularmente como Diagrama de Espinha de Peixe, devido a sua representação gráfica que se assemelha a de uma carcaça de peixe, é uma ferramenta simples e eficaz para determinar as causas de um problema. Uma característica que facilita a identificação do problema é a sua divisão em grupos que podem afetar diretamente os efeitos indesejados, geralmente mão-de-obra, método, máquina, matéria-prima e meio ambiente (MARIANI, 2005).

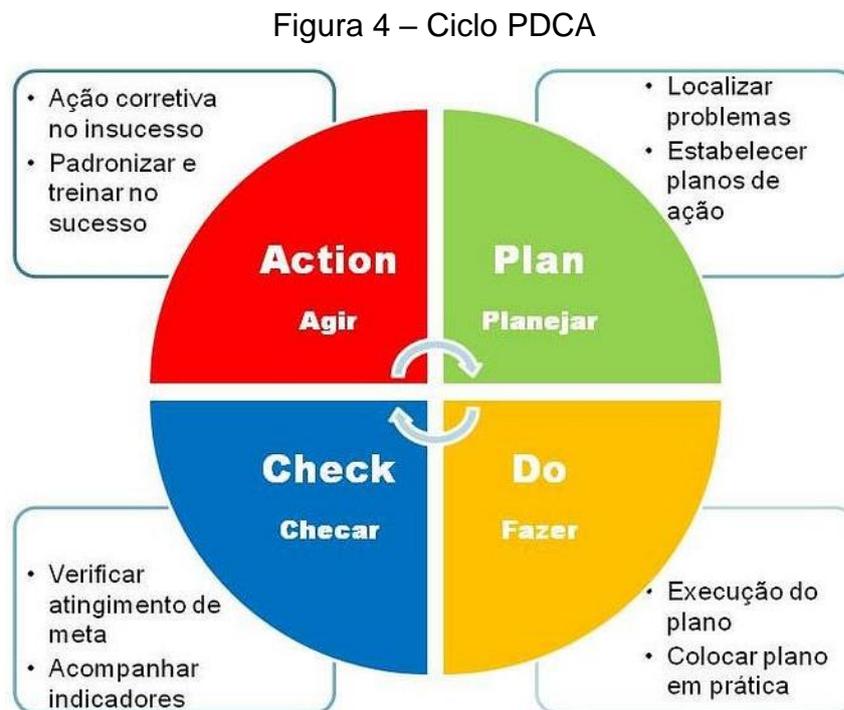
Segundo Coelho et al. (2016) o Diagrama de Pareto também é bastante utilizado na gestão da qualidade. Essa ferramenta é um gráfico de barras que demonstra a frequência, da maior para menor, das ocorrências, ou seja, priorizando os problemas que mais acontecem. O Diagrama de Pareto determina os problemas que mais aparecem durante um determinado período, não os que causam maiores efeitos negativos.

A ferramenta ou método *Plan-Do-Check-Action* (PDCA) é o mais utilizado pelas organizações que visam gerenciar os processos internos e alcançar suas metas. Com um funcionamento cíclico, o PDCA obedece às seguintes etapas (MARIANI, 2005):

- *Plan* (planejamento) – são definidas as metas a serem alcançadas em determinado processo, bem como o que será feito para alcançá-las;

- *Do* (execução) – período em que ocorre a execução das ações que foram planejadas;
- *Check* (verificação) – momento em que a execução é comparada com o planejamento, verificando se os objetivos foram alcançados;
- *Actiona* (Ação) – na última etapa deve-se agir para corrigir o que fugiu do controle, o que está em desacordo com o ideal esperado.

É possível observa a ferramenta PDCA na Figura 4.



Fonte: Adaptada de Ribeiro (2011).

As ações, em qualquer processo, podem não ter sucesso na execução pelo fato de não serem explicadas corretamente. Uma das formas de contornar esse problema é utilizando um plano de ação, como o 5W2H. Através dessa ferramenta é possível deixar claro o que deve ser feito e todos os detalhes da atividade, como quem vai executar, o custo, quando, entre outros aspectos (BARROS, 2023). O 5W2H baseia-se em um quadro onde sete perguntas são respondidas detalhando as ações (RIBAS, 2022). O quadro 5 auxilia a aplicação do 5W2H.

Quadro 5 – Como deve ser usado o plano de ação 5W2H

5W2H	Descrição
------	-----------

What? (O quê?)	Que ação deve ser realizada
Who? (Quem?)	Quem é o colaborador responsável pela ação
Where? (Onde?)	Onde a ação irá ocorrer
When? (Quando?)	Em que data e horário a ação deve ser tomada
Why? (Por quê?)	O que motiva essa ação
How? (Como?)	Como a ação deve ser realizada detalhadamente
How much? (Quanto?)	Quanto vai custar

Fonte: Adaptado de Ribas (2022).

As técnicas de qualidade são consideradas instrumentos eficazes para conduzir, por meio de suas informações, à identificação e compreensão das causas dos desafios e desenvolver estratégias para resolvê-los, visando aprimorar a eficiência das operações empresariais. Portanto, a fim de adotar medidas adequadas em relação aos obstáculos ou possíveis complicações, é essencial realizar uma avaliação dos dados e eventos que precederam ou tiveram impacto sobre essa situação (DANIEL; MURBACK, 2014).

3 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa e quantitativa, com ênfase em pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória é apropriada, pois permite aprofundar a compreensão da aplicação da ferramenta de qualidade PFMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha em Processos) em uma multinacional do setor de materiais florestais com filial em Curitiba. A seleção da empresa se baseou em sua relevância para a pesquisa e na disposição da empresa em colaborar com o estudo.

Foram revisados documentos internos da empresa, como relatórios de auditoria de qualidade, registros de ocorrências, procedimentos de qualidade e documentos relacionados à aplicação das ferramentas de gestão da qualidade. Além da identificação das falhas e seus efeitos pelo PFMEA, foi proposto a empresa a utilização das ferramentas: Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto, 5W2H e PDCA.

Este estudo foi conduzido de acordo com os princípios éticos da pesquisa científica, garantindo a confidencialidade das informações da empresa. Os dados coletados foram analisados usando métodos estatísticos e técnicas qualitativas. A análise incluiu a identificação de falhas críticas, a avaliação de riscos, a priorização de ações de melhoria e a avaliação do impacto das ferramentas de qualidade na empresa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Fundada em 1947 com apenas quatro dedicados funcionários e um único produto em seu catálogo, a empresa integra, atualmente, mais de 300 colaboradores e um grande número de produtos em seu portfólio. A empresa possui diversos produtos inovadores que solidificaram sua posição como a líder mundial na fabricação de correntes para motosserras, barras, coroas, acessórios para silvicultura e componentes para equipamentos externos.

A empresa se empenha em entregar produtos para uso florestal resistentes, fortes e leves, sendo as ferramentas ideais para qualquer tipo de trabalho. Além disso, preocupada com a segurança dos usuários, a organização fornece ainda Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para que os riscos envolvidos no

manuseio de seus produtos sejam mitigados. No entanto, a unidade de Curitiba produz apenas correntes, os outros equipamentos são importados.

O bom pós-venda é um dos valores presentes na organização. Além de fornecer produtos de qualidade, a empresa conta com fornecimento de peças de substituição, disponibilizando um localizador virtual que, caso não seja eficiente ou cause estranheza ao usuário, há a possibilidade de entrar em contato direto com os atendentes através do site.

A empresa não se limita a profissionais que trabalham diretamente com florestas, ela fornece ainda equipamentos para usuários casuais que fazem trabalhos menores no seu jardim, gramado, pátio, entre outros. Assim, é possível realizar um trabalho externo de maneira mais fácil, confortável e segura, com equipamentos de qualidade.

3.2 PROCESSOS ANALISADOS

A unidade de Curitiba produz apenas correntes e, por isso, os processos analisados são voltados a produção desse produto. A montagem da corrente para ser usada em equipamentos florestais depende de quatro peças: cortador, rebite, drive link e tire strap. Apesar de serem montadas em conjuntos, nem todas as peças passam pelos mesmo processos. O quadro 6 demonstra por quais processos cada parte da corrente é submetida.

