

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA QUALIDADE

PATRICIA HEZURE DE SOUZA

**APLICAÇÃO DO FMEA EM UMA EMPRESA DE DERIVADOS DE
MILHO DE PEQUENO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

PONTA GROSSA

2018

PATRICIA HEZURE DE SOUZA

**APLICAÇÃO DO FMEA EM UMA EMPRESA DE DERIVADOS DE
MILHO DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Qualidade, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Everton L. Melo

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ**
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCCE

Aplicação do FMEA em uma empresa de derivados de milho de pequeno porte

por

Patrícia Hezure de Souza

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (TCCE) foi apresentado em sete de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Qualidade. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Everton L. Melo
Prof. Orientador

Prof. Dra. Joseane Pontes
Membro titular

Prof. Dr. Evandro Eduardo Broday
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

RESUMO

SOUZA, Patrícia Hezure. **Aplicação do FMEA em um empresa de derivados de milho de pequeno porte**. 2018. 26 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Qualidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Este artigo apresenta um estudo de caso em uma empresa de pequeno porte do segmento de processamento e industrialização de derivados de milho em que foi aplicada a ferramenta *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA). O objetivo foi levantar e compreender as falhas do processo, identificando as mais críticas para que se pudesse priorizar sua correção. Foram feitas visitas à fábrica e reuniões com os envolvidos no processo produtivo. Com isso, foi possível identificar os modos e as causas das falhas existentes no processo, bem como seus riscos. A análise dos dados permitiu que fossem elaboradas propostas e ações com o intuito de eliminar os modos de falha, aumentar a confiabilidade do processo e, conseqüentemente, melhorar a produtividade da fábrica e aumentar a satisfação dos clientes.

Palavras-chave: Gestão da Qualidade, FMEA, Modos de falha, Riscos, Melhoria contínua.

ABSTRACT

SOUZA, Patrícia Hezure. **Application of the FMEA in a small company of corn derivatives**. 2018. 26 p. Monograph (Especialization in Quality Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

This paper presents a case study in a small company of corn derivatives processing and industrialization segment, in which the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) tool was applied. The objective was to raise and understand the process failures, identifying the most critical ones so that their correction could be prioritized. Visits to the factory and meetings with the people involved in the production process were made. With this, it was possible to identify the ways and the causes of the flaws in the process, as well as their risks. The data analysis allowed the elaboration of proposals and actions to eliminate failure modes, enhance process reliability and, consequently, improve factory productivity and increase customer satisfaction.

Keywords: Quality Management, FMEA, Failure modes, Risks, Continuous improvement.

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Classificação do índice de gravidade | 8 |
| Quadro 2 – Classificação do índice de detectabilidade | 9 |
| Quadro 3 – Classificação do índice de frequência | 9 |
| Quadro 4 – Pesos e classificação para frequência, gravidade e detectabilidade.... | 10 |
| Quadro 5 – Formulário FMEA do recebimento..... | 19 |
| Quadro 6 – Formulário FMEA do peneiramento..... | 19 |
| Quadro 7 – Formulário FMEA do empacotamento..... | 24 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 9 |
| 2.1 GESTÃO DA QUALIDADE | 9 |
| 2.2 FMEA | 10 |
| 3 DESENVOLVIMENTO..... | 16 |
| 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 19 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 24 |
| REFERÊNCIAS..... | 25 |

1 INTRODUÇÃO

As consequências da globalização dos mercados e das crises econômicas afetam as indústrias de todo o mundo e as obrigam a melhorar seus processos produtivos. Isso exige a adoção de estratégias de manufatura que permitam alcançar um processo enxuto, no qual haja diminuição de custos e aumento da qualidade dos produtos. Com isso, é possível aumentar a capacidade de competir (PACIAROTTI et al., 2013).

As rápidas mudanças tecnológicas também tornam desafiadora a sobrevivência das empresas. Desta forma, para uma empresa se destacar e vencer os seus concorrentes, ela deve estar fortemente comprometida com o atendimento das necessidades dos seus clientes e buscar constantemente a melhoria dos seus processos e produtos (SILVA et al. 2012).

As questões citadas anteriormente estão relacionadas à perspectiva estratégica da qualidade, na qual são analisados os benefícios que uma gestão da qualidade gera, assim como as ações necessárias para a consolidação de uma organização no mercado. Nesse contexto, é possível destacar a importância das ferramentas da qualidade para buscar alterações e melhorias nos processos produtivos (PALADINI, 2004).

Ferramentas analíticas que buscam a causa raiz de produtos não-conformes são imprescindíveis para as atividades de controle da qualidade. Dentre as ferramentas conhecidas está a *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), ou Análise dos Modos e Efeitos das Falhas. Essa ferramenta permite avaliar os possíveis modos de falha em um ambiente produtivo e obter dados numéricos para priorizar as falhas mais críticas (PACIAROTTI et al., 2013).

