

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS,
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

SUZANA CINTRA ALVES

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UMA
PESQUISA-AÇÃO COM A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
FMEA

ITUIUTABA
2023

SUZANA CINTRA ALVES

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UMA PESQUISA-
AÇÃO COM A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção, da Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Dr. Eugênio Pacceli Costa

ITUIUTABA
2023

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UMA PESQUISA- AÇÃO COM A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção, da Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social da Universidade Federal de Uberlândia, aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, pela banca examinadora formada por:

Ituiutaba, 18 de janeiro de 2023.
Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eugênio Pacceli Costa
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Lucio Abimael Medrano Castillo
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Luís Fernando Magnanini de Almeida
Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este trabalho a todos que contribuíram, de forma direta e indireta, em minha
formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Universidade Federal de Uberlândia, Campus Pontal, por proporcionar minha formação acadêmica de forma gratuita e com qualidade. Agradeço também a todos os professores que participaram da minha formação acadêmica, auxiliando no meu desenvolvimento intelectual.

Agradeço de forma grandiosa o orientador deste trabalho, o Prof. Dr. Eugênio Pacceli Costa, que colaborou com o desenvolvimento deste trabalho, tornando possível sua conclusão de maneira eficaz, muito obrigada.

Em especial, agradeço minha mãe, Ana Régia Cintra, ao meu pai, Ademilton Alves e a minha irmã, Daiane Cintra, por toda dedicação para me educar da melhor forma.

Agradeço aos meus amigos que conheci na graduação e levo para toda a vida, Raffaella, Aurélio, Marcelo, Walaph, Evelyn, Amanda, Murilo e Bruno, sem vocês eu não teria tantas lembranças divertidas da faculdade.

Agradeço com muito carinho a Mariana, por toda paciência e apoio, com certeza sem você o caminho teria sido mais árduo.

“O maior inimigo do conhecimento não é a ignorância, é a ilusão do conhecimento”.

Stephen Hawking

RESUMO

A realização de um gerenciamento da manutenção de forma eficaz é de suma importância para a qualidade da operação nas indústrias, onde paradas não programadas dos equipamentos interferem de forma direta no faturamento industrial. A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) busca evitar a ocorrência de falhas, eliminando os fatores que provocam o acontecimento destas falhas nos equipamentos envolvidos. A Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) é uma metodologia baseada em métodos de análise para tratar falhas identificadas em um período estipulado. Assim, este trabalho teve o objetivo de reduzir as paradas não programadas e aumentar a disponibilidade dos equipamentos envolvidos no processo produtivo de um armazém de grãos situado no interior do estado de Goiás. Este objetivo foi alcançado por meio, primeiramente, da aplicação do Gráfico de Pareto para elencar as principais falhas da base de dados e, posteriormente, com o desenvolvimento da metodologia FMEA para as falhas elencadas. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado a abordagem pesquisa-ação, com a execução de seis passos embasados na literatura existente. Durante o processo de aplicação das propostas de melhoria foram realizados *feedbacks* para o aprimoramento destas melhorias aplicadas, com destaque para o *feedback* da alteração física realizada no sensor de embuchamento utilizado na unidade, onde o modelo final aprovado em campo baseou-se na instalação de uma película de acrílico para impedir o acúmulo de pó nos arredores do sensor e seu acionamento indevido. Após a finalização da aplicação proposta, o Gráfico de Pareto foi aplicado novamente para as paradas não programadas do setor produtivo e foi realizado um comparativo do cenário antes e após o desenvolvimento da FMEA. Após a finalização da aplicação da FMEA foi possível reduzir a quantidade total de horas das paradas não programadas do setor produtivo de 114:02 para 20:14 horas e as paradas não programadas devido “Desarme de sensor” foi de 25:12h para 1:10h. Por fim, as considerações finais desta pesquisa são apresentadas e trabalhos futuros para a continuidade da pesquisa são sugeridos, onde entre estes trabalhos futuros estão: Análises mais complexas durante o planejamento de projetos de inovação; Aperfeiçoamento dos planos de manutenção da unidade objeto deste estudo e Continuidade na aplicação do Gráfico de Pareto e da FMEA.

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

ABSTRACT

An effective way of maintenance management is of great importance for the quality of the operation in industries, where non programmed stops of equipment interfere directly on the industrial income. The Reliability Centered Maintenance (RCM) pursues to avoid failures, eliminating the factors that causes those failures on the equipment involved. The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is a methodology based in analysis methods to treat failures identified in a stipulated time. The presenting paper aims to reduce non programmed stops and raise the availability of the equipments involved in the productive process of a grain Warehouse located in the countryside of the state of Goiás. This objective was accomplished through, at first, the appliance of the Pareto's Graphic to list the main failures in the database and subsequently, with the development of the FMEA's methodology for the listed failures. During the process of applying the improvement proposals, feedback was provided to improve the improvements applied, with emphasis on the feedback on the physical change made to the bushing sensor used in the unit, where the final model approved in the field was based on the installation of a acrylic film to prevent the accumulation of dust around the sensor and its improper activation. After finalizing the application proposal, the Pareto Chart was applied again for the unscheduled stops of the productive sector and a comparison of the scenario before and after the development of the FMEA was carried out. After completing the FMEA application, it was possible to reduce the total number of hours of unscheduled downtime in the production sector from 114:02 to 20:14 hours and unscheduled downtime due to "Sensor Disarming" was from 25:12h to 1: 10 am. Finally, the final considerations of this research are developed and future works for the continuity of the research are suggested, where among these future works are: More complex analyzes during the planning of innovation projects; Improvement of the maintenance plans of the unit object of this study and Continuity in the application of the Pareto Chart and the FMEA.

Keywords: Maintenance. Reliability. Availability. FMEA.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição da Avaliação de Ocorrência	24
Quadro 2 - Descrição da Avaliação de Ocorrência	24
Quadro 3 - Descrição da Avaliação de Severidade	25
Quadro 4 - Quantidade de horas de paradas não programadas dos equipamentos produtivos..	35
Quadro 5 - Quantidade de horas de paradas não programadas por modo geral de falha	36
Quadro 6 - Aplicação FMEA.....	39
Quadro 7 - Plano de Ação FMEA	40
Quadro 8 - Quantidade de horas de paradas não programadas dos equipamentos produtivos após FMEA	46
Quadro 9 - Quantidade de horas de paradas não programadas por modo geral de falha após FMEA	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oito pilares da TPM.....	20
Figura 2 - Aspecto geral do Gráfico de Pareto	22
Figura 3 - Etapas de desenvolvimento de uma pesquisa-ação.....	30
Figura 4 - Etapas de desenvolvimento deste trabalho	32
Figura 5 - Fluxograma da operação da unidade	33
Figura 6 - Quantidade de Horas de Paradas não Programadas x Modo Geral de Falha.....	37
Figura 7 - Sensor de embuchamento retirado da operação.....	42
Figura 8 - Suporte de sensor de embuchamento proposto.....	43
Figura 9 - Suporte de sensor de embuchamento utilizado na empresa.....	44
Figura 10 - Suporte de sensor de embuchamento proposto.....	45
Figura 11 - Quantidade de Horas de Paradas não Programadas x Modo Geral de Falha após FMEA.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CT 08	Correia Transportadora 08
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
NBR	Normas Brasileiras
NPR	Número de Prioridade de Risco
RCM	<i>Reliability-centered Maintenance</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
SAP	<i>Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPM	Manutenção Produtiva Total

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Objetivos de pesquisa	14
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	14
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	14
1.3 Justificativa.....	15
1.4 Delimitação do trabalho.....	15
1.5 Estrutura do trabalho	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Engenharia de produção aplicada na manutenção	16
2.2 Manutenção	18
2.2.1 <i>Tipos de manutenção</i>	18
2.2.2 <i>Gestão da manutenção</i>	20
2.3 Gestão da manutenção centrada na confiabilidade (MCC)	21
2.4 Gráfico de Pareto	22
2.5 Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA).....	23
2.5.1 <i>Tipos de FMEA</i>	26
2.5.2 <i>Benefícios do uso da FMEA</i>	27
3. METODOLOGIA.....	28
3.1 Caracterização da pesquisa.....	28
3.2 Técnicas de coleta de dados.....	29
3.3 Técnicas de análise de dados	30
3.4 Procedimentos metodológicos – Etapas	30
4. RESULTADOS	31
4.1 Caracterização da empresa	32
4.2 Identificação e reconhecimento da problemática – Etapa 1	33
4.3 Planejamento da proposta de melhoria - Etapa 2	39
4.4 Implementação da proposta planejada – Etapa 3.....	40
4.5 Análise dos efeitos da proposta implementada – Etapa 4	43
4.6 Aperfeiçoamento da proposta implementada – Etapa 5	44
4.4 Implementação da proposta readequada planejada – Etapa 3	45
4.5 Análise dos efeitos da proposta readequada implementada – Etapa 4	45
4.6 Encerramento, após resultados positivos – Etapa 6.....	48
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
5.1 Conclusões do trabalho.....	50
5.2 Limitações do estudo	52

5.3 Trabalhos futuros.....	52
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A agroindústria é um dos segmentos mais amplos no Brasil e sua importância dentro do estado de Goiás é perceptível em estudos e no cotidiano. Para Guerreiro, Matta e Macedo (2004) a agroindústria trata-se do processamento de produtos agrícolas próprios e/ou adquiridos por terceiros, agregando, no mesmo empreendimento econômico, o ramo da atividade agrária e industrial. Segundo o último relatório do CEPEA (2022), espera-se que a participação do setor do agronegócio no PIB brasileiro totalize cerca de 25,5% em 2022.

A organização objeto de estudo deste trabalho atua no Brasil desde 1942 e desenvolve atividades de cultivo, armazenagem, transporte, tratamento e beneficiamento de produtos agrícolas. A unidade da empresa foco do estudo está situada em uma cidade no interior de Goiás e trata-se de uma agroindústria com atividades no ramo da armazenagem de grãos, operando com soja no primeiro semestre do ano e com milho no segundo semestre.

As atividades da empresa baseiam-se em receber os grãos por transporte rodoviário, secar os grãos, armazená-los e expedi-los por meio de barcos próprios na hidrovia Tiête-Paraná para uma cidade interiorana localizada na região central do estado de São Paulo. A empresa é dividida entre os setores administrativo e produtivo, em que o setor da produção concentra suas atividades no processamento operacional para a realização do recebimento, secagem e transporte dos grãos. O foco deste estudo é o setor da produção, utilizando dados operacionais para o desenvolvimento da pesquisa.

Kardec e Nascif (2009) dizem em sua obra, de forma simples, que as atividades englobadas na produção são: engenharia, produção e manutenção. Os autores dizem também que a contribuição da manutenção na otimização do faturamento empresarial pode ser atingida com o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, por meio da redução dos períodos de paradas e maximização do tempo entre falhas no sistema.

Neste contexto, pode-se ver a importância da gestão da manutenção dos ativos envolvidos no processo para que esta busca pela melhoria produtiva seja eficaz, uma vez que a indisponibilidade dos equipamentos interfere de forma direta na qualidade da produção.

Segundo Xenos (2014), é por meio do gerenciamento da manutenção que ocorre a atuação da gestão da qualidade total dos meios de produção, que são os equipamentos. Em função disto, é essencial o uso de ferramentas e técnicas da qualidade na manutenção e isto

pode proporcionar redução no tempo de manutenção e redução de ocorrências de falhas, entre outras melhorias.

Xenos (2014) diz também que a escolha pelo método de manutenção deve levar em conta os efeitos na segurança, produtividade e qualidade, onde a aplicação de ferramentas e métodos específicos, como a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e RCM (*Reliability-centered Maintenance*), no português, Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) e Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), possibilitam a análise destes efeitos nos sistemas produtivos.

1.2 Objetivos de pesquisa

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é reduzir as paradas não programadas e aumentar a disponibilidade dos equipamentos envolvidos no processo produtivo de um armazém de grãos situado no interior do estado de Goiás, por meio da aplicação da metodologia FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha).

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar as causas das paradas não programadas ocorridas no processo produtivo;
- Ordenar estas causas de forma decrescente com uso do Gráfico de Pareto;
- Elencar as principais causas das paradas não programadas do setor produtivo por meio dos resultados do Gráfico de Pareto;
- Aplicar a metodologia FMEA para as principais causas das paradas não programadas do setor produtivo;
- Elaborar um plano de ação para tratar as principais causas das paradas não programadas ocorridas no processo produtivo;
- Executar as ações do plano de ação elaborado;
- Reduzir as paradas não programadas dos equipamentos produtivos;
- Aplicar o Gráfico de Pareto para ordenar as causas das paradas não programadas do setor produtivo após a aplicação da FMEA;

- Comparar o tempo de paradas não programadas dos equipamentos produtivos antes e após a aplicação da FMEA.