Quadro 6 – Peças e seus respectivos processos de produção

		Peças			
		Cortador	Rebite	Drive link	Tie Strap
Processos	Cromagem	x			
	ERHT		x		
	Estamparia	x		x	x
	Header		x		
	Jato	x		x	
	Tratamento térmico	x	x	x	x

Fonte: Quadro autoral.

A partir do quadro 6 é possível observar, então, a quais processos cada parte da corrente é submetida. Por exemplo, a cromagem é feita apenas no cortador, o

Electrical Resistance Heat Treatment (ERHT) somente no rebite e, da mesma forma, o processo de estamparia é realizado no cortador, no drive link e no tire strap e, assim, sucessivamente. Os processos produtivos da empresa estão detalhados a seguir.

3.2.1 Cromagem

A cromagem é um processo de revestimento de metal que envolve a aplicação de uma camada de cromo metálico sobre a superfície da corrente. Esse revestimento de cromo é aplicado para melhorar a resistência ao desgaste, a durabilidade e a resistência à corrosão, prolongando sua vida útil e melhorando seu desempenho. A figura 5 ilustra o processo de cromagem desenvolvido na empresa, sendo que à direita é realizado o processo da racker, com posicionamento dos cortadores no cátodo, enquanto à esquerda ocorre a deposição eletroquímica devido ao banho e corrente entre cortadores e ânodo.

Figura 5 – Processo de cromagem



Fonte: Imagem autoral.

É importante ressaltar que o processo de cromagem é altamente especializado e utiliza equipamentos específicos, bem como conhecimento técnico para ser realizado com sucesso. Além disso, envolve substâncias químicas, sendo conduzido com atenção às regulamentações ambientais e de segurança para proteger os trabalhadores da empresa e o meio ambiente.

3.2.2 Electrical Resistance Heat Treatment

O ERHT, também conhecido como aquecimento Joule ou aquecimento resistivo, é um processo em que uma corrente elétrica é passada por um material resistivo, como um fio ou um elemento, para gerar calor. É o que acontece com o rebite. Esse processo, pouco conhecido no Brasil, é amplamente utilizado em várias aplicações que tem como referência a indústria em questão, incluindo elementos de aquecimento em eletrodomésticos, processos industriais e até mesmo em experimentos de termodinâmica

3.2.3 Estamparia

A estamparia é um processo importante na fabricação de correntes, especialmente para a criação de elos e peças metálicas que compõem a corrente. A estamparia é usada para cortar, modelar e dar forma às peças de metal. Então, o cortador, drive link e tire strap são submetidos ao processo de estampagem, que envolve o uso de ferramentas, como prensas e matrizes, para cortar e moldar o metal nas formas desejadas. As matrizes são projetadas de acordo com o design da corrente e têm a forma dos elos ou peças desejadas.

3.2.4 Header

O processo header é uma técnica específica utilizada para produzir correntes usadas em aplicações diversas, como máquinas industriais,

transportadores, sistemas de transmissão de energia, entre outras. As correntes que passam pelo header são caracterizadas por terem elos soldados ou rebitados de forma especial, criando uma estrutura forte e durável. Na rebitagem, o rebite é inserido nos orifícios dos elos e depois é prensado ou rebatido para fixar os elos de forma segura. A figura 6 ilustra onde ocorre o processo header, bem como as máquinas envolvidas no seu funcionamento.

Figura 6 – Maquinário responsável pelo processo Header



Fonte: Imagem autoral

3.2.5 Jato

O jateamento de granalha de aço refere-se à aplicação de partículas de aço a alta velocidade para limpeza, remoção de revestimentos e preparação de superfícies em ambientes fabris. Esse processo é amplamente utilizado na indústria de manufatura, proporcionando diversos benefícios. A granalha de aço, projetada com precisão, permite a remoção eficiente de contaminantes e revestimentos antigos, contribuindo para a qualidade e durabilidade das peças metálicas. Além disso, a técnica de jateamento de granalha de aço oferece vantagens como

uniformidade na textura da superfície, aumento da resistência à corrosão e remoção de tensões residuais, melhorando a integridade estrutural.

Em resumo, o processo do jato desempenha um papel importante na fabricação de correntes, permitindo a preparação de superfícies de peças metálicas contra esforços de fadiga. Essa técnica oferece uma alternativa eficaz e versátil para muitos aspectos do processo de fabricação de correntes, mantendo a qualidade requerida.

3.2.6 Tratamento térmico

O tratamento ajuda a melhorar as propriedades mecânicas das correntes, como resistência, dureza e durabilidade. Esse processo consiste em submeter as peças da corrente a processos controlados de aquecimento e resfriamento, sendo que os efeitos dependem da temperatura, tempo e método de resfriamento utilizados. Diferentes tratamentos térmicos podem ser aplicados para atender às especificações do projeto, como criar correntes mais resistentes, mais duras ou mais maleáveis. O objetivo é ajustar a estrutura cristalina do metal para obter as propriedades desejadas e garantir a qualidade e o desempenho.

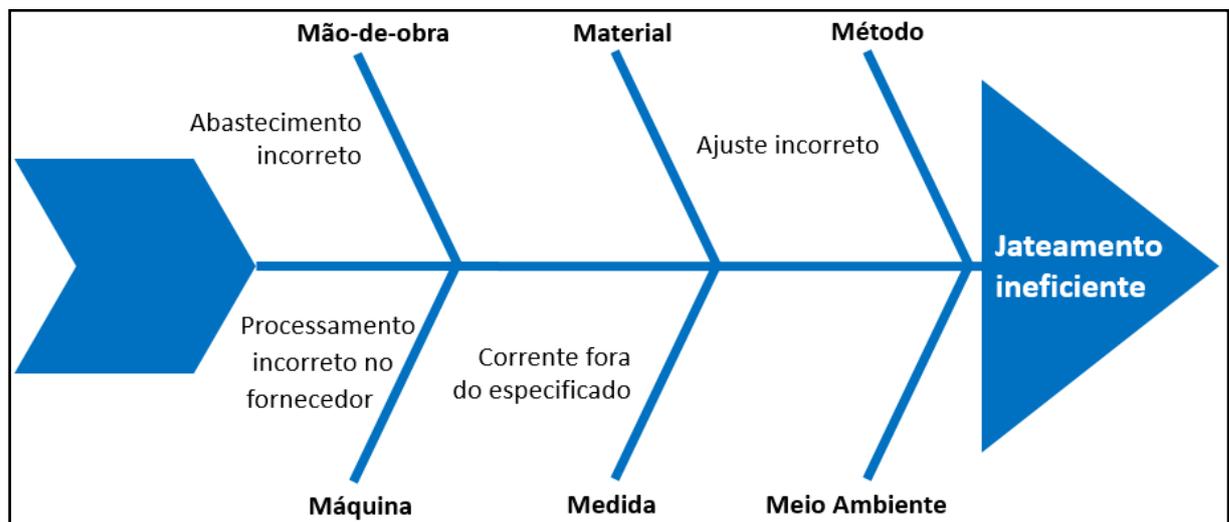
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da descrição dos processos, das visitas in loco e dos documentos disponibilizados pela organização, foi possível montar o PFMEA de cada processo da produção de correntes. O histórico de manutenção preventiva e corretiva auxiliou no discernimento das falhas e seus efeitos, obtendo assim os graus de severidade, ocorrência e detecção para calcular o NPR.

Cada possível falha em cada processo foi tratada de maneira específica, identificando através do Diagrama Espinha de Peixe, posteriormente determinando os índices de severidade, ocorrência e detecção. Em seguida, fez-se um brainstorming das possíveis soluções para a falha. Por fim, as ações não foram determinadas, pois envolvem custo e domínio mais específico de cada processo, necessitando movimentar profissionais e impactando no desempenho da empresa.