Considerando esses fatores o presente trabalho apresenta a aplicação do FMEA em uma indústria de derivados de milho de pequeno porte com o objetivo de melhorar a qualidade do processo produtivo, aumentando sua eficiência e garantindo a satisfação dos clientes.

O trabalho está estruturado em seções. Na Seção 2 é feito um levantamento bibliográfico relacionado ao tema. A Seção 3 apresenta a metodologia utilizada. Na Seção 4 são apresentados os resultados e as discussões. A Seção 5 traz as conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conhecer e empregar os preceitos da Gestão da Qualidade é fundamental para que as empresas se mantenham competitivas. Para tanto a área apresenta diversas ferramentas que permitem a busca da melhoria. Nesta seção são apresentados conceitos da Gestão da Qualidade e do FMEA.

2.1 GESTÃO DA QUALIDADE

É importante entender a diferença entre uma gestão de qualidade e a Gestão da Qualidade. A primeira está relacionada ao bom gerenciamento das atividades, independentemente de área, e possui um escopo mais geral. A segunda, por outro lado, está relacionada a uma área técnica da organização, a qual deve buscar garantir que produtos e serviços sejam adequados ao uso previamente estabelecido (PALADINI, 2012).

Ao longo dos anos a Gestão da Qualidade passou por quatro eras baseadas em: inspeção de produto; controle de processo; sistemas de garantia da qualidade; e, por fim, gestão da qualidade total. Esta última era tem por princípio práticas que funcionam de forma interdependente e que exigem uma reforma na cultura organizacional da empresa. Seu objetivo é a busca pela otimização dos processos e do desempenho da empresa, o que implica a melhora da qualidade de seus produtos e serviços. Tais práticas implicam, ainda, a melhoria da reputação da empresa e a satisfação de seus clientes. Com isso a fidelidade dos clientes é concretizada e a fatia de mercado da empresa é garantida, aumentando seu lucro (CORREDOR et al., 2010).

Atualmente disponibilizar um bem e/ou serviço com qualidade já não é visto como um diferencial em relação a simplesmente disponibilizar um bem e/ou serviço. Isso porque com os preceitos da qualidade vistos como ações estratégicas das organizações, as empresas precisam decidir entre disponibilizar um bem e/ou serviço com qualidade ou então colocar em risco sua sobrevivência (PALADINI, 2012).

A Gestão da Qualidade também influencia o desenvolvimento sustentável e reflete uma exigência do cliente. Dessa forma os requisitos ambientais devem ser

levados em consideração durante a coleta de informações (SIVA et al., 2016). Essa consciência ambiental foi impulsionada pela degradação do meio ambiente e como consequência tem-se uma pressão externa nas empresas para incorporar a gestão ambiental na Gestão da Qualidade e buscar a inovação verde, tornando-a cada vez mais uma vantagem competitiva (LI et al., 2017).

À partir das diretrizes básicas da teoria da Gestão da Qualidade, ações devem ser tomadas para que as melhorias desejadas sejam alcançadas. Para tanto se faz necessário o uso de técnicas e de ferramentas da qualidade, como: as sete ferramentas da qualidade; as ferramentas gerenciais da qualidade; 5S; *Quality Function Deployment* (QFD); FMEA; e Seis Sigma (CARPINETTI, 2012). Com tais ferramentas os conceitos da Gestão da Qualidade podem ser postos em prática de forma mais simples e mais fácil, gerando resultados imediatos e notáveis. Dessa forma é possível selecionar, implantar ou avaliar alterações no processo produtivo e orientar mudanças necessárias para a melhoria (PALADINI, 2012). Dentre as principais ferramentas da qualidade pode-se destacar o FMEA.

2.2 FMEA

A ferramenta FMEA surgiu na década de 1960 para suprir as necessidades relacionadas à segurança na indústria aeronáutica. O objetivo era evitar incidentes que resultassem em grandes perdas. Totalmente adaptável, hoje o FMEA é utilizada como uma ferramenta de melhoria da qualidade (POSSARLE, 2015).

Atualmente sua aplicação em larga escala ocorre em indústrias de manufatura e nas mais diversas fases do ciclo de vida do produto. Além disso, sua aplicação tem crescimento significativo em indústrias de serviços (KUMRU et al., 2012).

O FMEA pode ser definido como uma ferramenta que auxilia a definir, identificar, priorizar e eliminar as falhas, sejam elas conhecidas ou apenas potenciais, antes que o cliente perceba. Seu principal objetivo é eliminar os modos de falha e reduzir os riscos dessas falhas (STAMATIS, 2003).