1.3 Justificativa

A empresa objeto desta pesquisa trata-se de um armazém com bons níveis de secagem de grãos e é a única unidade da companhia que realiza a expedição de grãos para a unidade localizada no interior de São Paulo. Por isto, é uma unidade estratégica para a companhia que está inserida e sua disponibilidade deve ser mantida próxima de 100%.

De dezembro de 2019 a abril de 2020 foi implementado o projeto *Retrofit* Secagem na unidade situada no interior de Goiás, que englobou a substituição dos equipamentos ultrapassados do setor da secagem de grãos e a instalação de dispositivos de segurança de processo no setor e em outros pontos da unidade. Após a finalização do projeto, a ocorrência de paradas não programadas aumentou, isto, em maioria, devido a indisponibilidade dos equipamentos e dispositivos inseridos no projeto citado. Este aumento na indisponibilidade dos equipamentos se deu devido a falta de aprofundamento de análises antes da implementação do projeto citado, com isto houve uma sequência de falhas não apontadas no planejamento do projeto.

Com o aumento da indisponibilidade dos equipamentos, os indicadores da manutenção sofreram impactos negativos e a disponibilidade dos equipamentos envolvidos na produção diminuiu. Desta forma, este trabalho se viu necessário, com o objetivo de reduzir as paradas não programadas e aumentar a disponibilidade dos equipamentos produtivos da unidade estudada, principalmente dos equipamentos e dispositivos inseridos com o projeto *Retrofit* Secagem.

1.4 Delimitação do trabalho

Conforme citado anteriormente, a empresa objeto deste estudo, de forma ampla, é dividida entre dois setores, o setor produtivo e o setor administrativo, em que o setor administrativo cuida dos processos fiscais da empresa e o setor produtivo concentra suas atividades no processamento e manuseio dos grãos do processo. O enfoque deste estudo é o setor produtivo, utilizando como base de estudo dados e informações de paradas não programadas dos equipamentos envolvidos nas atividades operacionais.

A empresa objeto deste estudo está localizada no interior do estado de Goiás, contém cerca de 80 funcionários no total e não possui colaboradores da área de projetos em seu quadro, de modo que, para a realização do projeto *Retrofit Secagem*, realizado entre 2019/2020, foram designados colaboradores de outra unidade. O número reduzido de colaboradores da unidade e a falta do setor específico dificulta a constância na implementação de melhorias durante o desenvolvimento de projetos na unidade.

Os dados utilizados neste estudo foram a quantidade de ocorrências de paradas não programadas dos equipamentos do setor produtivo e o tempo de duração de cada ocorrência. Estes dados foram extraídos de relatórios diários operacionais e do Sistema de Gestão Empresarial (SAP), que já é utilizado na unidade da empresa há 7 anos. O período delimitado para a base de dados foi de maio/2020 a maio/2021.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por 5 capítulos: introdução, fundamentação teórica, metodologia de pesquisa, resultados e considerações finais.

Na introdução, primeiramente, é apresentado a contextualização do tema do trabalho, seguido pela exposição dos objetivos da pesquisa e por fim, a justificativa do desenvolvimento da pesquisa-ação.

O segundo capítulo, a fundamentação teórica, é uma síntese de estudos e pesquisas já realizados acerca do tema desenvolvido e que foram utilizados como base para este trabalho.

Após isto, é apresentada a metodologia de pesquisa, que traz os conceitos teóricos utilizados para classificar a pesquisa e o planejamento para alcançar o objetivo.

No quarto capítulo são apresentados os resultados da aplicação das ferramentas de melhoria citadas e o comparativo do cenário antes e após a aplicação da metodologia FMEA.

Por último, em considerações finais, é exposta uma síntese dos resultados alcançados, conclusões da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Engenharia de produção aplicada na manutenção

O conceito de engenharia de produção é amplo e sua aplicação é possível em diversos setores de uma empresa.

Para Fleury (2008, p. 1):

A Engenharia de Produção trata do projeto, aperfeiçoamento e implantação de sistemas integrados de pessoas, materiais, informações, equipamentos e energia, para a produção de bens e serviços, de maneira econômica, respeitando os preceitos éticos e culturais. Tem como base os conhecimentos específicos e as habilidades associadas às ciências físicas, matemáticas e sociais, assim como aos princípios e métodos de análise da engenharia de projeto para especificar, prever e avaliar os resultados obtidos por tais sistemas (FLEURY, 2008, p. 1).

Fleury (2008) ainda complementa que a otimização dos sistemas integrados citada pode se referir a diversos recursos necessários aos sistemas de produção e a organização destes recursos com o objetivo de continuar produzindo de forma econômica é uma das funções da engenharia de produção.

Cunha (2002) diz que o estudo da engenharia de produção evoluiu durante o século XX, consequência da carência de métodos e técnicas para gerenciar os meios de produção que estavam em avanço tecnológico e mercadológico, concentrando sua evolução na busca pela otimização da utilização dos recursos produtivos.

Analisando os conceitos teóricos e a realidade empresarial atual, pode-se observar que o estudo da engenharia de produção tem foco na otimização da gestão de recursos com o intuito de aperfeiçoar os processos produtivos. Os custos de manutenção e controle (energia, mão-de-obra, materiais de auxílio, etc.), bem como o capital que permanece inativo enquanto o estoque está parado, são, também, fatores inconvenientes na prática da estocagem (MARTINS, 2021, p. 222).

Xenos (2014) explica que as atividades envolvidas na manutenção desempenham um papel importante na sobrevivência das empresas que possuem equipamentos fundamentais para a produção e buscam, entre outras coisas, evitar baixas no desempenho produtivo e paradas da operação devido à indisponibilidade de equipamentos.

Ainda segundo Xenos (2014), as grandes paradas não programadas podem gerar elevadas perdas para a produção e/ou custos altos para reparar o equipamento e devem ser evitadas ao máximo.

Uma possível aplicação dos conceitos da engenharia de produção pode ser realizada no setor da manutenção industrial, otimizando a gestão dos recursos, custos e indicadores envolvidos na manutenção dos ativos.

Para Viana (2002) o Planejamento e Controle da Manutenção é essencial para as empresas, aumentando a vantagem na competição por meio da melhoria e organização para aproveitamento máximo dos equipamentos envolvidos na produção e aliado a zero defeitos.

2.2 Manutenção

A ABNT NBR 5462 (1994) define manutenção como o conjunto de todas as ações técnicas e administrativas, englobando também a supervisão, com o objetivo de conservar ou realocar um componente em um estado no qual seja capaz de exercer as funções requisitadas, sendo que o termo também pode englobar uma alteração no componente.

Segundo Almeida (2018), o conceito de manutenção pode ser definido como o aglomerado de procedimentos e atividades essenciais para o bom funcionamento e para o reparo de equipamentos e máquinas, principalmente, em um sistema produtivo.

Atualmente a missão da manutenção é garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 23).

Segundo Belhot e Campos (1995), durante muito tempo as vertentes da manutenção foram consideradas somente despesas para a organização, porém com o crescente progresso da tecnologia, houve o acréscimo da preservação da integridade dos equipamentos e a manutenção passou a ser reconhecida na colaboração no desempenho dos objetivos das empresas.

Já Viana (2002) diz que a manutenção industrial começa a ser considerada como função estratégica no processo produtivo no século XXI, devido a crescente presença de equipamentos sofisticados e de alto desempenho produtivo, fazendo com que a condição de disponibilidade crescesse cada vez mais e com que os custos causados por indisponibilidade dos equipamentos se tornassem altos.

2.2.1 Tipos de manutenção

Para Kardec e Nascif (2009) os principais tipos de manutenção são definidos por algumas práticas básicas e podem ser classificados da seguinte forma: manutenção corretiva, que pode ser planejada ou não planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção detectiva.

Manutenção corretiva: Xenos (2014) diz que esta manutenção sempre é utilizada depois que a falha já ocorreu. Essa manutenção acontece sob dois cenários específicos: queda do desempenho identificado pela análise de parâmetros operacionais e a ocorrência de uma falha em um item. Pode ser planejada ou não planejada.

Manutenção corretiva não planejada: Kardec e Nascif (2009) dizem que este tipo de manutenção é uma manutenção emergencial, aplicada quando uma falha ou a redução no desempenho já ocorreu de fato e não existe possibilidade de espera pelo planejamento da correção. Kardec e Nascif (2009) dizem também que este tipo de manutenção gera altos custos, pois a falha inesperada pode causar perdas operacionais e altos custos indiretos de manutenção.

Manutenção corretiva planejada: Kardec e Nascif (2009) dizem que é a manutenção aplicada para corrigir a redução no desempenho ou uma falha por decisão organizacional, ou seja, é uma manutenção planejada.

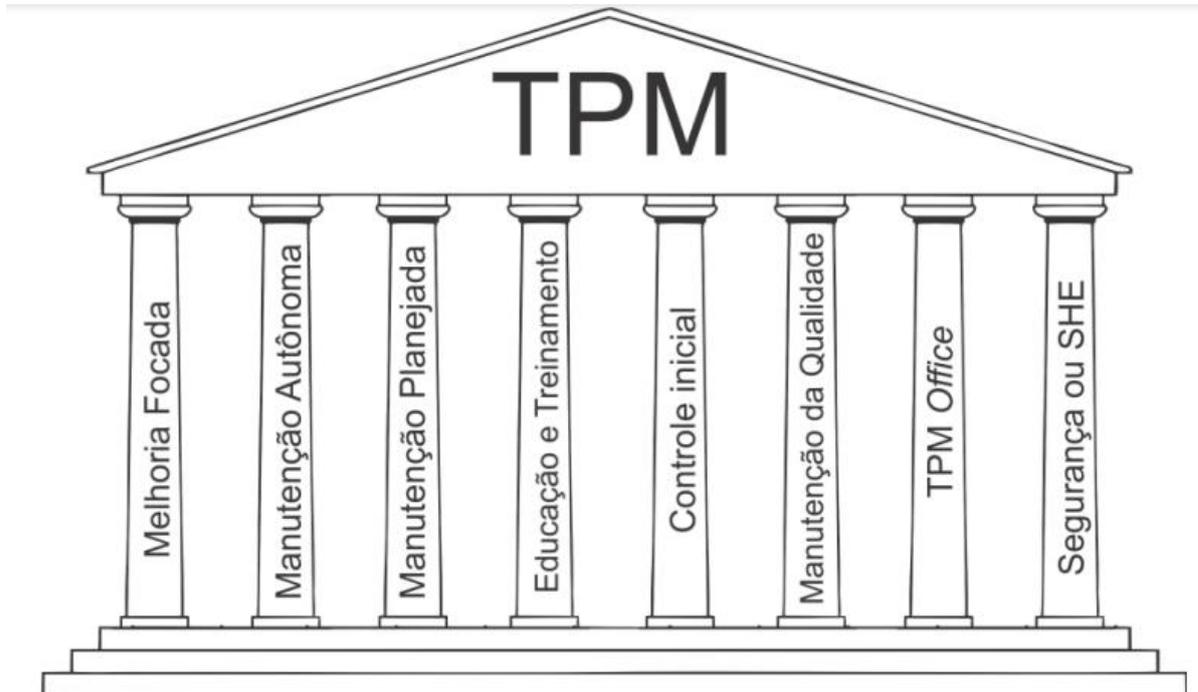
Manutenção preventiva: Viana (2002) diz que é a manutenção realizada quando se busca a redução ou a inibição da ocorrência de uma falha ou queda no desempenho. Viana (2002) diz também que esta manutenção obedece a um plano elaborado previamente e realizado em intervalos de tempo determinados. Xenos (2014) diz que esta manutenção é mais barata que a manutenção corretiva, pois com ela é possível ter o domínio das paradas dos equipamentos e evitar paradas inesperadas causadas por falhas nos equipamentos.

Manutenção preditiva: Viana (2002) diz em sua obra que a realização desta manutenção é baseada na alteração de indicadores de desempenho, em que o acompanhamento destes indicadores é realizado através de uma sistemática. Viana (2002) diz também que esta manutenção tem o intuito a prevenção de falhas nos equipamentos através da utilização de técnicas preditivas e o acompanhamento das condições destes equipamentos por meio dos parâmetros obtidos com estas técnicas aplicadas, onde quando ocorre a identificação de necessidade de uma ação corretiva, faz uso da manutenção corretiva planejada para a correção.

Manutenção detectiva: Kardec e Nascif (2009) resumem este conceito em sua obra como o conjunto de ações realizadas nos sistemas de proteção, comandos e controle, para identificar as falhas imperceptíveis para a operação e manutenção. A detecção de falhas não perceptíveis no meio é essencial para manter bons desempenhos de confiabilidade.

