



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

WILLIAM GABRIEL CORREIA DE SOBRAL

GESTÃO DA MANUTENÇÃO: aplicação da FMEA e 5W2H para proposição de melhorias e redução do tempo de paradas no processo em uma indústria do setor automotivo

Caruaru
2023

WILLIAM GABRIEL CORREIA DE SOBRAL

GESTÃO DA MANUTENÇÃO: aplicação da FMEA e 5W2H para proposição de melhorias e redução do tempo de paradas no processo em uma indústria do setor automotivo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Produção.

Orientador (a): Thalles Vitelli Garcez

Caruaru
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Sobral, William Gabriel Correia de.

Gestão da manutenção: aplicação da FMEA e 5W2H para proposição de melhorias e redução do tempo de paradas no processo em uma indústria do setor automotivo / William Gabriel Correia de Sobral. - Caruaru, 2023.

49 p. : il., tab.

Orientador(a): Thalles Vitelli Garcez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Engenharia de Produção, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. FMEA. 2. Gestão da manutenção. 3. PDCA. 4. 5W2H. 5. Indústria automobilística. I. Garcez, Thalles Vitelli. (Orientação). II. Título.

670 CDD (22.ed.)

WILLIAM GABRIEL CORREIA DE SOBRAL

GESTÃO DA MANUTENÇÃO: aplicação da FMEA e 5W2H para proposição de melhorias e redução do tempo de paradas no processo em uma indústria do setor automotivo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em: 20/09/2023

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Lucimário Gois de Oliveira Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Renata Maciel de Melo (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a todos aqueles que acreditaram em mim, que me deram forças e me auxiliaram nessa jornada que foi desafiadora, cheia de aprendizados e evolução.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser meu guia, meu refúgio e minha base para chegar até aqui. Pois Ele sabe de tudo que foi necessário e o quão desafiador foi para mim essa trilha percorrida.

À minha família, minha mãe, meu pai e meu irmão por sempre fazerem de tudo para que eu fosse forte, persistisse e alcançasse meus objetivos. Saibam que sem vocês eu não teria conseguido.

Aos meus amigos, em especial Allan, meu conterrâneo, que foi aquele que esteve comigo desde o ensino médio. E à minha namorada e melhor amiga, Samara, que foi e é uma das pessoas que mais me deu força, acreditou em mim e estava ao meu lado em todos os momentos dessa trajetória.

Por fim, agradeço ao meu orientador Thalles, que sempre me deu auxílio, me acompanhou no estágio e agora no TCC e a todos aqueles que tiveram participação direta e indireta nessa conquista e são responsáveis por eu ser quem sou hoje, professores, amigos e familiares.

RESUMO

Cada vez mais as empresas têm buscado conhecer seus processos e formas que ajudem a melhorá-lo, utilizando ferramentas e metodologias alinhadas com a melhoria contínua, com isso o presente trabalho buscou identificar os principais modos de falha em uma linha de produção de uma indústria do setor automotivo, tendo como objetivo propor um plano de ação que sirva como ferramenta para agir preventivamente no processo, buscando reduzir ou eliminar as falhas registradas. Para isso, foi feito o levantamento dos equipamentos contidos na linha escolhida, priorizando os equipamentos por meio do gráfico de Pareto através dos tempos de parada. Em seguida, foi utilizada a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) para análise dos problemas registrados, cálculo do NPR (Número de Prioridade de Risco), nova priorização a partir dos valores do NPR e por fim, criação do plano de ação utilizando o 5W2H. A metodologia do PDCA serviu como base para esse estudo, uma vez que a partir dele podemos fazer a gestão da melhoria contínua de produtos e processos desde o planejamento até a implantação das melhorias propostas e posteriormente o acompanhamento dos resultados obtidos. Com o estudo, foi possível identificar a importância da manutenção para disponibilidade, produtividade e qualidade do processo, sendo de grande valia a identificação antecipada de possíveis falhas e correção daquelas que já tiveram registros de ocorrência.

Palavras-chave: FMEA; gestão da manutenção; PDCA; 5W2H; indústria automobilística.

ABSTRACT

Increasingly, companies are seeking to understand their processes and ways to improve them, using tools and methodologies aligned with continuous improvement. With this in mind, this study sought to identify the main failure modes on a production line in an automotive industry, with the aim of proposing an action plan that would serve as a tool to act preventively in the process, seeking to reduce or eliminate the failures recorded. To do this, a survey was carried out of the equipment on the chosen line, prioritizing the equipment using the Pareto chart based on downtime. Next, the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) tool was used to analyze the problems recorded, calculate the RPN (Risk Priority Number), re-prioritize based on the RPN values and finally, create the action plan using 5W2H. The PDCA methodology served as the basis for this study, since it enables us to manage the continuous improvement of products and processes, from planning to implementing the proposed improvements and then monitoring the results obtained. With the study, it was possible to identify the importance of maintenance for the availability, productivity and quality of the process, and it is of great value to identify possible failures in advance and correct those that have already occurred.

Keywords: FMEA; maintenance management; PDCA; 5W2H; automotive industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Resultados por tipo de manutenção	20
Quadro 1 –	Etapas de implementação da FMEA	21
Quadro 2 –	Critério de priorização para tomada de decisão	26
Figura 2 –	Forma geral do gráfico de Pareto	28
Quadro 3 –	Método 5W2H	29
Figura 3 –	Ciclo PDCA	30
Figura 4 –	Aplicação do estudo de caso através do Ciclo PDCA	34
Gráfico 1 –	Gráfico de Pareto para priorização dos equipamentos	36
Gráfico 2 –	Gráfico de Pareto para priorização dos modos de falha	37
Figura 5 –	Fluxograma de implementação de ações para falhas	40
Figura 6 –	Evolução do processo com PDCA	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Critério de pontuação para Severidade	23
Tabela 2 –	Critério de pontuação para Ocorrência	24
Tabela 3 –	Critério de pontuação para Detecção	25
Tabela 4 –	Máquinas, modos de falha e tempo para correção	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIAG	Automotive Industry Action Group
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NPR	Número de Prioridade de Risco
RPN	Risk Priority Number
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Geral	13
1.1.2	Específicos	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	CONCEITO DE MANUTENÇÃO	15
2.2	GESTÃO DA MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE NA INDÚSTRIA	15
2.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO	16
2.3.1	Manutenção Corretiva	16
2.3.2	Manutenção Preventiva	17
2.3.3	Manutenção Preditiva	18
2.3.4	Manutenção Detectiva	18
2.3.5	Engenharia de Manutenção	19
2.4	FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	20
2.4.1	Etapas para aplicação da FMEA	21
2.5	MÉTODO DE PARETO	27
2.6	5W2H	28
2.7	CICLO PDCA	29
3	METODOLOGIA	31
4	ESTUDO DE CASO	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – FMEA	48
	APÊNDICE B – 5W2H	49