Os dois tipos de FMEA mais comumente aplicados são: o FMEA de processo, ou *Process Failure Modes and Effects Analysis* (PFMEA), e o FMEA de produto, ou *Designer Failure Modes and Effects Analysis* (DFMEA). O primeiro pode

ser realizado antes de começar a produção, para o levantamento das possíveis falhas, ou durante a execução da mesma, com o objetivo de melhoria. O segundo é realizado na fase de projeto do produto para identificar as potenciais falhas e alterar e revisar o projeto antes de executá-lo (TSAI et al., 2017).

Szmel e Wawrzyniak (2017) aplicaram o FMEA em projetos de sinalização ferroviária. O principal objetivo do estudo foi identificar as possíveis falhas durante a operação dos sistemas de sinalização que poderiam interromper ou degradar a operação ou, ainda, ameaçar a segurança do usuário. Os autores afirmam que o FMEA foi adequado para este tipo de projeto por ser um modelo detalhado de análise de risco que pode ser usado no projeto preliminar, além de evidenciar os efeitos de falha inaceitáveis e o fator causal. O preenchimento do formulário FMEA foi realizado na seguinte ordem: definir elementos de *hardware* para análise, definir os modos de falha, definir os efeitos da falha e seus impactos, definir as medidas de detecção de fracasso, classificar o nível de risco para o modo de falha, estimar o risco de falha, implementar medidas preventivas e identificar e indicar testes de qualificação de segurança adicional onde for necessário. Como resultado foram identificados riscos com nível C, falha que não leva a perigo e, portanto, o sistema de sinalização está de acordo com os requisitos de projeto previamente estabelecidos.

Mehdi Kangavari et al. (2015) também utilizaram o FMEA, mas em uma aplicação na indústria petroquímica. O objetivo foi aplicar o FMEA para conhecer os riscos existentes nas instalações e, após aplicar as medidas corretivas, verificar se o Número de Prioridade de Risco (NPR) havia diminuído. Neste estudo, algumas técnicas são empregadas para auxiliar o FMEA no processo de soldagem, como: *brainstorming*, diagrama de Ishikawa, tomada de decisão em grupo, entrevistas, observações e investigação em documentos. Foram identificadas um total de 48 falhas, sendo o menor índice relacionado a colisão com obstáculos enquanto ocorre a execução da solda (NPR = 72) e o maior índice para o risco de queda durante a solda elétrica em altura (NPR = 315). Após implementar as ações corretivas todos os índices foram reduzidos e os valores do NPR citados anteriormente caíram para 206 e 60, respectivamente, evidenciando a eficácia de realizar o FMEA.

O estudo de Andriana e Noya (2016) mostrou a utilização do FMEA dentro da metodologia *Define, Measure, Analyze, Improve e Control* (DMAIC) e em conjunto com a ferramenta *Fault Tree Analysis* (FTA) para melhorar a qualidade do processo

de produção de açúcar. O objetivo era determinar os fatores que causam os produtos defeituosos e sugerir recomendações para minimizar tais defeitos a fim de reduzir os custos de produção e de retrabalho. Foram considerados 3 tipos de produtos defeituosos (cristais de açúcar úmido, grãos de cristais de açúcar fora do padrão e a cor dos cristais não padronizados). Na fase de análise do DMAIC foram analisadas as causas destes defeitos e em seguida, na fase de melhoria, o FMEA foi preenchido pelos supervisores da empresa e as recomendações foram sugeridas para cada modo de falha. Os resultados mostraram o maior valor de NPR = 210 para a demora no processo de vapor e o menor NPR = 60 quando a embalagem é de má qualidade ou o local de armazenamento não é adequado. O FMEA foi atualizado na fase seguinte e os valores dos índices para o cálculo do NPR foram estimados para a previsão dos valores após a implantação das recomendações. Todos tiveram uma queda significativa confirmando a eficiência da utilização do FMEA para minimizar os defeitos nos produtos.

O FMEA envolve três fases. Primeiramente as falhas são identificadas e características de cada falha como gravidade, detectabilidade e frequência são levantadas. Isso permite que as falhas mais relevantes sejam priorizadas. Depois são elaborados planos de ação para a eliminação das falhas selecionadas. Por fim, é feita uma análise após a implementação dos planos para verificar se as ações eliminaram ou minimizaram as causas das falhas (CARPINETTI, 2012).

A aplicação da ferramenta começa com a identificação das falhas. Então, para cada falha identificada, é necessário definir seus valores para os índices de *gravidade* (G), *detectabilidade* (D) e *frequência* (F). Com a multiplicação desses índices pode ser calculado, para cada falha, o NPR, ou seja, $NPR = G \times D \times F$. Com os valores NPR de todas as falhas é possível avaliar o nível de risco para que se possa classificar e priorizar ações. Então ações de eliminação e de prevenção de falhas podem ser elaboradas e implementadas. Ao final do processo de implementação das ações é importante que estes valores sejam recalculados para que se possa avaliar se as ações tomadas foram eficazes (XIAO et al., 2011).