Além destes conceitos, Kardec e Nascif (2009) citam em sua obra uma derivação da Manutenção preventiva, a *Total Productive Maintenance (TPM)*, no português, Manutenção Produtiva Total. Segundo Viana (2002), na **Manutenção Produtiva Total (TPM)** os operadores também passam a ser responsáveis pelos cuidados com os equipamentos, realizando atividades de lubrificação, limpeza e outros serviços de manutenção nas máquinas. Kardec e Nascif (2009) dizem que esta manutenção tem o principal objetivo de quebra zero e é apoiada por oito pilares descritos na Figura 1 para aumentar a eficiência produtiva.

Figura 1 - Oito pilares da TPM



Fonte: Kardec e Nascif (2009)

Segundo Xenos (2014), é possível aplicar mais de um método de manutenção ao mesmo tempo em um mesmo equipamento e a manutenção mais adequada é a combinação de métodos de acordo com a necessidade da produção.

2.2.2 Gestão da manutenção

Xenos (2014) diz que, de forma isolada, as atividades da manutenção têm a função restrita de retornar um equipamento para suas condições originais, porém, de forma mais ampla, as atividades da manutenção devem realizar alterações nas condições originais nos equipamentos por meio de melhorias e com o objetivo de evitar falhas, diminuir custos e aumentar a produtividade.

Para Kardec e Nascif (2009) o tipo de manutenção a ser utilizado depende de uma decisão gerencial e deve levar em consideração os seguintes fatores: a relevância dos equipamentos para cada setor envolvido, os custos envolvidos na operação e manutenção, a oportunidade e a capacidade de alteração no equipamento de forma a favorecer a aplicação do tipo de manutenção escolhido.

Xenos (2014) diz que a combinação da melhoria realizada nos equipamentos e a manutenção corretiva deve ter o objetivo de identificar as causas necessárias para que as falhas ocorram e evitá-las.

Calil (2009) expõe que a escolha da diminuição do risco tem o objetivo de reduzir a possibilidade de existência das falhas e/ou seus efeitos, em que é possível reduzir o risco a um nível imperceptível e insignificante, sendo possível a permanência do risco com este nível.

Kardec e Nascif (2009) diz que para ter uma gestão estratégica na manutenção é essencial ter foco nos resultados empresariais e se tornar a manutenção eficaz, ou seja, ao invés de focar as atividades somente em reparos, é necessário, principalmente, garantir a disponibilidade dos equipamentos para a operação, buscando a redução da possibilidade de ocorrência de paradas da operação não programadas.

2.3 Gestão da manutenção centrada na confiabilidade (MCC)

Para a ABNT NBR 5462 (1994) confiabilidade é a habilidade de um componente exercer sua função requisitada sob circunstâncias determinadas. A norma diz também que o termo “confiabilidade” é utilizado como parâmetro de desempenho de confiabilidade.

A Confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar uma *função requerida* sob *condições definidas* de uso durante um intervalo de tempo estabelecido (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 106).

Calil (2009) afirma que a confiabilidade pode ser definida como a possibilidade de um equipamento não falhar até uma etapa futura dado o acontecimento da etapa atual, isto é, o risco de manter o processo em operação, que é uma consequência positiva.

Segundo Viana (2002), Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) trata-se do processo utilizado para definir as exigências da manutenção de um sistema operacional, no qual a técnica tem o objetivo de compreender as formas que um item pode falhar, identificando as ações necessárias para inibir o acontecimento destas falhas.

Almeida (2018) diz que a Manutenção Centrada na Confiabilidade é a sistematização da administração com o objetivo de evitar falhas através da eliminação de suas causas e é indicada quando a ocorrência de falhas gera grandes prejuízos ao sistema.

2.4 Gráfico de Pareto

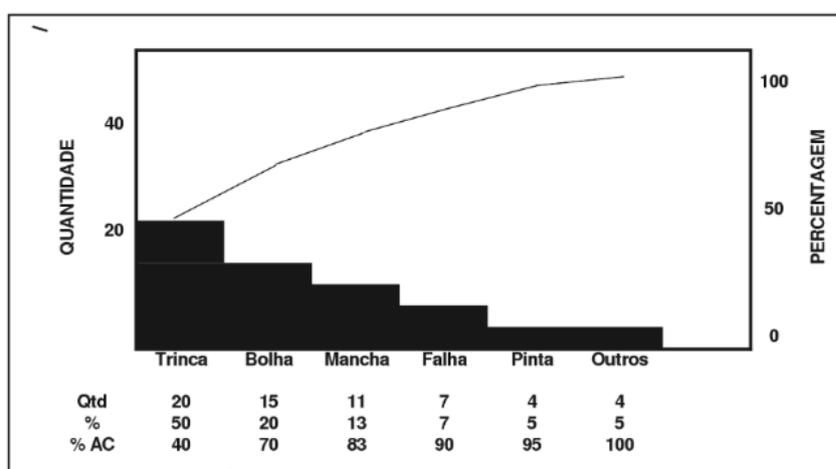
De acordo com César (2011), Gráfico de Pareto é um gráfico de barras verticais decrescentes, onde cada barra representa uma causa e mostra sua relevância em relação ao total analisado. Ainda segundo César (2011), o gráfico comprova o princípio de Pareto, que diz que 80% dos impactos ocorridos naquele meio eram causados por 20% dos problemas ocorridos, provado em um experimento social.

Segundo De Souza Coelho, Da Silva e Maniçoba (2016) os passos para a construção do Gráfico de Pareto são:

- Escolher as falhas a serem comparadas e priorizar uma ordem para sua análise;
- Indicar um padrão de comparação;
- Indicar um intervalo de tempo para a análise;
- Agrupar as informações necessárias em cada categoria;
- Comparar a ocorrência de cada categoria em relação ao total de ocorrência;
- Organizar as categorias da esquerda para a direita no eixo horizontal de um gráfico de barras, em ordem crescente.;
- Construir a altura de cada barra de acordo com o valor dessa ocorrência na classificação da categoria escolhida.

César (2011) expressa a forma genérica de um Gráfico de Pareto através da Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Aspecto geral do Gráfico de Pareto



Fonte: César (2011)

Segundo César (2011), a Figura 2 exemplifica um Gráfico de Pareto, em que cada barra representa uma causa de defeito ocorrido no meio analisado e o seu tamanho é equivalente a

quantidade de sua ocorrência no total analisado. As barras são dispostas de forma decrescente e é traçado uma linha com o percentual acumulado de cada barra em relação ao total.

2.5 Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA)

Viana (2002) diz que FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha) trata-se de um método utilizado para analisar as falhas de processos e produtos e tem o intuito de prevenir as consequências indesejadas, por meio da identificação prévia de ações que impossibilitem a ocorrência efetiva destas consequências.

A ABNT NBR 5462 (1994) resume o conceito FMEA, abreviação para Análise dos modos de pane e seus efeitos, como um método quantitativo utilizado para analisar a confiabilidade, envolvendo o estudo dos modos de falha que possam ocorrer para cada componente a indicação dos efeitos de cada modo de falha acerca outros componentes e a função requisitada do componente.

Para Palady (1997) e Toledo e Amaral (2006) uma das técnicas de baixo risco mais eficiente para prevenir falhas é a metodologia FMEA, apontando os tipos de falhas, seus efeitos e as possíveis causas de cada falha.

Complementando os autores, Posso (2007) diz que a metodologia FMEA se baseia nos seguintes passos para sua execução:

- a) Determinar os modos de falha existentes e potenciais;
- b) Determinar os efeitos causados por cada modo de falha e sua severidade;
- c) Determinar as causas possíveis para a ocorrência de cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falha para cada causa;
- d) Determinar a forma de detecção caso o modo de falha ocorra e a probabilidade de detecção;
- e) Determinar a severidade de risco de cada modo de falha e traçar ações para eliminar ou reduzir o risco da falha.

Para Palady (1997) os parâmetros citados pelo autor acima devem ser pontuados de acordo com os critérios apresentados nos Quadros 1, 2 e 3.

Quadro 1- Descrição da Avaliação de Ocorrência

Descrição da avaliação de Ocorrência	
Descrição da Escala de Ocorrência	Grau
Extremamente remoto, altamente improvável	1
Remoto, improvável	2
Pequena chance de ocorrência	3
Pequeno número de ocorrências	4
Espera-se um número ocasional de falhas	5
Ocorrência moderada	6
Ocorrência frequente	7
Ocorrência elevada	8
Ocorrência muito elevada	9
Ocorrência certa	10

Fonte: Palady (1997)

Quadro 2 - Descrição da Avaliação de Ocorrência

Descrição da Avaliação de Ocorrência	
Descrição da Escala de Ocorrência	Grau
Extremamente remoto, altamente improvável	1
Remoto, improvável	2
Pequena chance de ocorrência	3
Pequeno número de ocorrências	4
Espera-se um número ocasional de falhas	5
Ocorrência moderada	6
Ocorrência frequente	7
Ocorrência elevada	8
Ocorrência muito elevada	9
Ocorrência certa	10

Fonte: Palady (1997)

Quadro 3 - Descrição da Avaliação de Severidade

Descrição da Avaliação de Severidade	
Descrição da Escala de Severidade	Grau
Efeito não percebido pelo cliente.	1
Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; entretanto não faz com que o cliente procure o serviço.	2
Efeito insignificante, que perturba o cliente, mas não faz com que procure o serviço.	3
Efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço.	4
Efeito menor, inconveniente para o cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.	5
Efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que o cliente procure o serviço.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto.	7
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente, interrompe as funções do projeto, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao cliente.	9
Perigoso, ameaça a vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização.	10

Fonte: Palady (1997)

O primeiro passo para a aplicação da metodologia FMEA é a identificação dos principais modos de falha, as causas para sua ocorrência e seus efeitos no processo. Sendo assim, para aplicação da metodologia é necessário, previamente, realizar a análise de um conjunto de dados acerca do histórico de falhas dentro do local estudado.

Posso (2007) expõe em sua pesquisa que o *Risk Priority Number* (RPN), no português, Número de Prioridade de Risco (NPR), é a multiplicação dos parâmetros determinados de Ocorrência, Detecção e Severidade, o intuito deste cálculo é enumerar as prioridades das ações

utilizando, também, da análise do valor individual de cada parâmetro. Após a aplicação das notas para os parâmetros, os modos de falha são ordenados por meio do cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) para cada modo de falha.

Igualmente, Palady (1997) diz que o Número de Prioridade de Risco (NPR) também é o produto dos valores atribuídos para cada parâmetro citado, responsável pela categorização das falhas.

Desta forma, segundo os dois autores citados acima, o Número de Prioridade de Risco (NPR) pode ser representado pelas equações (1) e (2):

$$\text{NPR} = \text{Ocorrência} \times \text{Detecção} \times \text{Severidade} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{NPR} = \text{O} \times \text{D} \times \text{S} \quad \text{Eq. 2}$$

A expressão (1) representa o cálculo do NPR (Número de Prioridade de Risco), que é a multiplicação da Ocorrência, Detecção e Severidade, variáveis apresentadas nos Quadros 1, 2 e 3. Em que, segundo Palady (1997), a Ocorrência trata-se da probabilidade de ocorrência de falha para cada causa possível, a Detecção refere-se ao grau de possibilidade de detecção do efeito de cada causa e a Severidade é o grau de gravidade do efeito de cada causa possível.

Já a expressão (2) é a síntese da expressão (1), com a representação de cada variável da multiplicação por sua letra inicial.

2.5.1 Tipos de FMEA

Para Palady (1997) podemos separar a metodologia FMEA em dois tipos, que são:

FMEA de Projeto: aplicado ao projeto do produto, pontuando as possíveis falhas do produto baseado em suas especificações de projeto. Analisa a forma pelo qual um produto pode deixar de atender as necessidades do projeto. Tem o intuito de impedir que o produto com falhas em seu projeto seja liberado para a produção.

FMEA de Processo: aplicada ao processo, pontuando as causas das falhas ocorridas no planejamento e execução do processo. Tem o intuito de impedir falhas durante o processo e é baseada nas não conformidades do produto segundo as especificações do projeto.

Toledo e Amaral (2006) dizem que na aplicação da FMEA de processo são analisadas as falhas no planejamento e na realização do processo, ou seja, o intuito dessa análise é prevenir falhas do processo, utilizando as não conformidades do produto com os desejos do projeto.

2.5.2 Benefícios do uso da FMEA

Segundo Viana (2002), a utilização da metodologia FMEA auxilia na tomada de decisão da equipe do MCC, garantindo o atendimento dos pontos levantados pela Manutenção Centrada na Confiabilidade, que são: a necessidade de registros, cumprida com a documentação das análises de causa e efeito realizadas pela ferramenta e a necessidade de determinação dos equipamentos que devem ser submetidos a análise da MCC, através da identificação de todos os modos de falhas possíveis, bem como seus efeitos e criticidade de cada falha.

Kardec e Nascif (2009) concluíram o capítulo a respeito da FMEA em sua obra destacando o benefício do uso da metodologia para a tomada de ações que evitem falhas futuras de acontecerem e causarem prejuízo para as empresas. Os autores também citam que o uso da metodologia é vantajoso e os gastos com o seu desenvolvimento são equilibrados com a economia da não ocorrência da falha no processo.