1 INTRODUÇÃO

Com a concorrência cada vez maior entre as indústrias, a qualidade tem atuado como papel fundamental, tendo impacto direto na qualidade dos produtos, confiabilidade e disponibilidade dos processos, fazendo com que as especificações exigidas pelos seus clientes sejam atendidas e gerando valor para seus produtos e sua marca. Cada segmento exige uma abordagem diferente, mas tendo o mesmo objetivo de conseguir superar seus concorrentes.

Segundo Campos (2009), o objetivo de uma organização é buscar atender às necessidades dos acionistas e stakeholders em geral (ou seja, clientes, funcionários e gestores). Assim, para a gestão de um empreendimento comercial, independentemente do seu ramo de atividade, os seus objetivos devem ser a satisfação pessoal de todos aqueles que procuram os seus produtos e/ou serviços.

A FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise dos Efeitos e Modos de Falha), por ser uma ferramenta simples de ser aplicada é utilizada na gestão da qualidade para desenvolvimento de produtos e processos. Ela busca evitar, por meio de análises, falhas em potencial que possam afetar de forma negativa o produto e/ou processo. Esta metodologia é derivada da teoria da Engenharia de Confiabilidade e visa melhorar a confiabilidade dos produtos, e, portanto, reduzir a taxa de falhas de produtos, processos e serviços (Toledo, 2002).

Além de auxílio a qualidade, a FMEA é muito importante em apoio a gestão da manutenção e sua aplicação. De acordo com Xenos (2014), a gestão da qualidade total dos meios de produção (ou seja, equipamentos) é realizada através da gestão da manutenção. Portanto, é crucial utilizar ferramentas e técnicas de alta qualidade na manutenção, o que pode levar a melhorias como redução do tempo de manutenção, menos falhas e tempo perdido para correção.

Para Kardec e Nascif (2009), as atividades envolvidas no processo produtivo são: engenharia, produção e manutenção. Também contido em sua obra, Kardec e Nascif (2009) dizem que a manutenção contribui para o faturamento da empresa, pois é responsável por aumentar a disponibilidade e confiabilidade de equipamentos. Com isso, pode ser observado a importância que tem a utilização de ferramentas, metodologias e uma boa gestão da manutenção para a qualidade dos produtos e processos na indústria.

O presente trabalho busca de forma simples e objetiva mostrar a aplicação da FMEA para gestão da manutenção em uma linha de produção em uma indústria do setor automotivo, com o objetivo de identificar os principais modos de falha responsáveis pelas paradas de linha com perda de tempo. A FMEA por si só não é capaz de propor planos de melhoria. Dessa forma, foram utilizadas ferramentas e metodologias que fazem esse papel, sendo o Princípio de Pareto para priorização dos equipamentos e falhas analisadas, 5W2H para proposição de ações de forma simples e objetivas e o PDCA servindo como base para aplicação da melhoria contínua.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Realizar aplicação do Princípio de Pareto, FMEA e 5W2H, utilizando o PDCA como base para proposição de melhorias na gestão da manutenção em uma indústria do setor automotivo, buscando identificar pontos de atenção para execução das manutenções dos equipamentos, com o objetivo de reduzir interrupções por falhas nos equipamentos, gerando uma maior disponibilidade dos equipamentos.

1.1.2 Específicos

- Aplicar o gráfico de Pareto para definir quais equipamentos serão analisados;
- Analisar os modos de falha dos equipamentos escolhidos, com o objetivo de verificar se há padrões e como eles são tratados atualmente;
- Propor melhorias na gestão da manutenção por meio de um plano de ação;
- Comparar o cenário de manutenção atual com o proposto e demonstrar os resultados que podem ser obtidos em caso da aplicação do plano.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho traz a aplicação da metodologia FMEA em uma indústria automobilística, levando em consideração que é uma ferramenta importante para produção de um planejamento buscando a prevenção de falhas e paradas de linha para execução de manutenções corretivas. Com ela, é possível criar um plano de ação que irá focar nas principais causas e modos de falhas que já ocorreram anteriormente.

Com isso, é possível melhorar a confiabilidade do equipamento, garantir a produtividade e qualidade do produto.

Banduka, Veza e Bilic (2016), ressaltam que o objetivo principal da FMEA é identificar possíveis falhas, avaliar suas causas e efeitos e propor soluções para prevenir sua ocorrência. O objetivo final é obter produtos que não apresentem falhas durante o processo de produção e/ou na sua utilização pelo cliente.

A FMEA em sua forma tradicional tem se mostrado uma das mais importantes ferramentas de prevenção em um sistema, projeto, processo ou serviço, evitando que falhas e erros ocorram e impactem os clientes (LIU et al., 2013).

Atualmente na empresa onde foi feito o estudo a FMEA é utilizada para novos projetos, mas neste trabalho o objetivo principal é a escolha de equipamentos a partir de uma amostra na linha de produção, com o intuito de analisar seus principais modos de falha, sua ocorrência e propor um plano de ação direcionado para ele.