O índice de gravidade pode ser classificado conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação do índice de gravidade

| Classificação | Características | Índices |
|----------------------|--|----------------|
| Muito alta | O efeito da falha poderá afetar a segurança operacional e ambiental, podendo causar danos a bens ou pessoas e infringir legislações e regulamentações. | 9 e 10 |
| Alta | Afeta a eficiência do sistema, ocasionando redução na potência ou desligamento. | 7 e 8 |
| Moderada | Reduz a eficiência do sistema. | 4, 5 e 6 |
| Baixa | Não interfere na operação da planta, mas reduz de forma mínima o desempenho do sistema. | 2 e 3 |
| Remota | O efeito da falha praticamente não é percebido | 1 |

Fonte: Adaptado de Garcia (2006).

Observando-se o Quadro 1, nota-se que os índices de gravidade mais elevados estão associados, por exemplo, a danos a pessoas, a bens ou ao ambiente. Falhas que impactem na eficiência do sistema são classificadas com índices intermediários de acordo com a amplitude dos impactos. No extremo inferior estão as falhas mais leves cujos efeitos quase não são percebidos. O índice de detectabilidade pode ser classificado conforme os Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação do índice de detectabilidade

| Classificação | Estimativa de detecção (%) | Índices |
|----------------------|-----------------------------------|----------------|
| Muito alta | 86 a 100 | 1 |
| Alta | 76 a 85 | 2 |
| | 66 a 75 | 3 |
| Moderada | 56 a 65 | 4 |
| | 46 a 55 | 5 |
| | 36 a 45 | 6 |
| Baixa | 26 a 35 | 7 |
| | 16 a 25 | 8 |
| Remota | 6 a 15 | 9 |
| | 0 a 5 | 10 |

Fonte: Adaptado de Garcia (2006).

O Quadro 2 relaciona diferentes porcentagens de detecção de falha aos índices de detectabilidade, havendo entre elas uma relação inversamente proporcional. Quanto menos detectável for uma falha, maior será seu índice de detectabilidade pois uma falha de difícil detecção deve ganhar prioridade em relação

àquelas altamente detectáveis. O índice de frequência pode ser classificado conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação do índice de frequência

| Classificação | Frequência | Índices |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| Muito alta | Praticamente inevitável | 9 e 10 |
| Alta | Frequentemente | 7 e 8 |
| Moderada | Ocasionalmente | 4, 5 e 6 |
| Baixa | Poucas vezes | 2 e 3 |
| Remota | Excepcionalmente | 1 |

Fonte: Adaptado de Garcia (2006).

No Quadro 3 os índices de frequência são atribuídos de modo proporcional às frequências com que as falhas ocorrem.

Pallady (1997) lista 5 elementos básicos para a construção de um FMEA eficaz e afirma que a exclusão de qualquer um destes poder comprometer os resultados esperados. Tais elementos são:

1) Planejando o FMEA: é necessário escolher adequadamente o melhor projeto/processo para a elaboração do FMEA, visando o melhor retorno de qualidade e confiabilidade;

2) Modos, falhas e efeitos: envolve o preenchimento do questionário onde as três perguntas essenciais precisam ser respondidas, sendo elas: *i)* Como pode falhar? *ii)* Por que falha? e *iii)* O que acontece quando falha?;

3) Ocorrência, severidade e detecção: os índices relacionados a frequência, gravidade e detectabilidade são cruciais para identificar os modos de falha que merecem mais atenção;

4) Interpretação: obtidos os índices, é possível calcular o grau de prioridade de risco e selecionar as falhas que serão tratadas primeiramente;

5) Acompanhamento: a equipe deve estar comprometida com o acompanhamento das medidas corretivas propostas pela ferramenta.

Cembranel (2016) fornece um nível de detalhamento mais elevado ao desdobrar as atividades relacionadas à FMEA em 12 passos, conforme segue:

1) Definir a equipe responsável pela execução;

2) Definir os itens do sistema que serão considerados;

- 3) Realizar a preparação prévia e a coleta de dados;
- 4) Realizar a análise preliminar dos itens considerados;
- 5) Identificar os modos de falha e seus efeitos;
- 6) Identificar as causas das falhas;
- 7) Identificar os controles atuais de detecção das falhas;
- 8) Determinar os índices de criticidade (frequência, gravidade e detectabilidade);
- 9) Analisar as recomendações;
- 10) Revisar os procedimentos;
- 11) Preencher os formulários de FMEA;
- 12) Refletir sobre o processo.