Já Palady (1997) lista, dentre outros, os seguintes benefícios da utilização da metodologia FMEA:

- Orientar a definição e priorização de ações corretivas;
- Embasar o tratamento rápido de problemas;
- Reduzir fenômenos não previstos em um processo;
- Aumentar a satisfação dos clientes;
- Identificar as necessidades de segurança;
- Gerar histórico de análise de falha.

Castro (2022) cita a vantagem da utilização da metodologia FMEA, onde, por meio da sua aplicação na empresa objeto de seu estudo, foi possível a obtenção de resultados positivos sem a necessidade de cálculos quantitativos complexos. Castro (2022) diz ainda que a FMEA possibilitou em seu estudo a identificação de um modo de falha de alto risco e criticidade antes que este viesse a acontecer, possibilitando a atuação no meio produtivo para evitar a ocorrência de tal modo de falha, evitando custos futuros.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

Existem basicamente dois tipos de abordagens para construir o trabalho científico: a qualitativa e a quantitativa. Para Cauchick, Morabito e Pureza (2012), a maior peculiaridade da pesquisa quantitativa é a mensuração de variáveis e a utilização, frequentemente, de métodos estatísticos. Cauchick, Morabito e Pureza (2012) dizem também que a abordagem qualitativa utiliza a interpretação, o contexto da pesquisa, o processo e outras variáveis que possam existir durante a coleta de dados para interpretar o problema.

Sendo assim, esta pesquisa se enquadra na combinação das abordagens quantitativa e qualitativa, utilizando da combinação de técnicas estatísticas e reuniões para coleta e análise da base de dados.

Segundo Gil (2002), existem três grupos para classificar uma pesquisa quanto aos objetivos: exploratórias, descritivas e explicativas, onde uma pesquisa explicativa busca conhecer as causas que contribuem ou determinam a ocorrência de fatores observados no ambiente. Do ponto de vista dos objetivos, este trabalho acadêmico é classificado como uma pesquisa explicativa.

Segundo Prodanov e Freitas (2013), pesquisa-ação é um procedimento técnico utilizado quando os pesquisadores participam do acompanhamento, da análise das consequências dos problemas e da resolução de problemas encontrados, desempenhando papel ativo na solução dos fatos levantados pela pesquisa.

Desta forma, este trabalho possui uma abordagem de pesquisa combinada, qualitativa e quantitativa, combinando as ferramentas enquadradas em cada classificação. Utiliza-se da pesquisa-ação como método de pesquisa, com atuação e participação no ambiente de estudo, tratando mais especificamente de uma pesquisa explicativa, onde será avaliada a aplicação da metodologia FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha), construção de hipóteses, execução de ações propostas e comparativo entre cenários dentro do processo produtivo de uma agroindústria.

3.2 Técnicas de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio das informações contidas em planilhas utilizadas pela operação e nos sistemas operacionais da empresa, que possuía registros bem estruturados e separados por setor.

Os documentos utilizados neste estudo são: banco de dados contido no Sistema de Gestão Empresarial SAP e em planilhas operacionais.

O histórico contido no SAP trata-se da quantificação em horas das paradas que tiveram a necessidade de intervenção do time da manutenção, em que para cada atividade da manutenção realizada na unidade é aberta uma ordem de serviço no sistema SAP, direcionada para o equipamento envolvido e, após a finalização desta atividade, a ordem de serviço é encerrada no SAP, por meio do lançamento do tempo de execução da atividade e matrícula dos colaboradores executantes. Para abrir a ordem de serviço no sistema SAP é necessário informar o tipo da ordem de serviço, onde ordens de caráter corretivo podem ser do tipo: corretiva planejada e corretiva não planejada.

Assim, foi utilizado o histórico de ordens do tipo corretiva não planejada e seus respectivos tempos de execução contidos no SAP de maio/2020 a maio/2021.

As planilhas operacionais utilizadas tratam-se de planilhas preenchidas diariamente por cada turno operacional e contém um campo com as ocorrências de paradas do processo, suas causas possíveis e, quando ocorre, o tipo de intervenção realizada para normalização do processo.

Ao final de todo mês, o setor da manutenção analisa estas planilhas e seleciona, em conjunto com um representante da produção, as paradas ocorridas devido falhas e intervenções da manutenção no processo produtivo. As planilhas utilizadas foram as planilhas com preenchimento realizado no mesmo período, de maio/2020 a maio/2021.

Para agrupar as informações contidas nas duas bases de dados, foi realizada a construção de planilhas no programa Microsoft Excel, com a elaboração de uma tabela com as paradas não programadas do processo produtivo entre maio/2020 e maio/2021 e a quantidade total de horas relativa de cada parada não programada.

Após a aplicação da metodologia proposta, foi analisado o período de outubro/2021 a outubro/2022. Foram utilizados, novamente, o sistema SAP com o histórico das ordens do tipo corretivas não planejadas e as planilhas operacionais. Da mesma forma, foi construído uma tabela no Excel agrupando as paradas não programada e seus respectivos tempos de duração.

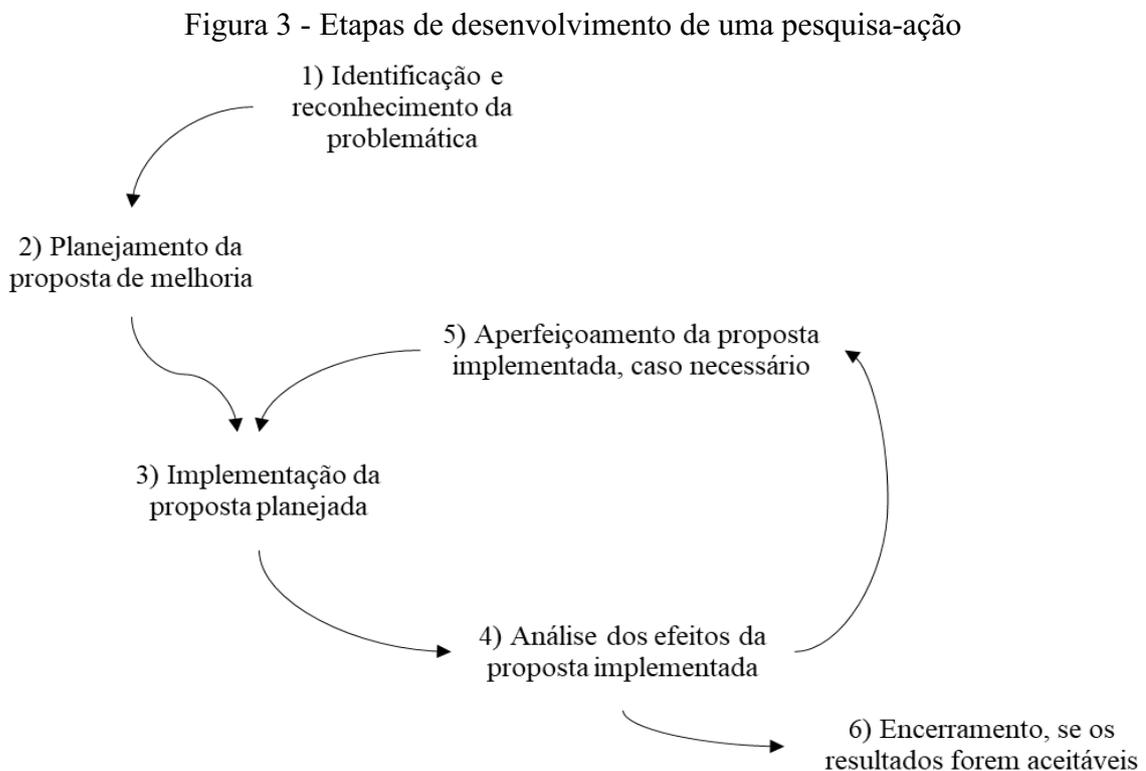
3.3 Técnicas de análise de dados

Com as informações estruturadas, é necessário selecionar as ferramentas mais adequadas para analisar o banco de dados. Para isto, foi utilizado o Gráfico de Pareto e a metodologia FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha), em que, primeiramente, será aplicado o Gráfico de Pareto e elencadas as principais falhas da manutenção de acordo com o histórico. Depois, para as principais falhas, a metodologia FMEA foi desenvolvida e criado um plano de ação para reduzir as falhas da manutenção elencadas.

Por fim, com o intuito de comparar os dados antes e após a aplicação da FMEA, foi construído, novamente, o Gráfico de Pareto a partir das ocorrências de falhas da manutenção no processo produtivo após a execução do plano de ação.

3.4 Procedimentos metodológicos – Etapas

Os procedimentos metodológicos deste estudo foram baseados na abordagem da pesquisa-ação. De forma macro, as etapas para o desenvolvimento de uma pesquisa-ação são descritas na Figura 3.



Fonte: Adaptado de McKay e Marshall (2001) e Tripp (2005)

A primeira etapa trata-se da identificação do problema estudado, que é o estudo dos fatores presentes no objeto de estudo que venham a causar os problemas relatados na base de dados. A segunda etapa é o planejamento da proposta de melhoria, em que, posterior a etapa 1, com o conhecimento da problemática, é elaborado uma proposta para tratar a problemática e otimizar o objeto de estudo.

Durante a terceira etapa, a implementação desta proposta construída na etapa 2 é realizada. Após esta implementação, durante a etapa 4, é realizada uma análise dos efeitos desta proposta de melhoria aplicada na etapa 3. De acordo com os resultados da análise realizada na etapa 4, decide-se pela realização da etapa 5 ou pelo encerramento do estudo com a execução da etapa 6. Assim, caso os resultados obtidos na etapa 4 não forem aceitáveis, a etapa 5 é realizada e um aperfeiçoamento da proposta implementada é identificado, isto por meio da análise realizada na etapa anterior. Após o aperfeiçoamento da proposta de melhoria ser definido, a etapa 3 é realizada novamente e a proposta aperfeiçoada é aplicada. Posteriormente, a etapa 4 é realizada novamente e analisa-se os efeitos da implementação desta nova proposta de melhoria. Desta forma, as etapas 3, 4 e 5 são realizadas de forma cíclica, implementando a proposta de melhoria, modificando-a de acordo com as análises realizadas e implementando a proposta aperfeiçoada, até a obtenção de resultados aceitáveis pelos pesquisadores.

Caso os resultados obtidos na análise dos efeitos da proposta implementada, na etapa 4, forem aceitáveis, a etapa 6 é executada e a pesquisa é encerrada, apresentando os resultados obtidos com o trabalho.

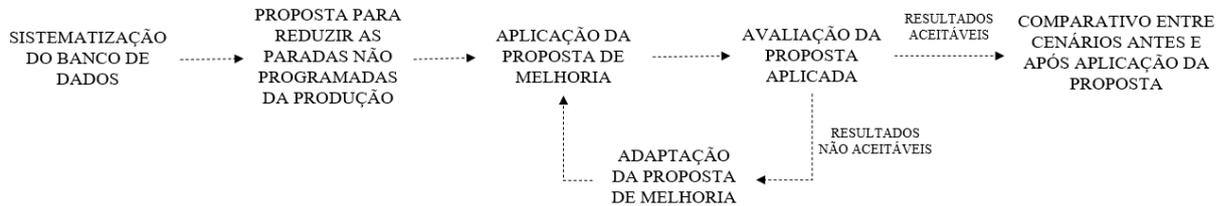
4. RESULTADOS

A Figura 4 mostra as etapas de desenvolvimento deste trabalho de forma mais específica. A primeira etapa trata-se da sistematização das informações contidas no banco de dados da empresa. Posteriormente, a proposta de melhoria foi planejada por meio do desenvolvimento da metodologia FMEA. Na próxima etapa, esta proposta foi aplicada e, posteriormente, avaliados os efeitos ocorridos no objeto de estudo.

Com as adaptações para aperfeiçoamento da proposta identificadas, foi realizada a aplicação da proposta de melhoria adaptada e, novamente, os efeitos da aplicação desta proposta foram avaliados. Se os resultados desta avaliação não forem satisfatórios, novas adaptação da proposta são identificadas e aplicadas, de forma cíclica, até a obtenção de resultados satisfatórios. Se os resultados obtidos nesta análise forem satisfatórios, a última etapa é realizada.

Por fim, a última etapa desta pesquisa trata-se do comparativo entre os cenários antes e após a aplicação da proposta de melhoria desenvolvida.