No entanto, a partir do PFMEA de cada processo e do cálculo do NPR de cada falha, é possível priorizar as que causam os piores efeitos e estabelecer, através da tomada de decisão estratégica, as ações que devem ser tomadas. A figura 5 demonstra o Diagrama Espinha de Peixe utilizado para encontrar a causa raiz de cada falha, usado sempre que necessário, ou seja, quando uma falha não tem explicação evidente.

Figura 7 – Diagrama Espinha de Peixe aplicado a falha de jateamento ineficiente no processo Jato



Fonte: Imagem autoral.

O Diagrama Espinha de Peixe demonstrou que as possíveis causas da falha jateamento ineficiente têm sido geradas por quatro motivos principais: abastecimento incorreto (mão-de-obra), processamento incorreto no fornecedor (máquina), corrente fora do especificado (medida) e ajuste incorreto (método). A tabela 1 demonstra o FMEA do processo jato, montada a partir das falhas e das possíveis causas. O PFMEA da Cromagem, ERHT, Estamparia, Header e Tratamento térmico pode ser visto nos apêndices A, B, C, D e E, respectivamente.

Tabela 1 – PFMEA do Processo Jato

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E V	Causa potencial de falha	O C O	D E T	NPR
Abastecedor	Recebimento de peças corretas	Etiqueta incorreta	Mistura de peças	6	Etiqueta trocada	2	8	96
	Jato limpo	Falta de limpeza após processamento	Mistura de peças	5	Falta de limpeza	4	8	160
	Abastecimento de granalha correto	Abastecimento incorreto	Jateamento ineficiente	4	Erro operacional	2	10	80
	Composição da granalha correta	Processamento incorreto no fornecedor	Contaminação por outros elementos	2	Processamento no fornecedor com desvio	2	10	40
			Perda rápida de granalha	3	Processamento no fornecedor com desvio	2	10	60
	Gralha do tamanho correto	Processamento incorreto no fornecedor	Jateamento ineficiente	4	Processamento no fornecedor com desvio	2	7	56
	Gralha sem defeitos visuais	Processamento incorreto no fornecedor	Jateamento ineficiente	4	Processamento no fornecedor com desvio	2	10	80
Jateamento	Alvo de granalha correto	Ajuste incorreto	Jateamento ineficiente	4	Desvio por vibração	4	8	128
	Espaço na cortina inexistente	Ajuste incorreto	Mistura de peças	4	Desgaste	5	8	160
	Intensidade correta	Ajuste incorreto	Jateamento ineficiente	4	Gralha mal dimensionada, máquina não ajustada	4	7	112
	Tempo de jateamento correto	Ajuste incorreto	Jateamento ineficiente	4	Programação incorreta	2	8	64
	Dimensional da granalha correto	Corrente fora do especificado	Jateamento ineficiente	4	Desgaste	4	8	128
Exaustão	Pressão de exaustão correta	Entupimento do exaustor	Cheiro de Gralha	10	Uso demasiado sem limpeza	4	8	320
			Volta granalha	6	Entupimento do exaustor	4	9	216
		Quebra no exaustor	4	Desgaste	3	8	96	
	Filtro Limpo	Acúmulo de granalha	Potencial incêndio	10	Falta de troca de filtro, exaustor com pressão elevada	3	8	240
Peneiragem	Separação completa da granalha	Tempo insuficiente	Erro de maquinário	3	Programação incorreta	3	8	72

	Separação completa das peças	Esteira com defeito	Peças na peneira	6	Esteira com defeitos, dimensionamento dos furos incorretos	8	8	384	
Descarregamento	Somente peças na caixa	Queda fora da caixa	Quantidade de peças incorreta na caixa	3	Folga no projeto, não utilização do braço lateral	3	8	72	
Mesa vibratória	Diâmetro do furo correto	Rebarba no interior do furo	Rejeição de peças	6	Rebarba ou dimensionamento incorreto na estamparia	4	7	168	
	Aprovação no teste de nital	Cortador sem cromo	Rejeição de peças	4	Falha durante processo de cromagem	4	8	128	
	Distribuição correta nas caixas		Setup incorreto	Mistura de peças	6	Setup incorreto	2	8	96
				Dimensionamento de abastecimento na montagem incorreto	4	Setup incorreto	2	8	64
				Peso incorreto	4	Realocação de caixas incorreto	2	8	64

Fonte: Tabela autoral.

Através do NPR calculado é possível definir quais falhas devem ser tratadas com prioridade. É recomendado que as que estão em vermelho sejam tratadas com mais brevidade, mitigando o seu acontecimento ou deixando um plano de ação pré-estabelecido caso alguma delas ocorram. O mesmo deve ser realizado nos outros processos disponíveis nos apêndices já citados.

Algumas falhas foram tratadas como resposta à esse trabalho, baixando o valor do NPR calculado para o ano seguinte, com a definição de inserção no sistema da empresa e revisão anual destas tabelas com a mesma metodologia definida neste trabalho.

Um dos planos de ação definido foi a implantação de uma bóia com sistema de acionamento automático do nível de sal a fim de mitigar a projeção de chamas na boca da mufla, uma falha com inerente risco de segurança à operação. Com a instalação da bóia o nível de sal é acompanhado em tempo real, ao chegar no limite mínimo ou máximo o processo é automaticamente cessado, o que gerou na diminuição das ocorrências durante o ano de 2023, e melhorando a capacidade de detecção pela ação automática. A FIGURA 8 mostra o efeito ocorrido no cálculo de NPR na tabela PFMEA causada pelo plano de ação, levando a falha à um nível aceitável sem alterações de design, o que mantém a severidade em um alto nível.

Figura 8 – Tabela PFMEA antes e após plano de ação da instalação de bóia de nível

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E V	Causa potencial de falha	O C S	D E T	NPR
Banho de sal	Temperatura banho de sal correta (especificação)	Temperatura incorreta	Peça mole/dura	8	Receita incorreta	2	5	80
	Tempo banho de sal correto	Tempo incorreto	Peça mole/dura	7	Queda de energia, receita incorreta, travar esteira	2	5	70
	Nível de banho de sal correto	Nível incorreto	Projeção de chama na boca da mufia	10	Entrada de oxigênio	4	5	200
	Pureza do banho	Subida de vapor	Descarbonetação	7	Contaminação	3	6	126

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E V	Causa potencial de falha	O C S	D E T	NPR
Banho de sal	Temperatura banho de sal correta (especificação)	Temperatura incorreta	Peça mole/dura	8	Receita incorreta	2	5	80
	Tempo banho de sal correto	Tempo incorreto	Peça mole/dura	7	Queda de energia, receita incorreta, travar esteira	2	5	70
	Nível de banho de sal correto	Nível incorreto	Projeção de chama na boca da mufia	10	Entrada de oxigênio	3	2	60
	Pureza do banho	Subida de vapor	Descarbonetação	7	Contaminação	3	6	126

Fonte: Imagem autoral.

A implementação depende da integração de diversos setores da empresa, incluindo o de manutenção. A partir de indicadores, como o *Mean Time Between Failures* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), Disponibilidade, entre outros, é possível determinar o período em que se deve checar e agir no processo, reiniciando o PDCA em sua utilização cíclica.

5 CONCLUSÃO

A aplicação da Ferramenta de Qualidade PFMEA neste trabalho revelou-se uma abordagem valiosa para gerenciar riscos e preservar a qualidade dos processos e produtos em uma empresa do setor de materiais florestais. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia da utilização do PFMEA como uma ferramenta proativa na identificação, avaliação e mitigação de potenciais falhas em processos, proporcionando melhorias significativas na qualidade dos produtos. Além disso, o estudo destacou a relevância do conceito de qualidade para as organizações, reforçando a importância de uma abordagem sistemática e preventiva na busca pela excelência.

A compreensão profunda do funcionamento do PFMEA e sua aplicação prática demonstraram como essa ferramenta pode ser uma aliada estratégica para empresas que buscam alcançar padrões mais elevados de qualidade e eficiência operacional. O estudo de caso serviu como um exemplo concreto de como a integração do PFMEA na gestão de processos pode resultar em benefícios tangíveis, como a redução de retrabalho, custos de produção mais baixos e, acima de tudo, a satisfação do cliente.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos adicionais que explorem ainda mais a aplicação do PFMEA em diferentes setores industriais, permitindo uma compreensão mais abrangente de suas potenciais aplicações e impactos. Além disso, investigações sobre a integração do PFMEA com outras ferramentas de gerenciamento de qualidade. Recomenda-se ainda, em outra oportunidade, realizar o plano de ação e aplicação das ações para avaliar, por meio de indicadores, os resultados.