A aplicação dessa ferramenta busca trazer uma maior disponibilidade, menos interrupções por falhas ou panes, fazendo com que os equipamentos estejam em seu pleno funcionamento e executando a tarefa conforme especificado pelo fabricante, obtendo ações de melhoria e aumento da qualidade do produto, e, conseqüentemente segurança e satisfação do cliente final.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica dos temas abordados nesta pesquisa, como conceitos básicos da manutenção, manutenção na indústria automobilística, Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA), método de Pareto para escolha dos equipamentos e priorização das ações, utilização do 5W2H para proposição de planos de ação, *checklists* para acompanhamento dos planos de manutenção com o objetivo de manutenibilidade do equipamento e o PDCA que serviu como a metodologia base para este estudo de melhorias no processo de produtivo.

2.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994), a manutenção pode ser definida como sendo a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Para Kardec e Nascif (2010), a missão da manutenção é aumentar a disponibilidade e confiabilidade do equipamento e instalações, ocasionando em uma melhor qualidade do atendimento, segurança e preservação do meio ambiente, levando em conta a relação custo x benefício.

As atividades de manutenção em um sentido restrito devem fazer um equipamento retornar as suas condições de base. Mas, em um sentido amplo a manutenção deve envolver ações de melhoria no equipamento para que ele tenha suas condições originais modificadas com o objetivo de evitar a ocorrência ou reincidência de falhas, reduzindo custos e aumentando a produtividade. Essas ações devem ser tomadas no dia a dia com o intuito de mitigar eventuais falhas ou anomalias detectadas no equipamento, seja uma observação dos operadores ou da equipe responsável pela manutenção (Xenos, 2004).

A organização da manutenção deve ser baseada principalmente na metodologia, ser bem-preparada, objetiva e levar em consideração todos os elementos da instalação, levando em conta todos os detalhes da organização e métodos usados para obter lucros. Dessa forma, é importante não apenas que sejam reduzidos os custos, mas também, implementá-los mais eficientemente (Ohno, 1997).

2.2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE NA INDÚSTRIA

Com o avanço cada vez mais rápido das tecnologias, a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos entram como pontos fundamentais para a indústria. Segundo Lafraia (2001), a confiabilidade pode ser definida como sendo o nível de confiança em um determinado componente, dispositivo ou sistema de executar as funções essenciais para as quais foi projetado e instalado por um período de tempo predeterminado e sob condições operacionais padronizadas. Com relação a disponibilidade, Viana (2002) diz que, equipamentos cada vez mais avançados e a alta produtividade, aumenta a necessidade de disponibilidade, custos de inatividade ou hipoatividade tornaram-se altos.

A gestão da manutenção é o direcionamento e a organização dos recursos para controlar a disponibilidade e o desempenho das plantas industriais em um determinado nível. A manutenção é uma função de uma organização que opera em paralelo com a produção. Portanto, além de sua função coadjuvante, também tem o papel de obter e manter uma vantagem competitiva. Portanto, todas as partes interessadas relevantes devem estar cientes do papel da manutenção na obtenção de um ambiente de negócios sustentável e competitivo (Barroso; Andrade, 2012). Segundo Hatakeyama (2005), a política certa para lidar com qualquer tipo de falha é aumentar o lucro do ciclo de vida, identificando e analisando diferentes critérios na forma de reduzir as causas de falhas.

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Neste capítulo, serão apresentados os tipos de manutenção e as diferentes formas de aplicação de cada uma delas. Com o intuito de entender em quais cenários qual a melhor a ser aplicada, buscando sempre a redução de custos, maior confiabilidade e conseqüentemente maior disponibilidade.

2.3.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é aquela que é executada quando o equipamento apresenta algum tipo de falha ou pane, podendo ela ser planejada ou não. Assim, essa manutenção só será realizada após a interrupção do equipamento, gerando parada da produção e ocasionando custos por falta de produção e com a manutenção em si.

De acordo com Kardec e Xavier (1998), a manutenção corretiva não planejada pode ser descrita como as correções não programadas como aquelas feitas ao acaso, sem tempo para preparação do serviço. Dessa forma, deve ser reduzido ao nível mais baixo possível, pois o aumento de sua incidência significa maiores interrupções e perdas de produção não planejadas, que quase sempre significam altos custos diretos e indiretos e, às vezes, consequências ainda mais graves para pessoas, instalações e meio ambiente. Portanto, quando a maioria das ações corretivas propostas pela organização de manutenção se enquadram na categoria de não planejadas, elas são controladas pelos equipamentos cujo desempenho empresarial é insuficiente para atender às necessidades e requisitos necessários de produção.

Segundo Moraes (2010), a manutenção corretiva planejada se dá pela correção por meio de monitoramento preditivo, pela detecção e até mesmo decisões de gerenciamento para operar antes que ocorra uma falha. Por ser planejado, costuma ser mais barato, seguro e rápido. Desse modo, ocorrerão menos paradas na linha de produção para a correção do problema, acarretando menos custos, maior confiabilidade e a garantia da produtividade do equipamento.

2.3.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é aquela que é realizada antes que o equipamento apresente qualquer tipo de falha ou erro em seu funcionamento. Esse tipo de manutenção geralmente exige um maior entendimento dos responsáveis sobre o funcionamento do equipamento, estipulando o intervalo de tempo em que deve haver intervenção de maneira preventiva. O fabricante do produto também pode indicar o momento em que é necessária a manutenção do equipamento em seus manuais técnicos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994), diz que a manutenção preventiva é a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. Em complemento, Kardec e Nascif (2012) diz que a manutenção preventiva se trata de uma ação que tem como objetivo mitigar ou evitar uma falha ou a redução de desempenho do equipamento de acordo com um plano previamente estabelecido e com intervalos de tempo predeterminados.

2.3.3 Manutenção Preditiva

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994), a manutenção preditiva é aquela que pode garantir a qualidade de serviço exigida, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise do equipamento, utilizando supervisão centralizada ou meios de amostragem, reduzindo ao mínimo as manutenções preventivas e diminuição das manutenções corretivas.