Figura 4 - Etapas de desenvolvimento deste trabalho

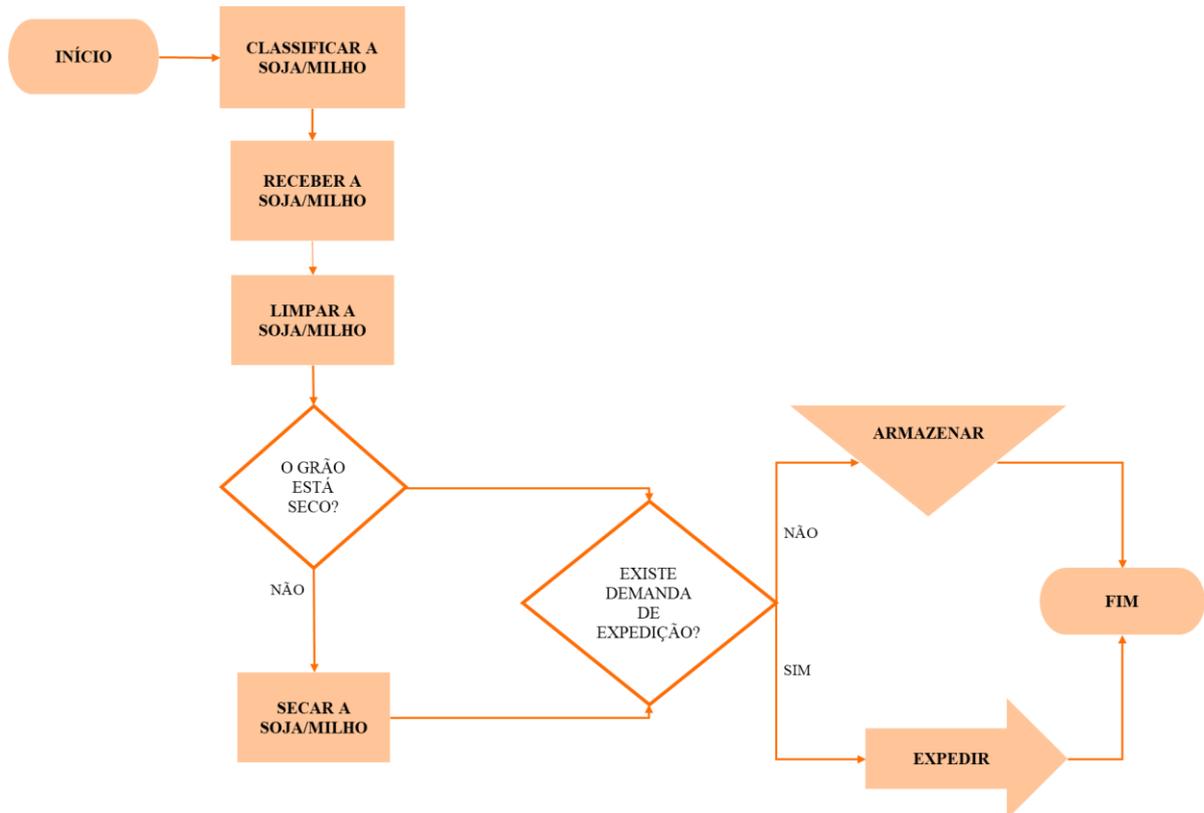


Fonte: Autoria Própria (2023)

4.1 Caracterização da empresa

Este trabalho foi desenvolvido em uma agroindústria, mais especificamente, em um armazém de grãos, localizado no interior do estado de Goiás. Este armazém de grãos atua fortemente no setor de transporte por hidrovia, operando na hidrovia Paranaíba-Tietê-Paraná, em que a unidade estudada transporta soja e milho, dependendo da época do ano, com expedição na cidade goiana e destino a cidade interiorana do centro do estado de São Paulo, local em que a operação segue o fluxo de venda e expedição. As principais etapas envolvidas na operação da empresa são: o descarregamento dos grãos recebidos em caminhões, a secagem destes grãos e sua expedição via barco próprio por meio do rio Paranaíba e destino ao rio Tietê. Seu processo produtivo é resumido no fluxograma da Figura 5 a seguir:

Figura 5 - Fluxograma da operação da unidade



Fonte: Autoria Própria (2023)

Como já citado, antes do desenvolvimento deste trabalho a unidade passava por um cenário de aumento na ocorrência de paradas não programadas do processo produtivo devido indisponibilidade de equipamentos, isto após a empresa passar pelo projeto *Retrofit Secagem* entre 2019/2020.

Desta forma, com o objetivo de reduzir as paradas não programadas dos equipamentos envolvidos no processo produtivo, serão aplicadas a metodologia FMEA e a ferramenta Gráfico de Pareto.

4.2 Identificação e reconhecimento da problemática – Etapa 1

Durante a implementação da etapa 1 deste trabalho, foi observado que a análise e o controle da manutenção já fazem parte da realidade empresarial da unidade, porém, por se tratar de uma unidade menor em número de colaboradores e setores, a aplicação de ferramentas mais complexas não é realizada com frequência. Conforme já foi exposto neste trabalho, após a realização do projeto *Retrofit Secagem*, o número de paradas não programadas devido à indisponibilidade de equipamentos aumentou consideravelmente e a redução do tempo indisponível dos equipamentos envolvidos passou a ser uma busca constante.

O Quadro 4 exibe as ocorrências, o tempo de duração e o modo geral de falha de cada parada não programada dos equipamentos do setor produtivo de maio/2020 a maio/2021:

Quadro 4 - Quantidade de horas de paradas não programadas dos equipamentos produtivos

Equipamento	Tipo de falha ocorrida	Modo Geral de Falha	Horas por falha
CT 03	Quebra de roda do carrinho <i>Tripper</i> da correia	<i>Tripper</i> desalinhado	13:00:00
CT 03	Correia danificada (rasgo)	Correia danificada	6:37:00
CT 04	Queda do carrinho <i>Tripper</i> do trilho	<i>Tripper</i> desalinhado	7:00:00
CT 04	Falha por sensor de temperatura	Desarme sensor	0:13:00
CT 04	Cabo do cabo de ligação de <i>Tripper</i> se rompeu por estar esticado na operação	Cabo <i>Tripper</i>	0:56:00
CT 08	Desarme sensor de embuchamento	Desarme sensor	14:26:00
CT 08	Rompimento de cabo do peso do esticador da correia	Desgaste componentes mecânicos	4:24:00
CT 08	Desarme devido sobrecarga	Sobrecarga equipamento	2:10:00
CT 08	Quebra do rolo de retorno da correia	Desgaste componentes mecânicos	1:00:00
CT 09	Aparador da correia desregulado	Aparador desregulado	2:17:00
CT 09	Vazamento devido furo em caixaria	Furo em caixaria	2:31:00
CT 09	Desarme disjuntor devido sobrecarga	Sobrecarga equipamento	0:08:00
CT 11	Desarme sensor de embuchamento	Desarme sensor	0:11:00
Dosador	Desarme devido sobrecarga	Sobrecarga equipamento	0:07:00
Dosador	Falha elétrica devido desgaste de componentes	Desgaste de componentes elétricos	1:19:00
Pier	Desarme em disjuntor geral do setor	Desarme disjuntor	1:11:00
Pré Limpeza 01	Quebra peneira rotativa	Quebra peneira	12:40:00
Pré Limpeza 01	Desarme em disjuntor do motor	Desarme disjuntor	0:16:00
Pré Limpeza 02	Quebra peneira rotativa	Quebra peneira	12:40:00
Tombador 01	Desconfiguração de parâmetros em inversor	Configuração inversor/ <i>sofstar</i>	5:24:00
Trua 04	Tampa amassada em rosca transportadora dificultando movimentação do equipamento	Falha devido inspeção	0:15:00
Trua 06	Rosca helicoidal achatada dificultando movimentação do equipamento	Falha devido inspeção	1:15:00
EL 01	Desarme sensor de embuchamento	Desarme sensor	0:32:00
EL 01	Desarme elétrico devido má vedação eletrodutos	Má vedação eletrodutos	2:24:00
EL 02	Desarme elétrico devido má vedação eletrodutos	Má vedação eletrodutos	2:24:00
EL 03	Falha em sensor de temperatura	Desarme sensor	0:15:00
EL 02	Desarme devido falha em sensor de embuchamento	Desarme sensor	5:00:00
EL 05	Embuchamento devido furo em caixa de manobra	Furo em caixaria	1:12:00
EL 05	Desarme elétrico devido má vedação eletrodutos	Má vedação eletrodutos	0:50:00
EL 06	Embuchamento devido furo em caixa de manobra	Furo em caixaria	1:45:00
EL 07	Desarme elétrico devido má vedação eletrodutos	Má vedação eletrodutos	0:15:00
Balança de Fluxo	Vazamento de produto devido furo em funil de carga	Furo em caixaria	4:01:00
Balança de Fluxo	Desarme por sobrecarga em equipamento	Sobrecarga equipamento	0:04:00
Balança de Fluxo	Desarme por sobrecarga em equipamento	Desgaste de componentes elétricos	0:06:00
Balança de Fluxo	Embuchamento devido acúmulo de resíduos	Falha devido inspeção	0:04:00
Bico Telescópio	Falha em contator de comando em placa de controle devido desgaste	Desgaste componentes elétricos	2:21:00
Bico Telescópio	Falha de sensor de fim de curso travando equipamento	Desarme sensor	1:50:00
Redler 03	Desarme por sobrecarga em equipamento	Sobrecarga equipamento	0:14:00
Secador 01	Falha em sensor de temperatura e sensor s4g	Desarme sensor	0:45:00
Total de horas de paradas devido manutenção			114:02:00

Fonte: Autoria Própria (2023)

A partir dos dados contidos no Quadro 4, somando as horas de paradas não programadas por modo geral de falha, foram obtidas as informações apresentadas no Quadro 5.

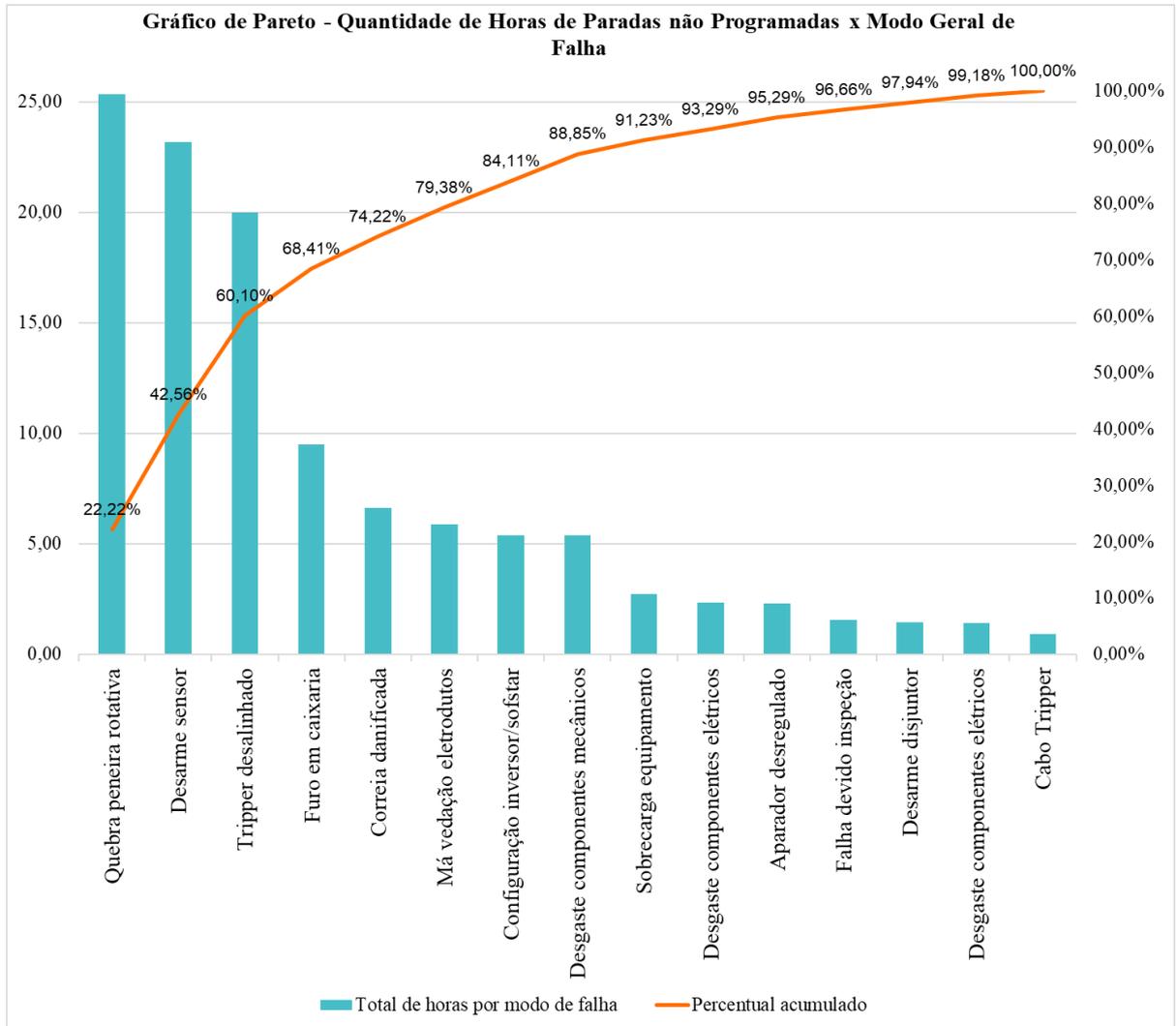
Quadro 5 - Quantidade de horas de paradas não programadas por modo geral de falha

Modo Geral de Falha	Total de horas de parada	Total de horas de parada (horas)
Quebra peneira rotativa	25:20:00	25,33
Desarme sensor	23:12:00	23,20
<i>Tripper</i> desalinhado	20:00:00	20,00
Furo em caixaria	09:29:00	9,48
Correia danificada	06:37:00	6,62
Má vedação eletrodutos	05:53:00	5,88
Configuração inversor/ <i>sofstar</i>	05:24:00	5,40
Desgaste componentes mecânicos	05:24:00	5,40
Sobrecarga equipamento	02:43:00	2,72
Desgaste componentes elétricos	02:21:00	2,35
Aparador desregulado	02:17:00	2,28
Falha devido inspeção	01:34:00	1,57
Desarme disjuntor	01:27:00	1,45
Desgaste componentes elétricos	01:25:00	1,42
Cabo <i>Tripper</i>	00:56:00	0,93

Fonte: Autoria Própria (2023)

Para sistematizar a análise destes dados, foi aplicada a ferramenta de Pareto, com a construção do Gráfico de Pareto para elencar as falhas com maiores tempos de parada no histórico apresentado. A Figura 6 apresenta o Gráfico de Pareto elaborado com a Quantidade de Horas de Paradas não Programadas x Modo Geral de Falha.