Em última análise, a pesquisa realizada neste trabalho abre portas para um campo vasto e promissor de estudos sobre a gestão da qualidade e o gerenciamento de riscos em empresas de diversos setores. A aplicação eficaz do PFMEA, como evidenciado neste estudo de caso, pode ser uma peça fundamental na busca contínua pela excelência operacional e na garantia da satisfação do cliente.

REFERÊNCIAS

- ANJALEE, Jayaweera; RUTTER, Victoria; SAMARANAYAKE, Nithushi. **Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to improve medication safety: a systematic review**. Postgraduate Medical Journal, 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/pmj/article/97/1145/168/6969603?login=false>. Acesso em: 19 set. 2023.
- BARROS, Leonardo. **5W2H: o que é e como implementar**. 2023. Disponível em: <https://tangerino.com.br/blog/5w2h-na-gestao-de-pessoas/>. Acesso em: 19 set. 2023.
- BONONI, Daniele; POLLI, Henrique. **Aplicabilidade da ferramenta FMEA na mitigação de falhas de processos produtivos da agroindústria 4.0**. Interface Tecnológica, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/888/560>. Acesso em: 19 set. 2023.
- COELHO, Fabrício; SILVA, Adriano; MANIÇOBA, Rafaela. **Aplicação das ferramentas da Qualidade: estudo de caso em pequena empresa de pintura**. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5744975>. Acesso em: 19 set. 2023.
- CRISSI, Evelize. **PFMEA x DFMEA: entenda a diferença entre eles**. Qualityteam, 2016. Disponível em: <https://qualityteam.com/pb/blog/pfmea-x-dfmea-entenda-diferenca-entre-eles/>. Acesso em: 19 set. 2023.
- CRUZ, Adriana. **PFMEA: análise de causa-efeito para redução do retrabalho nos processos produtivos**. UNIBH, 2018. Disponível em: https://pmkb.com.br/wp-content/uploads/2018/06/PFMEA_-An%C3%A1lise-de-Causa_Efeito-para-Redu%C3%A7%C3%A3o-do-Retrabalho-nos-Processos-Produtivos-Adriana-Marques-da-Cruz.pdf. Acesso em: 19 set. 2023.
- DANIEL, Érika; MURBACK, Fábio. **Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade**. PUC Minas, 2014. Disponível em: https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/Artigo16_2014.pdf. Acesso em: 19 set. 2023.
- ISHIDA, Juliana; OLIVEIRA, Daysa. **Um estudo sobre a Gestão da Qualidade: conceitos, ferramentas, custos e implantação**. Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo, 2019. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/7742/67648340#>. Acesso em: 19 set. 2023.
- JUNIOR, Antônio; RODRIGUES, Orlânia. **FMEA Aplicado a Manutenção: revisão sistemática e análise crítica**. Universidade de Brasília (UnB). Brasília, 2022.
- MARIANI, Celso. **Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso**. Revista de Administração e

Inovação, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/973/97317090009.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

MENEZES, Carlos. **FMEA de processo na indústria automotiva: uma análise sobre a aplicação do Número de Prioridade de Risco (RPN)**. UNESP, 2020.

Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/191819/menezes_cag_me_guara.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 19 set. 2023.

MOTTA, Rodrigo; CORÁ, Maria. **Uma crítica ao discurso da gestão da qualidade total, a partir do pensamento de Maurício Tragtenberg**. Revista Brasileira de Estudos Organizacionais, 2019. Disponível em:

Disponível em:

<https://rbeo.emnuvens.com.br/rbeo/article/view/164>. Acesso em: 19 set. 2023.

OUYANG, Linhan; CHE, Yushuai; YAN, Ling; PARK, Chanseok. **Multiple perspectives on analyzing risk factors in FMEA**. Elsevier, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361522001099>. Acesso em: 19 set. 2023.

PATRICIO, Renato. **Adequação do FMEA para gerenciamento de riscos em obra de infraestrutura, após a aplicação da análise preliminar de risco na execução de muro de gabião**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Disponível em:

https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17909/2/CT_CEEEST_XXIV_2013_28.pdf. Acesso em: 19 set. 2023.

RABELLO, Guilherme. **Conheça as 7 ferramentas da qualidade mais usadas**.

Siteware, 2023. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/gestao-estrategica/quais-sao-ferramentas-da-qualidade/>. Acesso em: 19 set. 2023.

RABELLO, Guilherme. **O que é FMEA e como aplicar para melhorar processos e produtos**. Siteware, 2022. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/qualidade/o-que-e-fmea/>. Acesso em: 19 set. 2023.

RIBAS, Thomaz. **5W2H: entenda o que é essa estratégia e como usá-la**. 2022.

Disponível em: <https://thomazribas.com/gestao/5w2h>. Acesso em: 19 set. 2023.

RIBEIRO, Rui. **PFMEA – Otimização de Processos**. Universidade do Minho Escola de Engenharia, 2011. Disponível em:

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16134/1/TESE%20-%20Rui%20Miguel%20-%202011.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

TOSMANN, João. **Entenda o que é e como calcular o Número de Prioridade de Risco**. CIMM, 2022. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/artigos/22763-entenda-calculador-numero-prioridade-risco>. Acesso em: 19 set. 2023.

APÊNDICE A

Tabela 2 – PFMEA do Processo Cromagem

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E V	Causa potencial de falha	O C C	D E T	NPR
ECM	Recebimento de peças corretas (PN)	Etiqueta incorreta	Mistura de peças	7	Falta de inspeção	4	8	224
	Tanque ECM limpo	Falta de limpeza setup	Mistura de peças	5	Não seguir trabalho padronizado	4	8	160
	Abastecimento de peças corretas (PN)	Abastecimento incorreto	Mistura de peças	7	Falta de inspeção	4	8	224
	Superfície do cortador limpo	Corrosão / Marca de catodo	Falha na cromagem e defeito visual	5	Corrente excessiva ataca a peça	3	8	120
	Superfície do rebite limpo	Peça suja	Rebites travando em outros processos	5	Superfície não ataca o suficiente	5	8	200
	Banho	Fora de controle	Peças sujas	5	Não seguir trabalho padronizado	5	6	150
Racker	Recebimento de peças corretas (PN)	Etiqueta incorreta	Mistura de peças	5	Falta de inspeção	4	4	80
	Abastecimento de peças corretas (PN)	Abastecimento incorreto	Mistura de peças	5	Falta de inspeção	4	4	80
	Bandeja da racker limpa	Falta de limpeza pós setup	Mistura de peças	5	Não seguir trabalho padronizado	4	4	80
	Cortador desce no trilho	Cortador emperra no trilho	Perda de produtividade	4	Aba mal formada	7	4	112
	Cortadores encaixam na gancheira corretamente	Cortadores ficam presos na gancheira Cortadores afundam na gancheira Cortadores ficam sobrepostos	Linha de cromo baixa	5	Cortadores deformados (estamparia)	4	8	160
			Linha de cromo alta	6	Gancheira velha ou danificada	4	8	192
			Cromagem incompleta	6	Gancheira velha ou danificada	4	8	192
	Gancheira preenchida completamente de cortadores	Gaps na racker (espaços vazios)	Cromagem no calibre, queima, espessura da camada incorreta	6	Problema no alinhamento dos cortadores	4	8	192
	Sacrifício cobre o ultimo calibre	Sacrifício não cobre o ultimo calibre	Cromagem no calibre	4	Sacrifício cai da racker, falha do operador, racker velha	4	8	128
	Todos os cortadores cromados (derack)	Mistura de cortadores cromados e não cromados	Cortadores sem cromo	7	Erro do operador ao misturar gancheiras cromadas/não cromadas no processo de derack	6	7	294
Cromo	Espessura da camada de cromo	Camada de cromo alta	Queima no cromo	6	Gancheiras novas possuem melhor condutividade comparado com as usadas	4	6	144
				6	Tempo de cromagem muito alto	4	6	144
				6	Gancheira deformada, fazendo com que parte dela fique mais próxima do anodo	4	6	144
				6	Anodo posicionado incorretamente	4	6	144
				6	Solução de cromo com temperatura baixa (Target 142.0 °F + 4 °F)	4	2	48
				6	Concentração de ácido alta no cromo (Target 290g/L)	4	6	144
				6	Corrente alta (Target 1600A - 2050A)	4	6	144
		Camada de cromo baixa	Redução de performance da corrente	6	Gancheiras usadas possuem menor condutividade	4	6	144
				6	Pegador da gancheira sujo	4	6	144
				6	Gancheira deformada, fazendo com que parte dela fique mais longe do anodo	4	6	144
				6	Flight-bar blocos em V e selas não limpas	4	6	144
				6	Flight-bar barramento não limpo	4	6	144
				6	Anodos passivos (anodos amarelados)	4	6	144
				6	Anodos muito finos	4	6	144
				6	Anodos posicionados incorretamente	4	6	144
				6	Falta de anodos	4	6	144