São “tarefas de manutenção que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, medições ou controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha” (Viana, 2002, p.12). Por ser necessária tecnologia avançada de análise para detecção de possíveis falhas ou quebras, a manutenção preditiva acaba se tornando uma das modalidades mais caras. Além disso, nela peças são trocadas antes de atingirem o limite do seu ciclo de vida. Outro problema destacado por Mirshawka (1991) nesse tipo de manutenção é a seleção de máquinas que farão parte do universo-alvo a ser monitorado, uma vez que não é possível incluir todas as máquinas envolvidas na produção, o que ocasionaria em custos elevados.

Com isso, pode-se dizer que a manutenção preditiva trará benefícios em relação a paradas da produção para correção de falhas e conseqüentemente atrasos em pedidos e na qualidade final do produto. Mas, ela deve ser utilizada a partir de um estudo mais aprofundado dos equipamentos envolvidos no sistema produtivo, fazendo a seleção daqueles mais críticos e fazendo o acompanhamento deles por meio de análises e formas de monitoramento que indiquem a possível falha da máquina antes que ela aconteça.

2.3.4 Manutenção Detectiva

Kardec e Nascif (2009), sintetizam esse conceito em sua obra como um conjunto de operações realizadas em sistemas de proteção, comando e controle para identificar falhas sutis para operações e manutenção. Ainda em complemento os autores dizem que a identificação dessas falhas é essencial para garantia da confiabilidade.

Segundo Souza (2008), o objetivo dessa estratégia é aumentar a confiabilidade dos equipamentos, pois se caracteriza pela intervenção de sistemas de proteção para detecção de falhas ocultas indetectáveis pelos operadores.

Esse tipo de falha acaba ocasionando as falhas perceptíveis, por isso a importância de se detectar uma falha, por mais sutil que seja antes que ela aconteça. Dessa forma, é possível aumentar a confiabilidade do equipamento, processo e sistema como um todo.

2.3.5 Engenharia de Manutenção

Segundo Kardec e Nascif (2009), a Engenharia de Manutenção serve como suporte técnico da manutenção, buscando consolidar a rotina e implantar a melhoria. Sendo as principais atribuições da Engenharia de Manutenção as seguintes:

- Aumentar a confiabilidade;
- Aumentar a disponibilidade;
- Melhorar a manutenibilidade;
- Aumentar a segurança;
- Eliminar problemas crônicos;
- Solucionar problemas tecnológicos;
- Melhorar a capacitação do pessoal;
- Gerir materiais e sobressalentes;
- Participar de novos projetos (interface com a engenharia);
- Dar suporte à execução;
- Fazer análise de falhas e estudos;
- Elaborar planos de manutenção e inspeção e fazer sua análise crítica;
- Acompanhar os indicadores;
- Zelar pela documentação técnica.

Kardec e Nascif (2009) também mostram de forma gráfica os resultados de cada tipo de manutenção. A Figura 1 traz os exemplos das manutenções: corretiva, preventiva, preditiva e Engenharia de Manutenção.

Figura 1 - Resultados por tipo de manutenção



Fonte: Kardec e Nascif (2009)

A partir da análise do gráfico acima, podemos identificar que a Engenharia de Manutenção acaba sendo aquela em que traz os melhores resultados, pois nela são utilizados dados para a realização da manutenção preditiva, a fim de se ter menos intervenções desnecessárias, gerar maior confiabilidade e disponibilidade do equipamento.

2.4 FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)

De acordo com Kardec e Nascif (2012), a FMEA é uma ferramenta que auxilia na identificação e priorização de possíveis modos de falha em equipamentos, sistemas ou processos. FMEA é um sistema lógico que classifica falhas potenciais e recomenda ações preventivas. Este é um processo formal onde especialistas dedicados analisam falhas e as resolvem.

Para Rodrigues (2004), a FMEA se trata de um método que é estruturado e pode ser documentado, ajudando a prevenir falhas, analisar os riscos e a criticidade do processo, buscando inibir as falhas através da identificação das causas e efeitos com ajuda de mecanismos ou ações.

A FMEA surgiu por volta de 1949 para analisar falhas nos sistemas e equipamentos do exército americano. Nos anos 60, passou por um desenvolvimento e aprimoramento feito pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration* – Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço). Na indústria automobilística ela

começou a ser utilizada a partir de 1976, sendo fundamental para empresas de fornecimento desse setor.

Em um ambiente industrial, a FMEA pode ser entendida como uma abordagem sistemática que permite a identificação de possíveis falhas em um sistema, projeto, processo ou serviço, buscando reduzir ou eliminar os riscos associados antes que ocorram falhas (Bastos, 2006).

Rodrigues (2004), diz que a FMEA tem como foco identificar, delimitar e explicar possíveis falhas de um processo, projeto ou serviço, quais as causas e seus efeitos, possibilitando a criação de ações que possam eliminá-los ou minimizá-los, através de uma prevenção estruturada, realizado com prazo e por um profissional capacitado.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a FMEA tem os seguintes objetivos:

- (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo;
- (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas; e
- (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

2.4.1 Etapas para aplicação da FMEA

Para a aplicação da FMEA, é necessário que se saiba as causas das falhas, seus principais modos de falha, o que causou e/ou causa sua ocorrência e qual o impacto que isso gera no processo. O Quadro 1 traz os 7 passos propostos pelo Manual de FMEA AIAG (2008) para implementação da FMEA.

Quadro 1 - Etapas de implementação da FMEA

Passos	Descrição
1	Planejamento e preparação
2	Análise da estrutura
3	Análise de função
4	Análise de falha
5	Análise de risco
6	Otimização
7	Documentação dos resultados

Fonte: O autor (2023)

Passo 1: Planejamento e preparação

Segundo o Manual FMEA AIAG (2008), a etapa de planejamento e preparação tem como objetivo a descrição de quais produtos ou processos serão inclusos ou excluídos da análise na aplicação da FMEA. Aqui serão levados em conta o(s) processo(s) que têm a prioridade mais alta.

Passo 2: Análise da estrutura

É importante fazer o mapeamento do processo ou máquina/equipamento que será analisado, levando em conta as etapas realizadas desde o início até o final. É interessante a utilização de um fluxograma do processo para descrição do processo, detalhando suas etapas, incluindo características do processo, variação, características do produto, requisitos e sua expedição (AIAG, 2008; STAMATIS, 2003).