Figura 6 - Quantidade de Horas de Paradas não Programadas x Modo Geral de Falha



Fonte: Autoria Própria (2023)

Analisando o gráfico da Figura 6 e associando com a realidade empresarial já exposta, observa-se que as falhas elencadas na primeira e segunda posição são falhas decorrentes do projeto *Retrofit Secagem* já citado, realizado entre 2019/2020. Estas duas falhas somam 42,56% da quantidade total de horas de paradas não programadas dos equipamentos produtivos. As máquinas nas quais as peneiras são inseridas são máquinas instaladas neste projeto de 2019/2020. Os sensores da unidade fazem parte dos dispositivos de segurança de processo também instalados no projeto *Retrofit Secagem*.

De acordo com o conceito do Gráfico de Pareto apresentado neste trabalho, 80% dos efeitos relatados são causados por 20% dos problemas ocorridos no objeto de estudo. Se este trabalho fosse seguir a ferramenta inteiramente, a escolha seria tratar 20% dos problemas ocorridos, porém, como este trabalho tem a proposta de desenvolver um estudo aprofundado,

optou-se pela tratativa dos problemas que somaram, aproximadamente, 80% do total de ocorrências.

Desta forma, os modos gerais de falha selecionados para a aplicação da metodologia FMEA, totalizando 79,38%, aproximando de 80% do total de paradas não programadas ocorridas, em ordem decrescente, são:

- Quebra de peneiras rotativas;
- Desarme de sensor;
- *Tripper* desalinhado;
- Furo em caixaria;
- Correia danificada;
- Má vedação de eletrodutos.

A aplicação do Gráfico de Pareto teve o intuito, exclusivamente, de selecionar os Modos Gerais de Falha com maiores ocorrências, em que, após esta seleção, a ordem dos Modos de Falha obtida no Gráfico de Pareto não foi considerada na aplicação da metodologia FMEA. Com os Modos Gerais de Falha suscetíveis a aplicação da FMEA selecionados, a partir deste momento do trabalho, o desenvolvimento da pesquisa segue a metodologia FMEA.

Após a aplicação do Gráfico de Pareto e a seleção dos modos de falhas a serem analisados pela FMEA, foi atribuído a cada modo de falha uma nota para os parâmetros: Ocorrência; Detecção e Severidade. A atribuição das notas destes parâmetros seguiu a metodologia existente e sua síntese foi apresentada no capítulo de Fundamentação Teórica.

Com o intuito de afunilar a proximidade com a realidade empresarial, a avaliação dos modos de falha segundo os parâmetros teóricos foi realizada em conjunto com um representante de cada área da empresa, por meio de reuniões, nas quais participaram um supervisor da produção, uma analista da manutenção e um técnico de segurança do trabalho.

A pontuação do parâmetro Ocorrência foi baseada no histórico de ocorrência de cada modo geral de falha de acordo com o Quadro 4 e a vivência cotidiana na empresa. O parâmetro Detecção foi pontuado com base nos pontos de alarme existentes para cada modo de falha, em que itens que possuem algum tipo de alarme individual em caso de parada, indicando a parada do item em questão, receberam uma nota abaixo de 5 e os itens que não possuem algum tipo de alarme individual em caso de parada, receberam uma nota acima de 5. Já a Severidade foi pontuada de acordo com os custos envolvidos, a mão de obra necessária e o risco a segurança que o efeito de cada modo de falha pode causar no processo produtivo.

Desta forma, seguindo a literatura, a FMEA foi desenvolvida, primeiramente, com a atribuição de notas para os parâmetros descritos, posteriormente com o cálculo do NPR (Número de Prioridade de Risco), que é o valor obtido com a multiplicação dos valores de cada parâmetro.

Após a realização de 3 reuniões, foi desenvolvida a tabela FMEA com as devidas pontuações apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Aplicação FMEA

FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha)							
Índice	Modo de Falha	Causa	Detecção	O	D	S	NPR
1	Má vedação de eletrodutos	Falta de vedação em entradas de eletrodutos, deixando a água escoar para dentro das caixas de ligação.	Desarme do equipamento por falha elétrica.	5	8	9	360
2	Furo em caixaria	Falta de revestimento interno em caixarias.	Vazamento de produto.	7	6	6	252
3	Correia danificada	Falta de identificação de desgaste preventivamente.	Obstrução do equipamento. Desarme do equipamento.	7	5	7	245
4	<i>Tripper</i> desalinhado	Rodas de movimentação do equipamento gastas.	Parada de equipamento.	7	5	6	210
5	Quebra de peneiras rotativa	Defeito mecânico em tambor principal de encaixa da peneira.	Obstrução e para de equipamento.	9	3	4	108
6	Desarme de sensor	Mal posicionamento dos sensores. Acúmulo de pó nos sensores.	Desarme do equipamento por falha de sensor.	8	3	4	96

Fonte: Autoria Própria (2023)

Os modos de falha apresentados no Quadro 6 estão em ordem decrescente de acordo com o valor do NPR obtido e foi criado um índice para cada modo de falha associado. Muitas vezes, a escolha do pesquisador é selecionar somente com os modos gerais de falha com os maiores valores de NPR, porém, como neste trabalho já foi realizada uma pré-seleção das falhas a serem estudadas, criou-se um plano de ação para tratar todos os modos de falha avaliados pela FMEA.

4.3 Planejamento da proposta de melhoria - Etapa 2

Para realizar o planejamento da proposta de melhoria, foram realizadas, primeiramente, entrevistas com os colaboradores da manutenção, realizadas com dois eletricitistas e dois mecânicos, e as ações sugeridas para tratar cada modo de falha foram listadas. Logo após a

realização destas entrevistas, foi realizada outra reunião com os colaboradores envolvidos nas reuniões da FMEA, o supervisor da produção, a analista da manutenção e o técnico de segurança do trabalho, para alinhamento das sugestões do time da manutenção com a operação e a segurança do trabalho.

Após isto, foi criado o plano de ação para os modos gerais de falha apresentado na Quadro 7.

Quadro 7 - Plano de Ação FMEA

Plano de Ação FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha)		
Índice	Modo de Falha	Plano de Ação
1	Má vedação de eletrodutos	<ul style="list-style-type: none"> • Vedar os pontos identificados com vazamento. • Incluir a verificação das bases dos eletrodutos nos Planos de Inspeção Elétrica.
2	Furo em caixaria	<ul style="list-style-type: none"> • Vedar e revestir pontos identificados com vazamento. • Incluir a verificação da espessura das chaparias nos Planos de Inspeção Mecânica.
3	Correia danificada	<ul style="list-style-type: none"> • Colagem de correias danificadas e refazer emenda. • Substituir correia na parada programada. • Incluir a verificação de rasgos nas correias nos Planos de Inspeção Operacional e Mecânica.
4	<i>Tripper</i> desalinhado	<ul style="list-style-type: none"> • Substituir de rodas dos equipamentos. • Incluir a verificação das condições das rodas nos Planos de Inspeção Operacional e Mecânica.
5	Quebra de peneiras rotativa	<ul style="list-style-type: none"> • Substituir rolo tambor do equipamento. • Incluir a verificação das travas e peneiras nos Planos de Inspeção Operacional e Mecânica.
6	Desarme de sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Reposicionamento dos sensores identificados com posicionamento incorreto para seu acionamento. • Alteração física dos sensores.

Fonte: Autoria Própria (2023)

4.4 Implementação da proposta planejada – Etapa 3

Posteriormente, para implementação da etapa 3, o plano de ação elaborado e apresentado no Quadro 7 foi executado com o auxílio das demais áreas da empresa e divisão de tarefas. O plano de ação foi executado durante abril/2021 e agosto/2021.

Os índices citados neste capítulo referem-se aos índices atribuídos aos modos de falha expostos no Quadro 7 do capítulo anterior.

O modo de falha correspondente ao índice 1 (Má vedação de eletrodutos), foi tratado com a vedação dos pontos com vazamentos e a inclusão da verificação das bases dos eletrodutos no plano de inspeção elétrica. Já para o índice 2 (Furo em caixaria), foi realizada uma corretiva, durante o período de 50 dias, em que foi instalado um tipo de revestimento na parte interna das caixas e realizada a substituição das chaparias furadas. A medição das chapas das caixarias foi incluída nos planos de inspeção mecânica.

O modo de falha de índice 3 (Correia danificada) também foi tratado com uma corretiva, com a revitalização das correias por meio da colagem e restauração de emenda. Também foi incluso a verificação de presença de rasgos nas correias nas inspeções operacionais e mecânicas, com realização semanal.

Para o índice 4 indicado (*Tripper* desalinhado), foi realizada a construção de rodas de movimentação novas e instaladas em todos os direcionadores de carga *Trippers*. A inspeção das condições das rodas do equipamento também foi inclusa nos planos semanais de inspeção mecânica e operacional.

Já o índice 5 (Quebra das peneiras rotativas), após laudos mecânicos, foi identificada como uma falha decorrente do desalinhamento das hastes do rolo tambor dos equipamentos de pré-limpeza, responsáveis por acomodar as peneiras dentro da máquina, sendo assim, uma falha ocasionada devido problema de fábrica durante a construção dos tambores pelo fabricante. É importante ressaltar que o problema de fábrica e as paradas para manutenção aconteceram tanto na máquina Pré-limpeza 01, quanto na Pré-limpeza 02. Sendo assim, foi tratada em conjunto com o fabricante e, após algumas reuniões, por estar dentro do prazo de garantia do fornecedor, foi realizada a substituição dos tambores de ambas as máquinas de pré-limpeza rotativas com caráter de *recall* de garantia de compra. A verificação das condições das travas e das chapas das peneiras também foi incluída nos planos de inspeção mecânica e operacional.

O modo de falha de índice 6 (Desarme de sensor), foi solucionado, inicialmente, com o reposicionamento dos sensores identificados com posicionamento indevido, melhorando a posição para obter precisão no acionamento do sensor e evitando o acionamento incorreto devido à proximidade exagerada do sensor com o equipamento.

Todo o plano de ação apresentado no Quadro 7 foi executado ao longo do período de abril/2021 a agosto/2021.

O desarme do sensor de embuchamento do equipamento CT 08 (Correia Transportadora 08) foi a causa principal da falha “Desarme de sensor”, responsável por 14:26h de 25:12h totais deste modo de falha. O sensor de embuchamento se trata da indicação de um entupimento de parte do processo devido acúmulo de matéria prima e existe uma peculiaridade na sua instalação

no equipamento citado, onde a posição possível de instalação do sensor é um local de extremo acúmulo de pó. Após a realização de reuniões e entrevistas a colaboradores envolvidos, foi possível entender o que acontece neste caso específico, que nada mais é que o acúmulo de pó entre o sensor e o suporte do sensor de embuchamento, criando uma crosta endurecida que faz com que o sensor seja atuado mesmo não ocorrendo um entupimento do equipamento. A Figura 7 mostra um sensor de embuchamento retirado da operação que apresenta o acúmulo de pó do processo durante a operação.