				6	Tempo de cromagem muito baixo	4	6	144
				6	Temperatura da solução de cromo muito alta (Target 140.0 °F ± 4 °F)	4	2	48
				6	Nível do tanque baixo (cortador sem cromo)	4	6	144
				6	Baixa concentração de ácido no cromo (Target 250g/L)	4	6	144
				6	Excesso de impurezas na solução ácida do cromo (>12g/ L)	4	6	144
				6	Alta proporção de cromo-catalisador (Target 140:1)	4	6	144
				6	Corrente baixa (Target 1600A - 2050A)	4	4	96
	Dureza do cromo	Dureza insuficiente	Pode causar rebarba excessiva na afiação / Performance da corrente	6	Suspeitas: Baixa concentração de catalisador Temperatura da solução de banho de revestimento muito alta ou muito baixa (Alvo: 140,0 °F ± 4 °F). Concentração de ácido crômico muito alta ou muito baixa (Alvo: 250g/L) Relação cromo-catalisador alta (Alvo: 140:1)	2	9	108
	Região cromada	Linha de cromo baixa ou alta, cromagem não uniforme	Redução de performance da corrente	5	Nível de cromo baixo no tanque	4	8	160
5				Gancheira deformada/usada	4	8	160	
5				Anodos passivos (amarelados)	4	8	160	
5				Anodos finos	4	8	160	
5				Anodos posicionados incorretamente	4	8	160	
	Cromo aderido corretamente	Desplacamento de cromo	Diminui a resistência a desgaste do cortador e diminui vida útil da corrente	7	Excesso de rebarba no raio externo do cortador	3	8	168
7				Banho de cromo contaminado	3	8	168	
7				Interrupção da corrente	3	4	84	
7				Cortadores passam por mais de uma cromagem	3	8	168	
7				Reversão imprópria	3	4	84	
7				Temperatura do tanque baixa (Target 140.0 °F ± 4 °F)	3	2	42	
7				Alta ondulação no retificador	3	8	168	
7				Peças sujas (falha do ECM)	3	8	168	
	Sem oxidação	Oxidação	Retrabalho	4	Ph em solução alcalina incorreto	2	8	64
Centrifuga	Peças secas	Tempo/temperatura incorretos	Peças molhadas / manchas amareladas no cortador	2	Falha no aquecedor	2	8	32
				2	Velocidade incorreta	2	8	32
				2	Tempo e temperatura incorretos	2	8	32
				2	Excesso de peso de cortadores	2	8	32
				2	Finalizar o processo antes de terminar	2	8	32
Saída	Medição da camada	Fora de especificação	Peça dentro de especificação medindo fora, peça fora medindo dentro	3	Medida incorreta	2	6	36

Fonte: Tabela autoral.

APÊNDICE B

Tabela 3 – PFMEA do Processo ERHT

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E V	Causa potencial de falha	O C C	D E T	NPR
Hopper	Recebimento de peças corretas (PN)	Etiqueta incorreta	Mistura de peças mesmo passo (8), passo diferente (6)	8	Falta de inspeção	3	10	240
	Abastecimento de peças corretas (PN)	Abastecimento incorreto	Mistura de peças mesmo passo (8), passo diferente (6)	8	Falta de inspeção	3	10	240
Bandeja	Movimentação de rebites (vibração)	Peças enroscando	Acúmulo de peças na bandeja (máquina 8)	7	Dimensão da bandeja incorreta	7	8	392
	Bandeja limpa	Falta de limpeza pós setup	Mistura de peças	3	Limpeza não feita completamente	3	10	90
Trilho	Movimentar o rebite	Rebite trava no trilho	Parada de processo	4	Mistura de peça (maior no menor)	9	2	72
				4	Recebimento de peças atacadas / suja (ECM)	6	2	48
				4	Espessura da flange incorreta	5	2	40
				4	Trincas/estrias no rebite	5	2	40
				4	Blank	4	2	32
Agulha	Movimentar o rebite	Rebite trava na agulha	Parada de processo	5	Flange arredondada	5	2	50
	Velocidade	RPM baixo	Flange derretida	7	Setup incorreto	2	8	112
	Velocidade	RPM alto	Rebite não tratado	7	Setup incorreto	2	3	42
Serpentina	Potenciômetro (nr de voltas) / Potência	Potência baixa	Rebite não tratado	7	Setup incorreto, falha no banco de capacitores	5	3	105
	Potenciômetro (nr de voltas) / Potência	Potência alta	Flange derretida	7	Setup incorreto	2	8	112
	Ângulo de tratamento final	Ângulo incorreto	Queima da agulha (6), tratamento mal posicionado (7)	7	Defeito pós manutenção	3	4	84
	GRID (nr de voltas)	Parâmetro incorreto	Queda do gerador	3	Defeito pós manutenção	3	2	18
	Dimensional	Dimensional incorreto	Tratamento irregular	7	Desgaste	3	6	126
	Fornecedor	Falta de serpentina	Parada de processo	8	Serpentina fornecida nos valores incorretos	3	6	144
Toques	Número de toques incorreto	Caixa com qtd de rebites	3	Setup incorreto	2	10	60	
Bomba de vácuo	Posicionar rebite na serpentina durante tratamento	Não posicionar rebite	Peça não tratada	7	Sujeira ou desgaste da bomba	6	4	168
Calha	Concentração de óleo de têmpera	Concentração incorreta	Tratamento incorreto	7	Falta de óleo	2	6	84
Esteira	Movimentação de rebites	Esteira suja	Mistura de peças	3	Falta de limpeza pré-setup	3	8	72
		Descarregamento em caixa suja	Mistura de peças	3	Falta de limpeza pré-setup	3	8	72
		Esteira danificada	Esteira travada	3	Rolamento danificado	5	2	30
	Medição de dureza	Fora de especificação	Peça dentro de especificação medindo fora, peça fora medindo dentro	6	Durômetro: identador danificado	3	6	108
				7	Durômetro: descalibrado	2	6	84
				4	Base do gauge danificada	4	6	96
Medição da camada	Fora de especificação	Peça dentro de especificação medindo fora, peça fora medindo dentro	3	Medida incorreta	2	6	36	

Fonte: Tabela autoral.