Passo 3: Análise de função

Na análise de função deve haver o detalhamento das funções do processo ou equipamento escolhido para aplicação da FMEA, podendo existir uma ou mais funções para cada item/equipamento selecionado (AIAG, 2008).

Passo 4: Análise de falha

Para Fernandes (2005), a FMEA serve para avaliar a severidades das falhas, descrevendo como elas podem ocorrer, como podem ser detectadas antecipadamente antes de os clientes fazerem reclamações.

Nesta etapa, o objetivo é a identificação dos modos e os efeitos de falha, com o intuito de evidenciar suas relações, descrevendo o modo de falha, sua causa, se está relacionada a: mão de obra, máquina, material e/ou meio ambiente e permitir que seja avaliado o risco de sua ocorrência. Sendo descritos da forma que seria percebido pelo cliente ou experimentado por ele (AIAG, 2008).

Passo 5: Análise de risco

A partir da avaliação da Severidade, Ocorrência e Detecção é possível estimar o risco para priorização de ações. Essas pontuações são subjetivas, dessa forma mesmo que exista um processo idêntico, mas que é acompanhado por outra equipe, não se deve utilizar as pontuações designadas pela outra equipe (AIAG, 2008).

No presente trabalho foi abordada uma escala de 1 a 10 como referência para os números de Severidade, Ocorrência e Detecção. O manual da FMEA recomenda que seja utilizada uma tabela como sugestão (IQA, 2008). Mas isso não significa que não possa ser utilizada uma escala de 1 a 5, por exemplo. Isso vai depender da equipe

responsável pela aplicação da FMEA em relação a escala escolhida, lembrando que essa adaptação terá impacto direto na forma de priorização das falhas, pois se a escala diminuir, deve-se também reduzir na mesma proporção os valores para prioridade das ações.

A seguir serão explicados cada um dos fatores para o cálculo do RPN de acordo com Moura (2000):

- **Severidade (S):** a severidade serve para avaliação da gravidade do modo de falha e ela deve ser avaliada em uma escala de 1 a 10, onde quanto maior o número, maior será a gravidade do problema. Levando em conta os efeitos negativos que essa falha poderá trazer para o cliente.

Para Palady (1997), para as empresas que usam a FMEA internamente, as falhas com estimativa de severidade de 9 pontos ou mais são consideradas de forma especial e devem ser priorizadas para tomada de ações.

A Tabela 1 mostra a pontuação para a severidade do modo de falha.

Tabela 1 – Critério de pontuação para a Severidade

Efeito	Critério	Índice de Severidade
Perigoso e sem aviso prévio	Quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto sem aviso prévio	10
Perigoso e com aviso prévio	Quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto com aviso prévio	9
Muito alto	Produto/Item sem operação, perdendo suas funções primárias	8
Alto	Produto/Item com operação, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Produto/Item com operação, mas com nível de conforto/conveniência baixo. Cliente sente desconforto.	6
Baixo	Produto/Item com operação, mas com nível de conforto/conveniência reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito Baixo	Forma e acabamento do item não conformes. O defeito é notado pela maioria clientes.	4
Menor	Forma e acabamento do item não conformes. O defeito é notado por alguns clientes.	3

Muito menor	Forma e acabamento do item não conformes. O defeito é notado por clientes acurados.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Fonte: Adaptado de Moura (2000)

• **Ocorrência:** É utilizada uma escala de 10 pontos que, segundo Moura (2000), é a descrição do potencial da falha vir a ocorrer, sendo relativa e podendo não refletir a ocorrência de forma real, pois não leva em consideração os controles responsáveis pela detecção das falhas.

A melhor maneira de determinar a pontuação de ocorrência é por meio do histórico de falhas do processo. Se nenhum banco de dados estiver disponível, a equipe deve estimar a probabilidade de a falha ocorrer (Mcdermott; Mikulak; Beauregard, 2009).

A Tabela 2 mostra a pontuação para a ocorrência do modo de falha.

Tabela 2 - Critério de pontuação para a Ocorrência

Efeito	Taxa de falhas possíveis	Índice de Ocorrência
Muito alta: A falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	≥ 1 em 3	9
Alta: Falhas frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2000	4
Baixa: Falhas isoladas	1 em 15000	3

	1 em 150000	2
Improvável: A falha improvável	≤ 1 em 1500000	1

Fonte: Adaptado de Moura (2000)

• **Detecção:** A detecção é a capacidade dos controles disponíveis detectar uma falha antes que ela aconteça, quando maior for a dificuldade de detecção, maior deverá ser seu índice de detecção. O Manual de FMEA AIAG (2008) diz que a detecção da falha serve para conduzir e desenvolver ações corretivas ou contramedidas para o modo de falha.

A Tabela 3 mostra a pontuação para a detecção do modo de falha.

Tabela 3 - Critério de pontuação para a Detecção

Detecção	Critério	Índice de Detecção
Quase impossível	Não há um controle disponível para detecção do modo de falha	10
Muito remota	Probabilidade muito remota dos controles disponíveis detectarem o modo de falha	9
Remota	Probabilidade remota dos controles disponíveis detectarem o modo de falha	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de os controles disponíveis detectarem o modo de falha	7
Baixa	Probabilidade baixa dos controles disponíveis detectarem o modo de falha	6
Moderada	Probabilidade moderada dos controles disponíveis detectarem o modo de falha	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta dos controles disponíveis detectarem o modo de falha	4
Alta	Probabilidade alta dos controles disponíveis detectarem o modo de falha	3
Muito alta	Probabilidade muito alta dos controles disponíveis detectarem o modo de falha	2
Quase certamente	Há quase certeza que os controle atuais irão detectar o modo de falha	1

Fonte: Adaptado de Moura (2000)

• **Cálculo do RPN:** Para cálculo do RPN utiliza-se as notas dadas para Severidade, Ocorrência e Detecção dadas para o modo de falha analisado, sendo resultado do produto desses índices, desta forma:

$$\text{RPN} = \text{Severidade (S)} \times \text{Detecção (D)} \times \text{Ocorrência (O)} \quad \text{Eq.(1)}$$

Em uma pesquisa feita por Posso (2007), ele fala que o *Risk Priority Number* (RPN) ou em português Número de Prioridade de Risco (NPR), se dá através da multiplicação dos fatores de Severidade, Ocorrência e Detecção, com esse número calculado é possível ordenar as prioridades das ações. Para Palady (1997), o NPR serve para categorização das falhas.