Figura 7 - Sensor de embuchamento retirado da operação



Fonte: Autoria Própria (2023)

O conceito é que o sensor de embuchamento atue e interrompa o processo quando os grãos não conseguirem seguir o fluxo e ocorra o acúmulo de grãos em algum equipamento, causando o embuchamento do processo e encobrendo o sensor com a matéria prima. Esta crosta de pó endurecida faz com que o sensor seja atuado indevidamente, provocado pelo acúmulo de matéria prima em sua parte física.

Envolvendo a equipe elétrica da unidade, foi possível a elaboração de uma alternativa para reduzir este problema nos sensores de embuchamento. A alternativa sugerida colocada em prática trata-se da alteração da base do suporte do sensor, onde foi instalada espuma expansiva para vedar os arredores do suporte do sensor e deixando somente a ponta do sensor exposta. Esta alteração faz com que a parte exposta do sensor fique rente com o base do suporte utilizado, eliminando frestas para acúmulo de pó.

A Figura 8 traz o primeiro modelo de adequação da base do suporte do sensor de embuchamento realizada e instalado, em caráter de teste, no equipamento CT 08, que foi o

equipamento da unidade que apresentou os maiores valores de quantidade de horas de paradas não programadas para o modo de falha “Desarme de sensor”, de acordo com os dados apresentados no Quadro 4.

Figura 8 - Suporte de sensor de embuchamento proposto



Fonte: Autoria Própria (2023)

É observado na Figura 8 como o novo modelo de suporte impede a entrada e o acúmulo de pó oriundo do processo, otimizando a atuação do sensor. A Figura 8 mostra a base do suporte do sensor preenchida com espuma expansiva, deixando o sensor rente ao campo de atuação e impedindo o acúmulo de pó. Para garantir sua devida atuação, foram realizados diversos testes em bancada e o desempenho do seu acionamento foi aprovado, de modo que em todos os testes que foi colocado em um cenário real de embuchamento, o sensor atuou. O modelo de melhoria proposto na Figura 8 foi instalado, em caráter de teste, na Correia Transportadora 08 em maio/2021.

4.5 Análise dos efeitos da proposta implementada – Etapa 4

Para executar a etapa 4 deste trabalho, foi realizada a análise dos efeitos da proposta implementada na etapa 3 e, após cerca de quatro semanas, foi observado em inspeções elétricas que a espuma expansiva inserida como tratativa do “Desarme de sensor” estava se desfazendo, em alguns pontos ela havia reduzido seu tamanho consideravelmente. Esta observação foi relatada ao time da manutenção e, após discussão com os eletricitistas da unidade, adaptações para o aperfeiçoamento da melhoria foram identificadas.

Não houve *feedbacks* negativos para as demais tratativas apresentadas no Quadro 7 e implementadas no setor produtivo.

4.6 Aperfeiçoamento da proposta implementada – Etapa 5

Durante a execução da etapa 5, aperfeiçoamento da proposta implementada, o foco foi a otimização da tratativa do modo de falha 6 do Quadro 7, que foi o ponto da proposta implementada identificado como passível de melhoria na etapa 4 deste trabalho.

Para isto, foram realizadas reuniões com os eletricitas da unidade e a adaptação da proposta sugerida pela equipe foi a construção de uma película de acrílico entre o suporte do sensor e o sensor, evitando o contato direto do sensor com o ambiente de operação e o acúmulo de pó na parte física do sensor.

A Figura 9 mostra o suporte de um sensor de embuchamento instalado na unidade desacoplado da base que é instalado em campo.

Figura 9 - Suporte de sensor de embuchamento utilizado na empresa



Fonte: Autoria Própria (2023)

A Figura 9 mostra o modelo do suporte de sensor de desalinhamento readequado após *feedbacks* realizados na etapa 4. Na Figura 10 observa-se que para aperfeiçoar a melhoria deste modo de falha, em vez de alterar a base do suporte do sensor, a alteração foi realizada no próprio suporte do sensor.

Figura 10 - Suporte de sensor de embuchamento proposto



Fonte: Autoria Própria (2023)

O suporte de sensor readequado exposto na Figura 10 também tem a característica de impedir a entrada e o acúmulo de pó ao redor do sensor de embuchamento. O modelo de suporte da Figura 10 também foi testado em bancada e em todos os testes com embuchamento real, o sensor contido no suporte com película de acrílico atuou devidamente. Além disso, o modelo de suporte de sensor com a película em acrílico possui um tempo de vida útil maior que o modelo de suporte com a espuma expansiva demonstrado na Figura 8.

4.4 Implementação da proposta readequada planejada – Etapa 3

Após o desenvolvimento do aperfeiçoamento da proposta de melhoria para o modo de falha 6 (Desarme de sensor) do Quadro 7, a etapa 3 foi executada novamente e foi realizada a implementação da proposta readequada planejada.

O suporte do sensor de embuchamento readequado após a execução da etapa 4 deste trabalho e apresentado na Figura 10 foi instalado, novamente, na CT 08 (Correia Transportadora 08), em agosto/2021.

4.5 Análise dos efeitos da proposta readequada implementada – Etapa 4

Após a realização da implementação da proposta de melhoria aperfeiçoada do modo de falha “Desarme de sensor” apresentado na etapa 5, a análise dos efeitos da proposta implementada foi realizada novamente, etapa 4 do desenvolvimento deste trabalho.

O suporte do sensor apresentado na Figura 10 como alternativa para a melhoria proposta foi aprovado em campo, em que, após três semanas de funcionamento no equipamento CT 08,

não foi encontrado nenhum grau de acúmulo de pó no interior da película de acrílico do suporte e o acrílico estava em boas condições.

Após a instalação e o aceite do suporte de sensor apresentado na Figura 10, para avaliar os efeitos da proposta implementada de forma embasada, foi realizada a análise da quantidade de horas das paradas não programadas dos equipamentos produtivos novamente.

O Quadro 8 mostra o registro das paradas não programadas do processo produtivo e seus respectivos tempos de duração durante o período de outubro/2021 a outubro/2022, após a finalização da implementação da metodologia FMEA no processo. A base de dados foi a mesma utilizada anteriormente, o sistema SAP e planilhas operacionais.

Quadro 8 - Quantidade de horas de paradas não programadas dos equipamentos produtivos após FMEA

Equipamento	Tipo de falha ocorrida	Modo Geral de Falha	Horas por falha
CT 03	Quada do carrinho <i>Tripper</i> da correia	<i>Tripper</i> desalinhado	0:15:00
CT 04	Quebra do rolo de retorno da correia	Desgaste componentes mecânicos	1:20:00
CT 04	Quebra do rolo carga da correia	Desgaste componentes mecânicos	0:25:00
CT 05	Falha por sensor de temperatura	Desarme sensor	0:20:00
CT 04	Quebra do rolo de retorno da correia	Desgaste componentes mecânicos	0:31:00
CT 08	Desarme sensor de embuchamento	Desarme sensor	0:16:00
CT 08	Desarme devido sobrecarga	Sobrecarga equipamento	3:15:00
CT 09	Desarme disjuntor devido sobrecarga	Sobrecarga equipamento	0:23:00
Pré-Limpeza 01	Quebra de trava peneira rotativa	Quebra trava peneira	00:20:00
Pré-Limpeza 02	Quebra de trava peneira rotativa	Quebra trava peneira	00:15:00
EL 01	Desarme sensor de embuchamento	Desarme sensor	0:12:00
EL 02	Desarme devido falha em sensor de embuchamento	Desarme sensor	0:22:00
Calador Hidráulico	Rompimento de cabo do braço de movimentação do coletador de amostra	Posicionamento incorreto do cabo	2:11:00
Pier	Desarme em disjuntor geral do setor	Desarme disjuntor	7:20:00
Pier	Parada devido quebra da chapa da defesa da embarcação	Desgaste componentes mecânicos	2:20:00
Balança de Fluxo	Desarme por sobrecarga em equipamento	Sobrecarga equipamento	0:04:00
Válvula rotativa	Vazamento devido furo em caixaria	Furo em caixaria	0:25:00
Total de horas de paradas devido manutenção			20:14:00

Fonte: Autoria Própria (2023)

Após organização dos dados e apresentação no formato exposto no Quadro 8, as paradas não programadas foram classificadas por modo geral de falha e somou-se o tempo de duração de acordo com esta classificação, obtendo as informações apresentadas no Quadro 9.

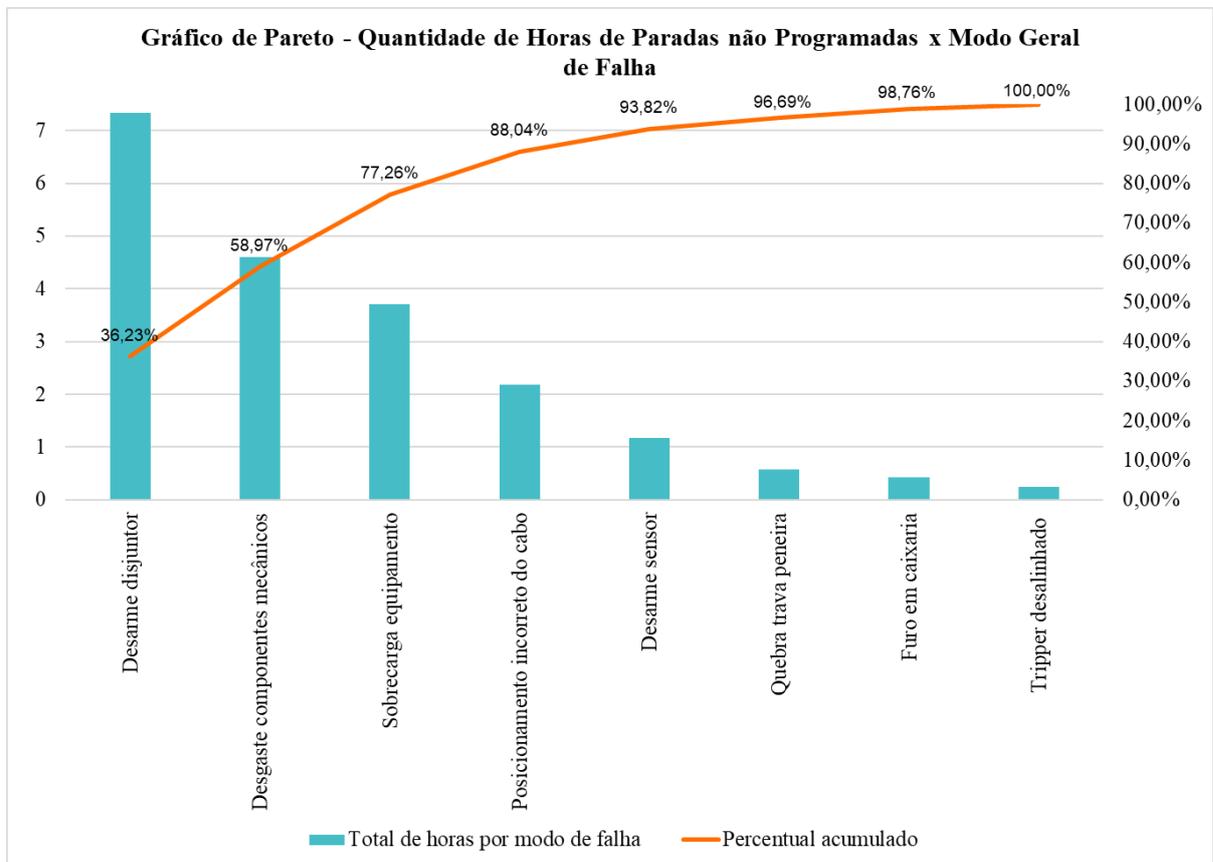
Quadro 9 - Quantidade de horas de paradas não programadas por modo geral de falha após FMEA

Modo Geral de Falha	Total de horas de parada	Total de horas de parada (horas)
Desarme disjuntor	7:20:00	7,33
Desgaste componentes mecânicos	4:36:00	4,6
Sobrecarga equipamento	3:42:00	3,7
Posicionamento incorreto do cabo	2:11:00	2,18
Desarme sensor	1:10:00	1,17
Quebra trava peneira	0:35:00	0,58
Furo em caixaria	0:25:00	0,42
<i>Tripper</i> desalinhado	0:15:00	0,25
Quebra peneira rotativa	0:00:00	0
Má vedação eletrodutos	0:00:00	0
Falha devido inspeção	0:00:00	0
Desgaste componentes elétricos	0:00:00	0
Correia danificada	0:00:00	0
Configuração inversor/ <i>sofstar</i>	0:00:00	0
<i>Cabo Tripper</i>	0:00:00	0
Aparador desregulado	0:00:00	0

Fonte: Autoria Própria (2023)

Organizando os resultados em forma de gráfico, foi construído o Gráfico de Pareto contido na Figura 11, que apresenta a quantidade de horas das paradas não programadas por modo de falha ocorrido no processo produtivo para o período de outubro/2021 a outubro/2022, após o desenvolvimento da metodologia FMEA.