Por fim vale destacar a importância do FMEA como documentação histórica para futuras análises comparativas entre o desempenho predito e o observado (GARCIA, 2006).

3 DESENVOLVIMENTO

Este trabalho envolveu um estudo de caso, com abordagem qualitativa, em uma indústria de pequeno porte, do segmento de processamento e industrialização de derivados de milho, situada no norte do Paraná. A realização do estudo adveio da necessidade, relatada pela direção da empresa, de melhorar seus produtos e processos produtivos. A oportunidade do estudo se evidenciou pelo fato da empresa não apresentar grande histórico de aplicação de técnicas e de ferramentas da engenharia da qualidade. Pesquisadores e representantes da empresa estabeleceram o prazo de um quadrimestre para a realização do estudo.

Os contatos com a direção da empresa e com os gerentes de qualidade e de produção permitiram evidenciar duas necessidades principais: elevar o nível de qualidade verificado e identificar quais, dentre os muitos problemas, deveriam ser primeiramente atacados. Por essa razão buscou-se uma ferramenta que permitisse atender ambas as necessidades. A partir de estudos na literatura conclui-se que a ferramenta mais adequada seria o FMEA.

Com a escolha da ferramenta, a realização do diagnóstico dos problemas da empresa relacionados à qualidade pôde ser feita. Para o preenchimento dos formulários o estudo contou com o envolvimento de três colaboradores da empresa, sendo eles: 1 gerente da qualidade, 1 gerente de produção e 1 administrador. Esses colaboradores foram escolhidos por terem, juntos, conhecimento de todo o processo produtivo. Além disso, por trabalharem em diferentes áreas, as informações coletadas junto a eles poderiam ser mais ricas e abrangentes. Desse modo foi possível obter informações para conhecer, compreender, descrever e explicar a situação inicial da empresa em relação às falhas que afetam a sua produção.

O estudo avaliou que a elaboração do FMEA envolvendo todas as atividades relacionadas à fabricação seria demasiadamente extensa e geraria uma quantidade muito elevada de informações, o que dificultaria a análise no prazo estabelecido. Desse modo foi solicitado que os colaboradores indicassem as 3 etapas do processo produtivo consideradas mais críticas na empresa, sendo elas: *recebimento*, *empacotamento* e *peneiramento*. O estudo então focou tais atividades.

Para o levantamento de informações e para a coleta de dados foram realizadas visitas à fábrica e reuniões semanais com os colaboradores. Foram feitas

tanto reuniões com todos os representantes da empresa quanto reuniões individuais. Inicialmente o conceito do FMEA foi explicado aos participantes, bem como os significados de modo, efeito e causa de falha, além dos índices de frequência, gravidade e detectabilidade. Então foi elaborada uma adaptação da classificação das falhas, com seus pesos, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Pesos e classificação do para frequência, gravidade e detectabilidade

| Componente do NPR | Classificação | Peso |
|------------------------------|----------------------|-------------|
| FREQUÊNCIA (F) | Improvável | 1 |
| | Muito pequena | 2 a 3 |
| | Pequena | 4 a 6 |
| | Média | 7 a 8 |
| | Alta | 9 a 10 |
| GRAVIDADE (G) | Apenas perceptível | 1 |
| | Pouca importância | 2 a 3 |
| | Moderadamente grave | 4 a 6 |
| | Grave | 7 a 8 |
| | Extremamente grave | 9 a 10 |
| DETECTABILIDADE (D) | Alta | 1 |
| | Moderadamente alta | 2 a 3 |
| | Pequena | 4 a 6 |
| | Muito pequena | 7 a 8 |
| | Improvável | 9 a 10 |
| ÍNDICE DE RISCO (NPR) | Baixo | 1 a 50 |
| | Médio | 51 a 100 |
| | Alto | 101 a 200 |
| | Muito alto | 201 a 1000 |

Fonte: Autoria própria (2018).

Em seguida foram identificadas, para cada uma das atividades indicadas, suas funções modos de falha. Para cada modo de falha foram levantados seus efeitos, bem como suas causas. Para cada causa listada foram atribuídos os valores dos índices de frequência, gravidade e detectabilidade. Após o preenchimento do formulário foi possível calcular o NPR e identificar as falhas que apresentam mais elevados índice de risco. A partir dos índices de risco calculados foi possível, juntamente com os colaboradores da empresa, propor ações recomendadas para

minimizar ou solucionar os modos de falha. Os resultados dos levantamentos estão presentes na próxima seção.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados na sequência. Para melhor visualização, os levantamentos de cada etapa estudada do processo produtivo são apresentados em um quadro diferente. Para cada etapa o quadro traz: sua função, seus modos de falha, os efeitos dessas falhas, as causas dessas falhas, os índices de cada causa e as ações recomendadas para eliminar ou reduzir tais causas. No Quadro 5 estão as informações relacionadas à etapa recebimento.