• **Priorização através do RPN:** A priorização se dará através do cálculo do RPN, onde devem ser priorizados os modos de falha com valor maior. Segundo o manual FMEA da QS9000 (IQA, 2002), ações devem ser definidas para modos de falha com valores acima dos 125 pontos ou severidade igual a 10 pontos, no entanto muitas montadoras da indústria automotiva têm buscado ações para contenção de modos de falha com risco acima de 50 pontos.

O Quadro 2 mostra uma classificação para priorização das ações.

Quadro 2 - Critério de priorização para tomada de decisão

Critério de priorização para tomada de ação	Prioridade	Índice de Risco
Item vulnerável e importante. Requer ações imediatas ou preventivas	Prioridade 0	Alto (acima de 100)
Item importante e vulnerável. Necessita de ações corretivas ou preventivas em curto prazo	Prioridade 1	Médio (entre 50 e 100)
Item pouco vulnerável. Possibilidade de serem tomadas ações corretivas ou preventivas em longo prazo	Prioridade 2	Baixo (entre 1 e 50)

Fonte: Adaptado de Palady (1997)

Passo 6: Otimização

Segundo o Manual de FMEA AIAG (2019), esta etapa serve para proposição de ações para mitigar os riscos e avaliação da eficácia de cada uma delas, buscando reduzir riscos, prazos, documentação das ações e melhoria nos processos para identificação e prevenção dos modos de falha.

Para Moura (2000), as ações recomendadas servem para redução da probabilidade de ocorrência, sendo indicadas revisões do processo. A severidade só terá redução se houver alteração no processo e/ou projeto. Já para aumento da probabilidade de detecção é importante a revisão no processo.

Passo 7: Documentação dos resultados

Para o Manual de FMEA AIAG (2019), a documentação das análises feitas e seus resultados têm como objetivo a elaboração de um relatório contendo as informações das ações tomadas para correção do modo de falha, sua eficácia e um novo cálculo do RPN após a implementação dessas ações.

2.5 MÉTODO DE PARETO

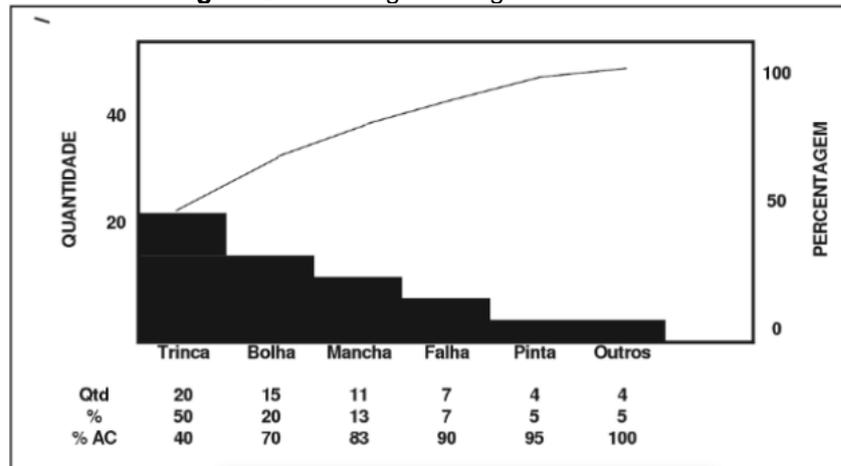
De acordo com Paladini (1994), o Diagrama de Pareto trata-se de uma ferramenta da qualidade que utiliza de forma gráfica o impacto dos elementos avaliados, facilitando a visualização daqueles que são responsáveis pela maior parte dos problemas que podem afetar as empresas em relação a venda, falhas, defeitos, reclamações e receita.

Segundo César (2011), o gráfico é uma comprovação para o Princípio de Pareto, onde diz que 80% dos impactos ocorridos são causados por 20% dos problemas que aconteceram.

Problemas relacionados à qualidade se traduzem em custos, alguns poucos vitais que trazem grandes prejuízos para a empresa, mas poucos problemas. Os muitos insignificantes/triviais, embora a quantia seja grande, trazem uma perda que não é tão significativa. Pareto estabelece uma relação em que 80% representa os poucos vitais e 20% representa os muitos triviais (Werkema, 1995).

A Figura 2 a seguir mostra uma forma genérica do gráfico de Pareto.

Figura 2 - Forma geral do gráfico de Pareto



Fonte: César (2011)

Em complemento, César (2011) fala que cada barra da Figura 2 representa a causa de um defeito que ocorreu na amostra analisada, onde seu tamanho equivale a número de ocorrências no total analisado, tendo uma disposição em ordem decrescente e uma linha que mostra o acumulado do percentual de cada defeito em relação ao total.

2.6 5W2H

De acordo com o SEBRAE (2022):

“A ferramenta 5W2H é um checklist das atividades preventivas e corretivas que precisam ser desenvolvidas dentro de uma empresa, organizado de forma prática, simples, eficiente e clara. Para isso, envolve líderes e colaboradores para identificação de necessidades e propostas de soluções aos objetivos que se deseja alcançar.”

Para Polacinski (2012), o 5W2H além de servir como uma função de mapeamento das atividades, a ferramenta também inclui planos de ação para atividades pré-determinadas que precisam ser formuladas de forma clara e objetiva. Também tem como objetivo principal responder a sete perguntas e organizá-las.

Segundo Lucinda (2016), o 5W2H se trata das iniciais de 7 perguntas em inglês que devem ser respondidas, com o objetivo de deixar bem claro que deve ser feito de acordo com o plano de ação. Assim, será possível saber o que será feito, quando será feito, o porquê se deve fazer, onde será feito, quem serão os responsáveis por fazer, como farão e quanto isso custará.