APÊNDICE C

Tabela 4 – PFMEA do Processo Estamparia

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E V	Causa potencial de falha	O C C	D E T	NPR
Fornecedor		%C incorreto	Defeito na conformação / tratamento térmico	7	Usina	2	9	126
	Composição	% de elementos incorretos / contaminantes	Problema de performance (cliente)	5	Usina	2	9	90
	Microestrutura	Grau de esferoidização (nível 3)	Conformação / tratamento térmico	6	Usina/Fornecedor	2	9	108
		Grau de esferoidização (nível 4)	Conformação / tratamento térmico	3	Usina/Fornecedor	3	9	81
		Tamanho de grão	Conformação	6	Fornecedor	2	9	108
		Descarbonetação	Tratamento térmico	5	Fornecedor	2	9	90
		Inclusões	Problema de performance (cliente)	4	Usina	3	9	108
		IGO	Performance / Tratamento térmico	4	Usina/Fornecedor	3	9	108
		Dureza	Problema de performance (cliente)	8	Fornecedor	2	7	112
		Dobramento	Problema de performance (cliente)	8	Fornecedor	2	7	112
	Dimensional	Largura	Perda de produtividade/quebra de ferramenta	6	Fornecedor	3	2	36
		Espessura	Perda de produtividade/quebra de ferramenta	6	Fornecedor	4	10	240
		Paralelismo	Perda de produtividade/quebra de ferramenta	4	Fornecedor	2	10	80
		Abaulamento transversal	Perda de produtividade/quebra de ferramenta	4	Fornecedor	2	2	16
		Empenamento	Perda de produtividade/quebra de ferramenta	5	Fornecedor	5	2	50
	Visual	Rebarba	Perda de produtividade	5	Fornecedor	4	8	160
			Rebarba na aba do cortador	6	Fornecedor	2	8	96
			Corte por rebarba	10	Fornecedor	3	8	240
			Limalha	6	Fornecedor	4	8	192
		Carepa	Rejeição nos processos seguintes	3	Fornecedor	3	8	72
		Esfoliação	Perda de produtividade, peça dividida ao meio	7	Fornecedor	2	8	112
		Sentido de embobinamento	Perda de produtividade	2	Fornecedor	3	8	48
			Risco de acidente	9	Método de correção	2	8	144
		Oxidação	Rejeição nos processos seguintes	3	Embalagem com defeito ou armazenamento incorreto	4	8	96
		Amaril	Acidente de trabalho (corte)	10	Fornecedor	2	9	180

	Entrega	Falta de MP	Parada de fábrica	8	Fornecedor	3	2	48
Desbobinador	Desbobinar bobina	Velocidade incorreta	Perda de produtividade	3	Programação incorreta/falha do equipamento	4	2	24
Endireitador	Alimentação correta, diminuir empenamento	Ajuste de pressão dos rolos	Aumentar o empenamento/não tirar empenamento/perda de produtividade	5	Espessura, empenamento original, desgaste dos rolos ou molas	5	2	50
Alimentador	Fluxo de MP	Falta de alimentação	Batida fora de passo/marca no furo	4	Falta de pressão nos rolos, desgaste, rugosidade de MP baixa, ajuste incorreto	6	8	192
		Alimentar em excesso	Batida fora de passo/marca no furo	4	Excesso de pressão nos rolos, desgaste, rugosidade de MP variando, ajuste incorreto	6	8	192
Conformação	Estampo	Quebra do punção	Quebra estampo	8	Carbide com defeito	6	8	384
		Pressão	Estampo forte, estampo fraco	7	Falta ou excesso de calço no punção	5	8	280
		Altura martelo	Sem estampo	8	Falta de calço no punção e pressão na máquina, peças de início de processo	4	8	256
		Punção irregular	Estampo ilegível	5	Desgaste	2	8	80
	Identificador de Cavidade (TS)	Quebra do punção	Quebra estampo/trincas	8	Carbide com defeito	4	8	256
		Pressão	Estampo forte, estampo fraco	7	Falta ou excesso de calço no punção	3	8	168
		Altura martelo	Sem estampo	3	Falta de calço no punção e pressão na máquina, peças de início de processo	2	8	48
		Punção irregular	Estampo ilegível	3	Desgaste	2	8	48
	Punção do Gullet / Punção do pré Trim (CT)	Quebra	Rebarba	2	Batida fora de passo	4	8	64
			Bater fora de passo	3		4	4	48
		Desgaste	Rebarba	2	Pouca lubrificação, tempo de trabalho	5	8	80
			Quebra	Rebarba	2	Batida fora de passo	4	8
	Matriz do Gullet / Matriz do pré Trim (CT)	Desgaste	Rebarba	2	Pouca lubrificação, tempo de trabalho	5	8	80
			Quebra	Rebarba	2	Batida fora de passo	4	8
	Furo do Carrier (Chisel)	Desgaste	Rebarba	2	Pouca lubrificação, tempo de trabalho	4	8	64
			Quebra	Rebarba	2	Batida fora de passo	4	8
	Coining (Chisel/Micro-Chisel)	Desgaste	Raio interno irregular, dimensional de dobra incorreto	7	Batida fora de passo	4	6	168
			Raio interno irregular, dimensional de dobra incorreto	7	Tempo de trabalho	4	6	168
	Furo countersink	Quebra	Rebarba no furo	5	Falta de lubrificação/batida fora de passo/quebra do parafuso de fixação ou solda da camisa	5	8	200
			Brilho fora de especificação	4	Falta de lubrificação/tempo de trabalho	5	6	120
		Dimensional incorreto	Escareado fora de especificação	7	Punção for a de especificação de desenho	5	6	210
			Dimensional do furo incorreto	7	Punção for a de especificação de desenho	5	6	210
			Dimensional do Passo	7	Punção com diâmetro incorreto	3	6	126
			Punção com desgaste	3	6	126		
	Pilotos	Dimensional incorreto	Dimensional do furo incorreto	7	Piloto for a de especificação de desenho	5	6	210
			Quebra	Perda de produtividade	4	Qualidade da solda da camisa	5	2
		Limalha e rebarba no furo		5	Qualidade da solda da camisa	5	8	200
	Placa de Nitrogênio (CT)	Excesso de pressão	Deformação na fita, não para a máquina e bate for a de passo	4	Falha no manômetro, ou programação incorreta	2	6	48
Dimensão de furo incorreto			7	Vazamento no conjunto ou programação incorreta	6	6	252	
Coin Reliever (DL/BDL)	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	6	8	144	
		Quebra	Rebarba	3	Batida fora de passo, dimensional incorreto do porta punção	4	8	96
Coin Block (DL/BDL)	Desgaste	Dimensional do coin incorreto	7	Desgaste natural	4	6	168	
		Dimensional incorreto	7	Falha de afiação	3	6	126	

	Quebra	Rebarba, falta de amassamento	7	Batida fora de passo, dimensional incorreto do porta punção	2	8	112
Matriz do Coin (DL/BDL)	Desgaste	Rebarba	4	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	4	8	128
	Quebra	Rebarba	4	Batida fora de passo, batida de pino para retirada de cavaco	4	8	128
		Dimensional do coin incorreto	7	Falha de afiação	2	6	84
		Coin duplo	6	Falha de afiação	3	8	144
Piercing (CT)	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	6	8	144
	Quebra	Rebarba	3	Batida fora de passo	5	8	120
Top Chamfer / Pré Countersink	Desgaste	Chanfro irregular/dimensional	4	Desgaste natural	4	6	96
	Quebra	Chanfro irregular/dimensional	4	Batida fora de passo, dimensional incorreto do porta punção	2	6	48
	Dimensional incorreto	Dimensional de chanfro incorreto	4	Falha de afiação	2	6	48
Top Plate (Chisel)	Quebra	Dimensional da placa incorreto	4	Batida fora de passo	4	6	96
	Desgaste	Dimensional da placa incorreto	4	Desgaste natural	4	6	96
	Ajuste Incorreto	Dimensional da placa incorreto	4	Dimensional do calço incorreto	4	6	96
Shave	Desgaste	Rebarba	4	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	6	8	192
		Riscagem no brilho	4	Desgaste natural	6	8	192
	Quebra	Rebarba	4	Batida fora de passo, dimensional incorreto do porta punção	5	8	160
Matriz do Pierce Shave	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural	5	8	120
	Quebra	Rebarba	3	Batida fora de passo, batida de pino para retirada de cavaco	5	8	120
Punção do Trim (CT)	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	5	8	120
	Quebra	Rebarba	3	Batida fora de passo, dimensional incorreto do porta	4	8	96
Matriz Trim (CT)	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural	6	8	144
	Quebra	Rebarba	3	Batida fora de passo, batida de pino para retirada de cavaco	5	8	120
Z-Bend (Chisel)	Quebra	Dimensional calibre incorreto	4	Batida fora de passo	3	6	72
		Quebra de ferramental no bend over	3	Batida fora de passo	3	6	54
	Desgaste	Dimensional calibre incorreto	4	Desgaste natural	3	6	72
		Quebra de ferramental no bend over	3	Desgaste natural	3	6	54
	Desgaste	Má formação do raio	4	Desgaste natural	4	6	96
	Quebra	Má formação do raio	4	Batida fora de passo	4	6	96
	Deformação	Má formação do raio	4	Falha no processo de fabricação	4	6	96
Wipe-up (Micro-Chisel)	Desgaste	Má formação do raio e Dimensional de aba	4	Desgaste natural	2	6	48
	Quebra	Má formação do raio e Dimensional de aba	4	Batida fora de passo	2	6	48
	Deformação	Má formação do raio e Dimensional de aba	4	Falha no processo de fabricação	2	6	48
	Aderência de material	Riscagem	4	Falta de lubrificação	4	8	128
First Wipe (Chisel)	Desgaste	Má formação do raio	6	Desgaste natural	4	6	144
	Quebra	Má formação do raio	6	Batida fora de passo	4	6	144
	Deformação	Má formação do raio	6	Falha no processo de fabricação	4	6	144
Radial Form (Micro-Chisel)	Desgaste	Má formação do raio	6	Desgaste natural	2	6	72
	Quebra	Má formação do raio	6	Batida fora de passo	2	6	72
	Deformação	Má formação do raio	6	Falha no processo de fabricação	2	6	72
	Dimensional incorreto	Marca no raio externo	4	Falha no processo de fabricação	4	8	128