Quadro 5 – Formulário FMEA do recebimento

| Formulário FMEA - Recebimento | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|------------------------------------|---|--|---------|---|---|-----|---|
| Etapa | Função | Possíveis falhas | | | Índices | | | NPR | Ações recomendadas |
| | | Modo | Efeitos | Causas | F | G | D | | |
| Recebimento | Receber, analisar e classificar a matéria-prima | Matéria-prima fora do especificado | Falta de produto; Insatisfação do cliente; Produto de baixa qualidade; Contaminação do produto. | Falha no fornecedor | 4 | 7 | 7 | 196 | Fazer parceria com fornecedores e aplicação de <i>checklist</i> |
| | | | | Falha no pedido de compra | 2 | 8 | 2 | 32 | Conferir pedidos de compra |
| | | | | Instrumento de aferição sem manutenção | 4 | 9 | 2 | 72 | Elaborar plano de manutenção |
| | | | | Falha no transporte | 5 | 9 | 2 | 90 | Aplicar <i>checklist</i> |
| | | | | Recebimento fora do expediente | 6 | 9 | 2 | 108 | Receber apenas no horário do expediente |
| | | | | Falha no conferente | 4 | 9 | 3 | 108 | Treinar o responsável |
| | | | | Local inadequado | 2 | 9 | 5 | 90 | Adequar o local do recebimento |
| | | Falta de matéria-prima | Atraso no processo produtivo; Falta de produto; Insatisfação do cliente; Atraso no embarque. | Falha do fornecedor | 4 | 9 | 3 | 108 | Fazer parceria com fornecedores |
| | | | | Problema no transporte | 3 | 9 | 3 | 81 | Aplicar <i>hecklist</i> |
| | | | | Falha nos maquinários do fornecedor | 7 | 9 | 3 | 189 | Fazer parceria com fornecedores |
| | | | | Falha no embarque | 6 | 9 | 2 | 108 | Fazer embarque em condições adequadas |
| | | | | Paradas em rodovias | 2 | 7 | 2 | 28 | Manter documentos do caminhão e da carga regularizados |
| | | | | Falha do solicitante | 2 | 9 | 1 | 18 | Conferir pedidos de solicitação |

Fonte: Autoria própria (2018).

O Quadro 5 mostra que a etapa de recebimento envolve receber, analisar e classificar a matéria-prima. Para essa etapa foram identificadas duas falhas, sendo elas a falta de matéria-prima e sua não obediência à especificação. Cada falha tem efeitos negativos como a insatisfação do cliente e o comprometimento do processo produtivo, entre outros. Verifica-se, também, que cada falha apresenta várias causas que podem estar associadas aos fornecedores, ao transporte e a falhas internas da fábrica, entre outras. Nota-se pelos indicadores que dentre as 13 causas as duas mais críticas no recebimento são: falha no fornecedor ao entregar matéria-prima fora da especificação (NPR=196) e falha nos maquinários do fornecedor que implica na falta de matéria-prima (NPR=189). As ações elencadas evidenciam a importância de parcerias mais estreitas com fornecedores a fim de garantir a qualidade da matéria-prima e a confiabilidade dos prazos e das especificações dos pedidos. Em seguida vem uma série de causas de mesma criticidade (NPR=108). O *checklist* para os caminhões responsáveis por transportar a matéria-prima seria interessante, tanto para evitar quebras e paradas em rodovias (verificar as condições de pneus, lonas, carroceria, entre outros) como para garantir que a matéria-prima seja transportada em condições adequadas e evitar a contaminação da mesma (com limpeza, sem umidade, entre outros). O levantamento relacionado ao peneiramento está presente no Quadro 6.

Quadro 6 – Formulário FMEA do peneiramento

| Formulário FMEA - peneiramento | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------------|---|--|---------|---|---|-----|---|
| Etapa | Função | Possíveis falhas | | | Índices | | | NPR | Ações recomendadas |
| | | Modo | Efeitos | Causas | F | G | D | | |
| Peneiras | Separar, impedir a passagem de objetos estranhos | Vazamento nas peneiras | Perda de produção; Produto de baixa qualidade; Falta de produto; Paradas não-planejadas; Produto fora das especificações. | Falha no maquinário | 4 | 9 | 6 | 216 | Elaborar plano de manutenção |
| | | | | Baixa qualidade das peneiras | 2 | 9 | 2 | 36 | Adquirir peneiras de boa qualidade |
| | | | | Problema na matéria-prima | 5 | 9 | 3 | 135 | Fazer parcerias com fornecedores e avaliar corretamente a matéria-prima |
| | | | | Ímas insuficientes | 4 | 9 | 2 | 72 | Colocar novos ímãs em locais estratégicos e verificar sua vida útil |
| | | | | Peneiras em mau estado | 3 | 9 | 2 | 54 | Elaborar plano de manutenção ou fazer troca periódica |
| | | | | Presença de sujeira ou objetos estranhos | 5 | 9 | 3 | 135 | Avaliar corretamente a matéria-prima |
| | | | | Manutenção de baixa qualidade | 7 | 9 | 4 | 252 | Treinar o responsável |
| | | | | Falta de manutenção | 8 | 9 | 5 | 360 | Elaborar plano de manutenção |

Fonte: Autoria própria (2018).