A Quadro 3 abaixo exemplifica de forma genérica como se dar a ferramenta.

Quadro 3 - Método 5W2H

5W2H			
5W	WHAT	O que?	O que será feito?
	WHO	Quem?	Quem executará a ação?
	WHERE	Onde?	Onde será executada a ação?
	WHEN	Quando?	Quando será feita a ação?
	WHY	Por quê?	Por que será feita essa ação?
2H	HOW	Como?	Como será executada a ação?
	HOW MUCH	Quanto custa?	Quanto custará a execução dessa ação?

Fonte: O autor (2023)

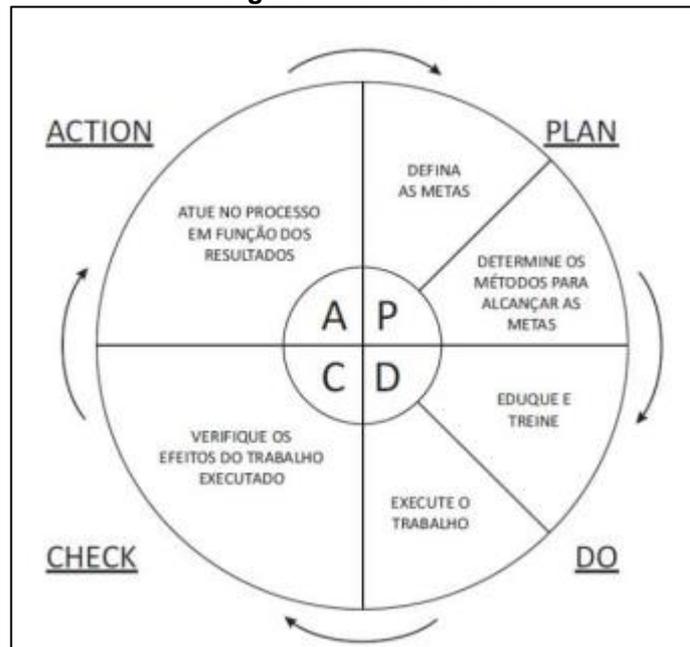
2.7 CICLO PDCA

O PDCA é uma abordagem de gestão que abrange em suas quatro fases os fundamentos do conceito de melhoria contínua, promovendo práticas organizacionais orientadas para a qualidade. Seguir as etapas do ciclo PDCA é importante para melhorar a qualidade com sucesso e evitar o desperdício de recursos (Oliveira, 1996; Cierco, 2003).

O PDCA engloba 4 etapas para sua aplicação, que são Plan (P), Do (D), Check (C), Act (A). A NBR ISO 9001:2015 traz as seguintes definições para cada uma dessas etapas:

- **Plan** (planejar): estabelecer os objetivos do sistema e seus processos e os recursos necessários para entregar resultados de acordo com os requisitos dos clientes e com as políticas da organização;
- **Do** (fazer): implementar o que foi planejado;
- **Check** (chechar): monitorar e (onde aplicável) medir os processos e os produtos e serviços resultantes em relação a políticas, objetivos e requisitos, e reportar os resultados;
- **Act** (agir): executar ações para melhorar desempenho, conforme necessário.

A Figura 3 a seguir exemplifica a aplicação do PDCA.

Figura 3 - Ciclo PDCA

Fonte: Campos (2014)

Pode ser utilizado o 5W2H para realização da primeira etapa do PDCA, sendo ele o responsável pelas diretrizes do plano de ação, deixando claro o que deverá ser feito para que o objetivo inicial seja atingido ao final da implementação das melhorias.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada, bem como sua natureza, tipo de abordagem, objetivo metodológico e o procedimento técnico para aplicação da FMEA com o objetivo da proposição de melhorias na gestão da manutenção em uma indústria automobilística.

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa de natureza aplicada, uma vez que o problema de pesquisa visa aplicar a FMEA com o objetivo de identificar os principais modos de falhas e seus efeitos no sistema produtivo, a fim de gerar conhecimentos e solucionar problemas específicos (Silva; Menezes, 2005). Segundo Vergara (2003), a pesquisa de natureza aplicada se dá quando há a necessidade de resolver problemas concretos, tendo uma finalidade prática de propor soluções efetivas.

Esta pesquisa tem uma abordagem quantitativa, uma vez que busca por meio da análise de números e informações trazer soluções para os problemas levantados. Para Gil (2008) e Markoni e Lakatos (2010), a pesquisa de cunho quantitativo utiliza-se de números, coleta e análise de dados para gerar conclusões e resultados.

Para Gil (2008), pesquisas de caráter descritivo utilizam-se de padronização da coleta de dados e relações entre as variáveis. Tendo como objetivo descrever as características dos modos de falhas, suas ocorrências e quais as causas por meio da coleta e análise dos dados, esta pesquisa se caracteriza como descritiva.

Em relação ao ponto de vista dos procedimentos técnicos, essa pesquisa se enquadra como um estudo de caso, “caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento” (Gil, 2008, p. 57), onde houve a coleta e o tratamento de dados relacionados as paradas para manutenção de equipamentos ligados a produção, buscando entender seus impactos e propor formas para que sejam reduzidos.

Para esta pesquisa, se fez necessária à coleta e seleção dos dados a serem analisados, com o objetivo de, a partir deles, ter um embasamento da realidade atual dos equipamentos, com base nos tempos de parada, tempos para execução de manutenções e os motivos para as paradas relacionadas a máquinas. Os dados foram extraídos do sistema que é utilizado para o acompanhamento em tempo real das paradas, onde constam seus tempos e o motivo pelo qual a mesma ocorreu.