Second Wipe (Chisel)	Desgaste	Má formação do raio	7	Desgaste natural	4	6	168
	Quebra	Má formação do raio	7	Batida fora de passo	4	6	168
	Deformação	Má formação do raio	7	Falha no processo de fabricação	4	6	168
Final Form (Micro-Chisel)	Desgaste	Má formação do raio	7	Desgaste natural	2	6	84
	Quebra	Má formação do raio	7	Batida fora de passo	2	6	84
	Deformação	Má formação do raio	7	Falha no processo de fabricação	2	6	84
	Dimensional incorreto	Marca no raio externo	4	Falha no processo de fabricação	4	8	128
Second Wipe Anvil Ledge (Plaqueta) (Chisel)	Desgaste	Dimensional da aba incorreto	4	Desgaste natural	6	6	144
Second Wipe Stripper Punch (DET.318) (Chisel)	Desgaste	Dimensional do set incorreto	4	Desgaste natural	4	6	96
		Má formação do raio	7	Desgaste natural	4	6	168
	Quebra	Dimensional do set incorreto	4	Batida fora de passo	4	6	96
		Má formação do raio	7	Batida fora de passo	4	6	168
Witness Mark (Chisel)	Desgaste	Marca fraca	4	Desgaste	2	8	64
	Ajuste Incorreto	Marca forte ou fraca	5	Dimensional do calço incorreto	2	8	80
Flash Trim Punch Insert (Faquinha) (Chisel)	Desgaste	Cavaco não rompe	6	Desgaste natural	5	8	240
	Quebra	Marca de cavaco	6	Ajuste incorreto	5	8	240
	Ajuste Incorreto	Marca no set ou cavaco não rompe	7	Dimensional do calço incorreto	5	8	280
Depth Gauge Trim (Chisel/Micro-Chisel)	Desgaste	Rebarba	4	Desgaste natural	4	8	128
		Dimensional calibre incorreto	5	Desgaste natural	2	6	60
	Quebra	Rebarba	4	Batida fora de passo, subindo cavaco	4	8	128
		Dimensional calibre incorreto	5	Batida fora de passo, subindo cavaco	2	6	60
Depth Gauge Wipe (Chisel/Micro-Chisel)	Quebra	Dimensional do set do calibre incorreto	5	Batida fora de passo	3	6	90
	Desgaste	Dimensional do set do calibre incorreto	5	Desgaste natural	3	6	90
Chamfer Hammer	Dimensional incorreto	Dimensional chanfro incorreto	4	Falha de afiação	3	6	72
	Falta de recuperação	Marca na peça	2	Falha de afiação	2	8	32
	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	6	8	144
	Quebra	Rebarba	3	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	4	8	96
Punção do Cut Off (Chisel/Micro-Chisel)	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	6	8	144
	Quebra	Rebarba	3	Desgaste natural e lubrificação insuficiente	5	8	120
Matriz do Cut Off (Chisel/Micro-Chisel)	Desgaste	Rebarba	3	Desgaste natural	6	8	144
	Quebra	Rebarba	3	Batida fora de passo, batida de pino para retirada de cavaco	4	8	96
	Medida incorreta	Dimensional incorreto (calibre)	6	Projeto incorreto	5	6	180
Chamfer Insert	Quebra	Chanfro irregular	4	Tempo de uso	4	8	128
		Rebarba	5	Tempo de uso	3	8	120
	Desgaste	Chanfro irregular	4	Tempo de uso	4	8	128
	Medida incorreta	Dimensional incorreto	5	Afiação incorreta	5	6	150
Hammer (CT)	Desgaste	Marca na peça	2	Desgaste natural	4	8	64
	Quebra	Marca na peça	2	Batida fora de passo, e pressão excessiva	5	8	80
	Escape de peça no piloto do strike	Peça mal formada (aba)	6	Folga do hammer incorreta	5	6	180
	Dimensional incorreto	Dimensional incorreto (planicidade)	4	Falha de afiação	4	6	96
Wiper block (CT)	Quebra	Peça mal formada (placa e aba)	5	Pressão exagerada, batida fora de passo, montagem incorreta	5	8	200
		Dimensional incorreto (altura da placa, aba, ângulo transversal)	7	Pressão exagerada, batida fora de passo, montagem incorreta	5	6	210

		Perfil incorreto	Marca na peça	4	Projeto incorreto	5	8	160
		Desgaste	Riscagem na placa	4	Pouca lubrificação, matéria-prima com dureza baixa, tempo de uso	5	8	160
	Anvil (SC)	Quebra	Marca na peça	4	Pouca lubrificação, tempo de trabalho	4	8	128
			Perfil incorreto	5	Falha de afiação	4	8	160
			Rebarba	4	Pouca lubrificação, tempo de trabalho	4	8	128
		Perfil incorreto	Medida incorreta (aba, placa, set)	7	Falha na fabricação	4	6	168
		Dimensional Incorreto	Medida incorreta (ângulos de placa, aba, placa e set)	7	Falha na fabricação	4	6	168
			Marca na peça	4	Falha na fabricação	4	8	128
Saída do processo	Medição das características	Fora de especificação	Peça dentro de especificação medindo fora, peça fora medindo dentro	6	Instrumentos de medição descalibrados	3	6	108
				4	Gauge danificado	4	6	96
Centrifuga	Tempo/temperatura	Tempo / temperatura incorretos	Peças com óleo (3)/peças sem óleo (exportadas) (7)	7	Programação incorreta	3	8	168
Harperizer	Tempo/quantidade óxido	Ataque incorreto na peça	Excesso rebarba (7)/superfície atacada (4)	7	Tempo incorreto/quantidade de óxido	2	6	84

Fonte: Tabela autoral.