É possível observar que para o peneiramento foi encontrado somente 1 modo de falha mas 9 causas. As situações mais críticas estão relacionadas à falta de manutenção (NPR=360), à manutenção inadequada (NPR=252) e a falha do maquinário (NPR=216). Essas causas, contudo, estão diretamente ligadas à falta de um plano de manutenção e à realização da mesma por um profissional qualificado. Assim podem ser atacadas com o treinamento do responsável pela manutenção e com a elaboração de um plano de manutenção. O Quadro 7 traz os resultados da etapa de empacotamento.

Quadro 7 – Formulário FMEA do empacotamento

| Formulário FMEA - empacotamento | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|--------------------------|---|-------------------------------|---------|---|---|-----|--|
| Etapa | Função | Possíveis falhas | | | Índices | | | NPR | Ações recomendadas |
| | | Modo | Efeitos | Causas | F | G | D | | |
| Empacotamento | Empacotar, conferir o peso dos pacotes e datá-los | Datação incorreta | Pacotes em não-conformidade; Insatisfação do cliente; Devoluções de produtos. | Falha na montagem do datador | 4 | 9 | 4 | 144 | Treinar o responsável |
| | | | | Problema na embalagem | 5 | 9 | 3 | 135 | Avaliar o fornecedor ou solicitar amostra para avaliação |
| | | | | Falha no <i>checklist</i> | 4 | 9 | 6 | 216 | Treinar o responsável |
| | | | | Problema no datador | 4 | 9 | 2 | 72 | Elaborar plano de manutenção |
| | | | | Qualidade da fita datadora | 3 | 9 | 2 | 54 | Avaliar o fornecedor ou solicitar amostra para avaliação |
| | | | | Desgastes nas peças datadoras | 6 | 9 | 2 | 108 | Elaborar plano de manutenção |
| | | | | Falha humana | 5 | 9 | 2 | 90 | Treinar envolvidos |
| | | | | Fotocélula de baixa qualidade | 2 | 9 | 1 | 18 | Avaliar o fornecedor ou solicitar amostra para avaliação |
| | | Peso fora dos limites | Pacotes fora das especificações; Insatisfação do cliente; Devoluções de produtos; Multas do órgão fiscalizador. | Desregulagem da balança | 2 | 8 | 2 | 32 | Padronizar entre turnos e fazer calibração periódica |
| | | | | Falha no <i>checklist</i> | 7 | 9 | 3 | 189 | Fazer inspeção/conferência |
| | | | | Desregulagem da empacotadora | 9 | 9 | 2 | 162 | Padronizar entre turnos e fazer plano de manutenção |
| | | | | Manutenção do sensor | 5 | 9 | 2 | 90 | Elaborar plano de manutenção |
| | | Abertura do pacote/fardo | Insatisfação do cliente; Devoluções de produtos; Perda de produto; Embalagem de baixa qualidade. | Problema na solda | 4 | 8 | 2 | 64 | Elaborar plano de manutenção |
| | | | | Desregulagem da empacotadora | 5 | 8 | 3 | 120 | Padronizar entre turnos e fazer plano de manutenção |
| | | | | Falha humana | 3 | 8 | 4 | 96 | Treinar envolvidos |
| | | | | Falta de manutenção | 5 | 8 | 2 | 80 | Elaborar plano de manutenção |

Fonte: Autoria própria (2018).

No empacotamento foram identificados 3 modos de falha relacionados a abertura indevida de embalagem, peso fora do especificado e datação incorreta. O Quadro 7 apresenta 16 causas para tais falhas. Pelos valores NPR fica claro que a causa *falhas no checklist* é crítica e aparece em dois dos modos de falha (NPR=216 e NPR=186). No primeiro caso a ação envolve o treinamento do colaborador que estará nesta função para que, a cada mudança de lote e/ou produto, as alterações necessárias no datador sejam feitas.

Na etapa de empacotamento está clara a necessidade de um plano de manutenção para a empacotadora, pois nela estão: os mecanismos para soldar e fechar os pacotes e os fardos, o sensor responsável por conferir se o peso do produto está dentro dos limites especificados e o datador.