Figura 11 - Quantidade de Horas de Paradas não Programadas x Modo Geral de Falha - Após FMEA



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.6 Encerramento, após resultados positivos – Etapa 6

Após a última realização da etapa 4, com os resultados positivos apresentados no capítulo anterior, foi realizado o encerramento da pesquisa-ação proposta por este trabalho.

O período analisado para aplicação da FMEA delimitou-se no histórico das paradas dos equipamentos produtivos entre maio/2020 a maio/2021, onde posteriormente, entre abril/2021 e agosto/2021, a metodologia proposta foi aplicada. Finalmente, entre outubro/2021 a outubro/2022, foram apresentados os resultados dos tempos das paradas não programadas para os modos de falhas após o desenvolvimento do plano de ação construído.

A quantidade de horas das paradas não programadas do setor produtivo foi de 114:02 para 20:14, após o desenvolvimento da metodologia FMEA, onde, durante o período anterior ao desenvolvimento deste trabalho houve grande influência de três modos de falhas: Quebra de peneiras rotativas; Desarme de sensor e *Tripper* desalinhado. As paradas ocorridas devido

desarme de sensor ocorreram em sua grande maioria no equipamento CT 08, Correia Transportadora 08, devido à dificuldade em encontrar um posicionamento adequado para seu acionamento, o que ocasionou diversas paradas não programadas acusando falha por embuchamento, influenciado pelo acúmulo de pó no sensor.

Já as falhas causadas pela “Quebra da Peneiras”, ocorreram devido falhas de fabricação do rolo tambor das máquinas de pré-limpeza, como já foi mencionado. O *Tripper* desalinhado foi um acontecimento, em sua maioria, devido ao desgaste das rodas de movimentação do equipamento, rodas estas que já estavam em operação a cerca de 20 anos e não constava inspeção em suas condições em nenhum procedimento. Desta forma, pode-se perceber que as falhas que mais influenciaram nas paradas não programadas dos equipamentos produtivos no período estudado antes da aplicação das ferramentas de análise se deram devido fatores específicos do intervalo analisado e seu tratamento foi pontual.

Mesmo com todos estes pontos levantados, podemos perceber a grande redução no tempo total de paradas não programadas dos equipamentos do setor produtivo, que foi de 114:02 horas para 20:14 horas. Alguns modos gerais de falha surgiram após o estudo, porém foi observado a ausência dos seguintes modos gerais de falha que constavam no histórico anterior ao desenvolvimento da FMEA:

- Aparador desregulado;
- Cabo *Tripper*;
- Configuração inversor/*sofstar*;
- Correia danificada;
- Desgaste componentes elétricos;
- Falha devido inspeção;
- Quebra de peneira rotativa;
- Má vedação eletrodutos.

Outro ponto importante para este trabalho foi a redução do tempo de paradas não programadas devido ao modo de falha “Desarme de sensor”, que caiu de 25:12h para 1:10h após a aplicação das melhorias propostas. As paradas que somaram 1:10h foram paradas para limpeza da parte de acrílico instalada no suporte do sensor de embuchamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões do trabalho

O principal objetivo deste trabalho foi a redução das paradas não programadas dos equipamentos envolvidos no processo produtivo de um armazém de grãos localizado no estado de Goiás. Para atingir este objetivo, este trabalho embasou-se na abordagem da pesquisa-ação e teve seu desenvolvimento realizado em seis etapas. A primeira etapa tratou-se do reconhecimento da problemática e seu intuito foi compreender o cenário atual da empresa objeto do estudo. Após sistematização das informações da base de dados, planilhas e sistemas operacionais, foi identificado que, durante o período maio/2020 a maio/2021, a quantidade de horas totais de paradas não programadas dos equipamentos produtivos foi de 114:02. Com estes tempos organizados por modos gerais de falha, foi aplicado o Gráfico de Pareto para analisar estas paradas e os modos gerais de falha mais significativos no total de paradas não programadas foram identificados, onde os modos de falha elencados foram: Quebra de peneiras rotativas; Desarme de sensor; *Tripper* desalinhado; Furo em caixaria; Correia danificada e Má vedação de eletrodutos.

Ainda na etapa 1, a metodologia FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha) foi aplicada para estes modos de falha elencados pelo Gráfico de Pareto. O desenvolvimento da metodologia foi realizado em conjunto com um representante de cada área da empresa: manutenção, segurança e operação. Após a execução de reuniões e seguindo a bibliografia existente, foi atribuído uma nota para cada modo de falha segundo os seguintes parâmetros: Ocorrência; Detecção e Severidade. Posteriormente, o NPR (Número de Prioridade de Risco), que nada mais é que a multiplicação dos valores atribuídos para os parâmetros citados, foi calculado para cada modo geral de falha e foram criados índices em ordem decrescente destes modos de falha de acordo com os valores de NPR obtidos.

Na etapa 2 foi realizado o planejamento da proposta de melhoria para tratar estes modos de falha, em que, para isto, foi elaborado um plano de ação com a participação dos representantes da manutenção, segurança e operação.

O plano de ação elaborado em conjunto com os colaboradores por meio da FMEA foi executado durante a etapa 3 deste trabalho, entre os períodos de abril/2021 e agosto/2021.

As ações executadas englobaram corretivas, adaptações na parte física dos equipamentos, inclusão de verificações específicas nos planos de manutenção da unidade e tratativas de problemas de fábrica dos equipamentos em conjunto com fornecedor. Uma das

ações implementadas na etapa 3 foi a adequação física da base do suporte do sensor de embuchamento, em que foi preenchido com espuma expansiva com o objetivo de evitar o acúmulo do pó nos arredores do sensor e sua atuação indevida.

Concomitante a execução do plano de ação, foi realizada a etapa 4 do trabalho, que se tratou da análise dos efeitos da proposta implementada, onde, após *feedbacks* dos colaboradores, foi identificado que a espuma expansiva instalada na base do sensor de embuchamento estava se desfazendo, permitindo novamente o acúmulo de pó.

A etapa 5 foi realizada posteriormente e seu embasamento deu-se por meio dos *feedbacks* realizados na etapa 4. Assim, após reuniões com a equipe elétrica da empresa, foi proposta a instalação de uma peça de acrílico entre o topo do suporte do sensor de embuchamento e o sensor, ainda impedindo o acúmulo de pó e mais eficaz que a espuma expansiva, já que se trata de um material rígido e com uma vida útil maior. Todas as demais ações implementadas tiveram *feedbacks* positivos e nenhuma outra adequação fez-se necessária.

Esta adequação sugerida foi implementada com a realização novamente da etapa 3 deste trabalho, onde o sensor readequado foi instalado, em caráter de teste, na Correia Transportadora 08 (CT 08) em agosto/2021.

Em seguida, a etapa 4 foi realizada novamente, sendo realizada uma análise dos efeitos da proposta readequada e implementada na etapa 3. Desta vez, todos os resultados obtidos na etapa 4 foram satisfatórios.

Desta forma, com a obtenção de resultados satisfatórios na etapa 4, a etapa 6 foi realizada, com o encerramento da pesquisa-ação e o comparativo entre os cenários da empresa objeto do estudo, por meio da realização de uma nova aplicação do Gráfico de Pareto a partir das paradas não programadas dos equipamentos produtivos durante outubro/2021 e outubro/2022.

Neste segundo momento, após o desenvolvimento da metodologia FMEA, a quantidade de horas de paradas não programadas do setor produtivo totalizou 20:14 horas.

Sendo assim, analisando os resultados obtidos, pode-se dizer que a aplicação da pesquisa-ação proposta por este trabalho obteve resultados positivos, onde o desenvolvimento da metodologia FMEA auxiliou na redução do tempo total de paradas não programadas dos equipamentos produtivos da unidade estudada, que foi de 114:02 horas para 20:14 horas, otimizando a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos envolvidos na produção.

5.2 Limitações do estudo

A falta de um setor de engenharia de projeto interno na unidade foi uma dificuldade para o desenvolvimento da pesquisa-ação, onde para atender a unidade, somente quando necessário, é enviado um time do setor de projetos para desenvolver as atividades durante um período delimitado. Isto gerou falta de informações mais complexas sobre os equipamentos produtivos instalados no projeto *Retrofit Secagem*.

Outra limitação foi o quadro reduzido dos colaboradores da manutenção, contendo somente cinco colaboradores, a realização de melhorias nos equipamentos é dificultada no quesito agilidade.

Porém mesmo com estas dificuldades, com o auxílio de todos os colaboradores da unidade, foi possível o desenvolvimento deste trabalho.

5.3 Trabalhos futuros

A partir da apresentação dos resultados e das considerações finais desta pesquisa, pode-se perceber a necessidade de desenvolvimento de estudos dentro da área da manutenção da empresa estudada. Para o setor de projetos, sugere-se análises mais complexas e próximas com a realidade particular de cada unidade durante o planejamento de projetos de inovação.

Após a apresentação do plano de ação da FMEA, observamos a necessidade de melhoria nos planos de manutenção da empresa, já que foi a ação mais citada no plano de ação. Desta forma, seria interessante o desenvolvimento de um plano de revisão nos planos de manutenção existentes.

De forma mais pontual, para a falha “Desarme disjuntor”, responsável por 7:20 horas de paradas não programadas no cenário pós FMEA, recomenda-se o estudo das capacidades elétricas dos disjuntores relatados no histórico de falha.

Por último, com o objetivo de uma melhoria contínua na confiabilidade dos equipamentos, sugere-se a continuidade da aplicação da ferramenta Gráfico de Pareto e da metodologia FMEA no processo produtivo em períodos pré-determinados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial–Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. Saraiva Educação SA, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462-TB116: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BELHOT, R. V; CAMPOS, F. C. Relações entre manutenção e engenharia de produção: uma reflexão. **Production**, v. 5, p. 125-134, 1995.

CALIL, L. F. P. *et al.* **Metodologia para gerenciamento de risco: foco na segurança e na continuidade**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92211>. Acesso em: 16 nov. 2022.

CASTRO, Oberdan Vinícius Theves de et al. **Aplicação de plano de manutenção preventiva em caldeira mista com auxílio da ferramenta FMEA**. Monografia (Engenharia Automotiva). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/237671/TCC%20OberdanCastro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 jan. 2023.

CAUCHICK, M. P. A. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CEPEA. PIB do agronegócio - **ALTA DOS CUSTOS PRESSIONA PIB DO AGRONEGÓCIO NO PRIMEIRO SEMESTRE RECUO DE 2,48%**. CEPEA, 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/PIB-do-Agronegocio-20set22-2.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2022.

CÉSAR, F. I. G. **Ferramentas básicas da qualidade**. São Paulo: biblioteca24horas, 2011. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Ferramentas_B%C3%A1sicas_da_Qualidade/CniEMu69GTgC?hl=ptBR&gbpv=1&dq=Ferramentas+b%C3%A1sicas+da+qualidade+2011+C%C3%89SAR,+F.+I.+G.&printsec=frontcover. Acesso em: 23 nov.2022.

CUNHA, G. D. **Um panorama atual da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2002.

DE SOUZA COELHO, F. P; DA SILVA, A. M; MANIÇOBA, R. F. Aplicação das ferramentas da qualidade: estudo de caso em pequena empresa de pintura. **Refas-Revista Fatec Zona Sul**, v. 3, n. 1, p. 31-45, 2016.

FLEURY, A. O que é Engenharia de Produção? In: BATALHA, M. O. (Org.). **Introdução à Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

GIL, A. C. *et al.* **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GUERREIRO, L. F.; MATTA, J. P. R.; MACEDO, W. **Agroindústria na Bahia: diagnóstico e perspectivas da cadeia produtiva**. Agência de Fomento do Estado da Bahia: 2004.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção Função Estratégica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Quality, 2009. Coleção Manutenção, Abraman

MARTINS, E. R. ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Gestão de qualidade, produção e operações. E-book. Editora Científica Digital, 2021.

McKAY, J.; MARSHALL, P. The Dual Imperatives of Action Research. **Information Technology & People**, v. 14, n. 1, p. 46-59, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/09593840110384771>. Acesso em: 16 nov. 2022.

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

PRODANOV, Cleber Cristiano. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

POSSO, R. **Análise dos fatores de influência na aplicação do “FMEA de processo” em produtos estampados e sugestão de melhoria**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Mecânica e de Materiais – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://silو.tips/download/analise-dos-fatores-de-influencia-na-aplicacao-do-fmea-de-processo-em-produtos-es>. Acesso em: 25 nov. 2022.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade, Universidade Federal de São Carlos, 2006. Disponível em: <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2022.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, set./dez. 2005, p. 443-466. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ep/a/3DkbXnqBQyq5bV4TCL9NSH/%3Fformat%3Dpdf%26lang%3Dpt&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 25 nov. 2022.

VIANA, H. R. G. **PCM - Planejamento e Controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva: Melhores práticas para eliminar falhas nos equipamentos e maximizar a produtividade**. Nova Lima: Falconi, 2014.