APÊNDICE D

Tabela 5 – PFMEA do Processo Header

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E E V	Causa potencial de falha	O C C	D E T	NPR
Fornecedor	Composição	%C incorreto	Defeito na conformação / tratamento térmico	7	Usina	2	9	126
		% de elementos incorretos / contaminantes	Problema de performance (cliente)	5	Usina	2	9	90
	Microestrutura	Grau de esferoidização (nível 3)	Conformação / tratamento térmico	6	Usina/Fornecedor	2	9	108
		Grau de esferoidização (nível 4)	Conformação / tratamento térmico	3	Usina/Fornecedor	3	9	81
		Tamanho de grão	Conformação	6	Fornecedor	2	9	108
		Descarbonetação	Tratamento térmico	5	Fornecedor	2	9	90
		Inclusões	Problema de performance (cliente)	4	Usina	3	9	108
		IGO	Performance / Tratamento térmico	4	Usina/Fornecedor	3	9	108
	Dimensional	Dimensional incorreto	Parada de processo	4	Fornecedor	2	6	48
	Acabamento	Riscagem	Quebra / Perda de produtividade em outras áreas	6	Fornecedor	7	8	336
		Estria	Perda de produtividade	2	Fornecedor	10	8	160
		Pit	Perda de produtividade	7	Fornecedor	2	8	112
		Arame embolado	Perda de produtividade	3	Fornecedor	3	2	18
	Entrega	Falta de MP	Parada de fábrica	8	Fornecedor	3	2	48
	Desenrolador	Fluxo de MP	Velocidade incorreta	Perda de produtividade	4	Programação incorreta	3	2
Trefila	Draw Die	Desgaste/Riscagem	Acabamento incorreto	7	Desgaste natural/arame ovalizado	2	6	84
		Desgaste	Dimensional incorreto	7	Desgaste natural	2	6	84
Guia	Posição	Posicionamento angulado	Riscagem	2	Parafuso com ajuste incorreto	2	8	32
	Alimentação correta	Posicionamento incorreto	Dificuldade de alimentação	2	Ajuste da guia incorreto	3	6	36
Rolos alimentadores	Alimentação constante de material	Pressão alta	Riscagem/ovalização	7	Rolos apertados	2	8	112
		Pressão baixa	Alimentação inconstante	7	Pressão baixa	2	6	84
		Desgaste	Alimentação inconstante	7	Desgaste	2	6	84
Blank (corte)	Cutter insert	Desgaste/perda de afiação	Rebarba	7	Desgaste natural	2	8	112
		Ajuste incorreto	Brilho	5	Perda de ajuste	2	8	80
		Ajuste incorreto	Comprimento do blank/flange arredondada	10	Perda de ajuste	1	4	40
Conformação	Die	Quebra/trinca	Sobra de material no flange	7	Matéria-prima	4	4	112
		Dimensional incorreto	Diâmetro da flange fora de especificação	7	Fornecido fora de especificação	2	6	84

		Cavaco	Marca de cavaco	10	Desalinhamento dos dedos e desgaste do cortador	4	4	160
Punção		Quebra/trinca	Sobra de material no flange	7	Matéria-prima	4	4	112
		Dimensional incorreto	Diâmetro da cabeça fora de especificação	7	Fornecido fora de especificação	2	6	84
		Cavaco	Marca de cavaco	10	Desalinhamento dos dedos e desgaste do cortador	4	4	160
		Ajuste posicional	Batimento fora de especificação	7	Ajuste incorreto	5	6	210
		Travamento do torpedo	Dimensional fora de especificação	5	Falta de lubrificação	2	4	40
		Calço hidráulico	Dimensional fora de especificação	5	Excesso de lubrificação	2	4	40
Pino		Desgaste	Comprimento da cabeça fora de especificação	10	Desgaste Natural	8	6	480
		Quebra	Quebra de ferramental	4	Desgaste Natural	5	4	80
Dedos		Desgaste	Queda de blank	7	Desgaste natural	6	4	168
		Ajuste incorreto	Queda de blank	7	Pancada/perda de ajuste	6	4	168
Bomba (ar comprimido)	Pressão de ar	Expelindo com muita pressão	Defeito no rebite	6	Regulagem da pressão incorreta	3	8	144
Saída do processo	Medição das características	Fora de especificação	Peça dentro de especificação medindo fora, peça fora medindo dentro	6	Instrumentos de medição descalibrados	3	6	108
				4	Gauge danificado	4	6	96
Centrifuga	Tempo	Tempo / temperatura incorretos	Peças com óleo	2	Programação incorreta	3	8	48
	Temperatura			2	Programação incorreta	3	8	48

Fonte: Tabela autoral.

APÊNDICE E

Tabela 6 – PFMEA do Processo Tratamento Térmico

Etapa do processo / Função	Requisito	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	S E V	Causa potencial de falha	O C C	D E T	NPR
Silo	Recebimento de peças corretas (PN)	Etiqueta incorreta	Mistura de peças	7	Falta de inspeção	3	8	168
	Silo limpo	Falta de limpeza pós setup	Mistura de peças	5	Não seguir trabalho padronizado	6	8	240
	Abastecimento de peças corretas (PN)	Abastecimento incorreto	Mistura de peças	7	Falta de inspeção	3	8	168
	Ajuste de Receita correta (componente)	Receita incorreta	Peça mole/dura	8	Falta de informação / comunicação	2	5	80
Esteira do silo	Peso da carga correta	Peso acima	Peça mole/dura	8	Velocidade da esteira desregulada	6	2	96
Esteira magnética	Movimentação da carga para a entrada da mufla	Travamento da esteira	Processo interrompido	2	Problema mecânico	2	3	12
Régua de camada	Altura da camada correta	Camada alta	Peça mole/dura	8	Excesso de peças na calha	3	3	72
Cortina de chama	Chama na boca frontal acesa	Chama apagada	Descarbonetação, vazamento de gás	7	Gerador apagando e fluxo de gás contínuo	7	5	245
			Chance de acidente (explosões)	10	Gerador apagando e fluxo de gás contínuo	2	3	60
Mufla	Potencial de C correto (especificação)	Variação de C	Descarbonetação	7	Entrada de ar e água	3	5	105
				7	Trinca na mufla	2	5	70
				7	Queda de luz	4	3	84
	Temperatura mufla correta (especificação)	Variação de temperatura	Peça fora de especificação (8), peça não tratada (9)	9	Queimadores com defeito	3	3	81
				9		3	3	81
				9	Queda de luz	4	3	108
Duto de queda	Queda da carga para o banho de sal	Peças enroscadas	Descarbonetação	7	Formação de crosta de sal	3	6	126
			Peça não tratada	10		3	6	180
Banho de sal	Temperatura banho de sal correta (especificação)	Temperatura incorreta	Peça mole/dura	8	Receita incorreta	2	5	80
	Tempo banho de sal correto	Tempo incorreto	Peça mole/dura	7	Queda de energia, receita incorreta, travar esteira	2	5	70
	Nível de banho de sal correto	Nível incorreto	Projeção de chama na boca da mufla	10	Entrada de oxigênio	4	5	200
	Pureza do banho	Subida de vapor	Descarbonetação	7	Contaminação	3	6	126
Tanque de enxague	Concentração de sal	Excesso/falta de sal	Sal na superfície	3	Recuperador de sal não funcionando	2	7	42
Estufa	Temperatura correta	Temperatura incorreta	Oxidação	3	Resistência desregulada	3	7	63
				3	Erro de setagem	3	7	63
Separador de peças	Peças separadas entre lotes	Peças misturando	Mistura de peças	7	"Peneira" danificada	2	7	98
Separador de peças	Peças secas	Peças molhada	Mistura de peças	7	Peças molhada ficando presas no separador	7	7	343
			Oxidação	3	Resistência e soprador com defeito	7	7	147

Descarregador	Transporte de peças	Descarregamento em caixa incorreta	Mistura de peças (pequenas)	6	Sobra de peças do lote anterior	4	7	168
	Medição de dureza	Fora de especificação	Peça dentro de especificação medindo fora , peça fora medindo dentro de especificação	6	Durômetro: identador danificado	3	6	108
				7	Durômetro: descalibrado	2	6	84
				4	Base do gauge furada	4	7	112
				3	Método: identificação no local errado	5	6	90
	Inspeção visual	Defeito visual	Sal na superfície(2), carepa(4), esfoliação(7)	7	Parâmetros incorretos, MP	3	7	147
Banco do TT	Estoque de peças	Acúmulo por longos períodos	Oxidação drive link e cortador (2), rebite e tie strap (3)	3	Tempo de atravessamento acima do definido	3	7	63