No total foram levantadas 37 possíveis causas com valores de NPR que variam entre 18 e 360. Os valores considerados críticos e que estão acima de 200 foram apenas 4, todos já destacados. Foram identificadas 14 falhas com índice alto (de 101 a 200) e 13 com índice médio (de 51 a 100).

As ações elaboradas foram disponibilizadas para a direção da empresa que, com o estudo realizado, tem melhores condições de saber quais causas de falha deve priorizar.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho aplicou a ferramenta da engenharia da qualidade FMEA em uma indústria de pequeno porte de derivados de milho. A ferramenta se mostrou eficiente para o cumprimento dos objetivos do trabalho, levantando e classificando dezenas de potenciais falhas. Isso se mostrou interessante para a empresa, uma vez que será possível priorizar e atacar as causas com os maiores índices NPR através das ações recomendadas. Com isso a empresa poderá melhorar seu processo produtivo, reduzir seus custos com a não-qualidade e, o mais importante, garantir a satisfação dos seus clientes. Como trabalhos futuros pode-se mencionar a utilização de outras ferramentas e metodologias da engenharia da qualidade para potencializar os resultados do FMEA. Também pode-se aplicar novamente o formulário FMEA após a implantação das ações recomendadas para mensurar as melhorias alcançadas no processo. Além disso o uso da ferramenta também pode ser estendido às demais etapas do processo produtivo da empresa.

REFERÊNCIAS

- ANDRIANA, J.; NOYA, S. A. T. **Application of FTA and FMEA Method to Improve Sugar Production Process Quality**. Journal Spektrum Industri, Vol. 14, n.2, p. 129-146, 2016.
- CARPINETTI, L. **Gestão da qualidade: Conceitos e Técnicas**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2012. 258p.
- CEMBRANEL, P.; LOPES, L. F. D.; FABRICIO, A.; FABRICIO, A, M.; SMANEOTO, C. **Aplicação das Metodologias FMEA e GUT na Prestação do Serviço Automotivo de Geometria a Laser**. Revista de Administração da UFSM. Vol. 9, n.1, p. 46-55, 2016.
- CORREDOR, P.; GOÑI, S. **TQM and performance: Is the relationship so obvious?** Journal of Business Research, Vol. 64, n.64, p. 830–838, 2011.
- GARCIA, P. A. A. **Uma Abordagem fuzzy com Envelopamento de Dados da Análise dos Modos e Efeitos de Falha**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2006.
- KANGAVARI, M.; SALIMI, S.; NOURIAN, R.; ASKARIAN, A. **An application of failure mode and effect analysis (FMEA) to assess risks in petrochemical industry in Iran**. Iranian Journal of Health, Safety and Environment, Vol. 2, n.2, p. 257-263, 2015.
- KUMRU M.; KUMRU P.Y. **Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital**. Applied Soft Computing, Vol. 13, n.1, p. 721–733, 2013.
- LI, D.; ZHAO, Y.; ZHANG, L.; CHEN, X.; CAO, C. **Impact Of Quality Management On Green Innovation**. Journal of Cleaner Production, Vol. 170, n.1, p. 462-470, 2017.
- PACIAROTTI, C., MAZZUTO, G.; D'ETTORRE, D. **A revised FMEA application to the quality control management**. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 31, n. 7, p. 788-810, 2014.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2012. 320p.

PALADY, P. **FMEA: análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 1. ed. São Paulo: IMAM, 1997. 270p.

POSSARLE, R. **Ferramentas de qualidade**. 1. ed. São Paulo: Senai-SP Editora, 2015. 248p.

SILVA, P. A. P.; PAULISTA, P. H.; TURRIONI, J. B. **Avaliação do impacto da certificação ISO 9001:2000 no desempenho organizacional**. In: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 28., 2012. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ENEGEP, 2012.

SIVA, V.; GREMYR, I.; BERGQUIST, B.; GARVARE, R.; ZOBEL, T.; ISAKSSON, R. **The Support Of Quality Management To Sustainable Development: A Literature Review**. Journal of Cleaner Production, Vol. 138, n.2, p. 148-157, 2016.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. 2. ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2003. 455p.

SZMEL, D.; WAWRZYNIAK, D. **Application of FMEA method in railway signalling projects**. Journal of KONBiN, Vol. 42, n.1, p. 93-110, 2017.

TSAI, S. B.; ZHOU, J.; GAO, Y.; WANG, J.; LI, G.; ZHENG, Y.; REN, P.; XU, W. **Combining FMEA with Dematel models to solve production process problems**. Plos One Vol. 12, n.8, e0183634, 2017.

XIAO, N. C.; HUANG, H. Z.; LI, Y. F.; HE, L. P.; JIN, T. D. **Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA**. Engineering Failure Analysis, Vol.18, n.4, p. 1162–1170, 2011.