Já para o estudo, identificação e o entendimento dos modos de falha dos equipamentos foi utilizado a FMEA, com ele é possível identificar as possíveis falhas de um processo e como elas se comportam. Nele são levados em conta a Severidade, Ocorrência e Detecção dos modos de falha, com eles é possível calcular o *Risk Priority Number* (RPN), que quanto maior for esse número, mais rápida deve ser a intervenção para correção do problema. Após a priorização das causas, é proposto um plano de ação para que elas sejam corrigidas e haja redução na ocorrência de falhas, e com isso um novo valor para o RPN é calculado, servindo para comparar se houve uma melhora entre os tempos anteriores em relação aos posteriores a implementação dos planos de correções e intervenções.

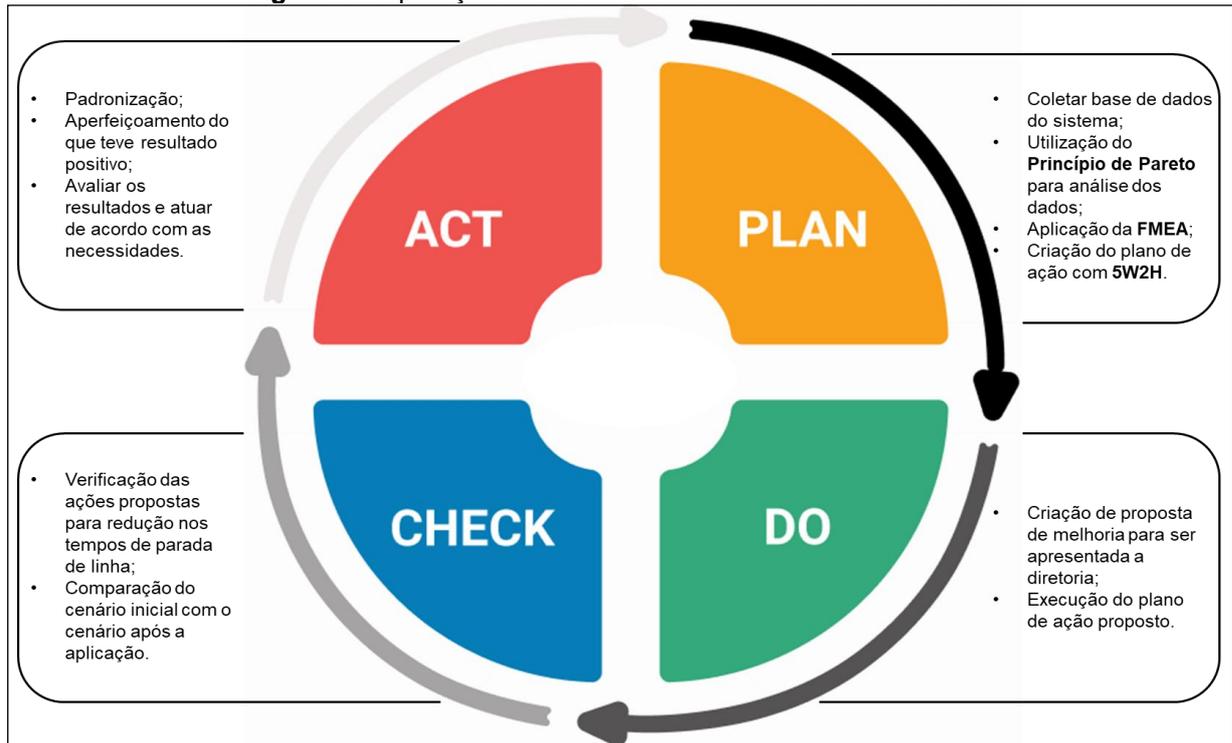
4 ESTUDO DE CASO

O presente capítulo traz o estudo de caso relacionado a análise de uma linha de produção em uma fábrica de automóveis, buscando identificar quais equipamentos devem ter uma maior atenção para realização de intervenções, identificando os modos de falha e o tempo perdido com a parada da máquina que apresentou o problema, em um intervalo de 3 meses. A partir da análise das paradas na linha de produção para realização de manutenções e expressando de forma gráfica os tempos, utilizou-se o gráfico de Pareto para identificar as máquinas e seus modos de falha com maior criticidade, sendo elas priorizadas para a realização do plano para ações de melhoria.

Atualmente com a evolução da tecnologia e com empresas buscando sempre uma maior confiabilidade, disponibilidade dos equipamentos e a qualidade dos produtos e processos, se faz necessário que o processo esteja de acordo com esses objetivos. E para isso a manutenção dos equipamentos atua de forma fundamental, tendo em vista que é a partir dela que é garantido o funcionamento das máquinas em suas condições de base.

Para que haja um plano de manutenção eficiente, é necessário que seja feita uma análise do processo, os equipamentos envolvidos e as formas como são identificadas possíveis falhas que geram atrasos no processo produtivo, sendo interessante que elas sejam identificadas e corrigidas antes da parada do equipamento, pois na maioria dos casos a correção desse tipo de anomalia necessita de mais tempo para reparação do que as intervenções preventivas.

A metodologia do PDCA foi utilizada como base fundamental para este estudo, com o objetivo de alcançar resultados satisfatórios de melhoria contínua. Neste caso, como não houve a aplicação efetiva do plano de ação, nem todas as fases do ciclo foram executadas. A Figura 4 mostra todas as etapas necessárias para aplicação das ações propostas, análise dos resultados e padronização das ações.

Figura 4 – Aplicação do estudo de caso através do Ciclo PDCA

Fonte: O autor (2023)

Para o estudo de caso, foi escolhida inicialmente uma linha do processo produtivo que apresentou modos de falha que acarretaram perda de tempo em 5 máquinas diferentes, em um intervalo de tempo de 3 meses, sendo elas: Apertadeiras, leitor de código de barras, robô de carregamento, manipulador e rebitador.

Após a coleta das informações relacionadas as paradas de linha por motivos da necessidade de manutenção, retiradas do sistema que faz o acompanhamento em tempo real do processo, foi possível organizar os dados e elencar os principais modos e quanto tempo foi necessário para a correção de cada um deles.

A Tabela 4 traz a relação das máquinas, seus modos de falha e a soma do tempo necessário para correção delas.

Tabela 4 - Máquinas, modos de falha e tempo para correção

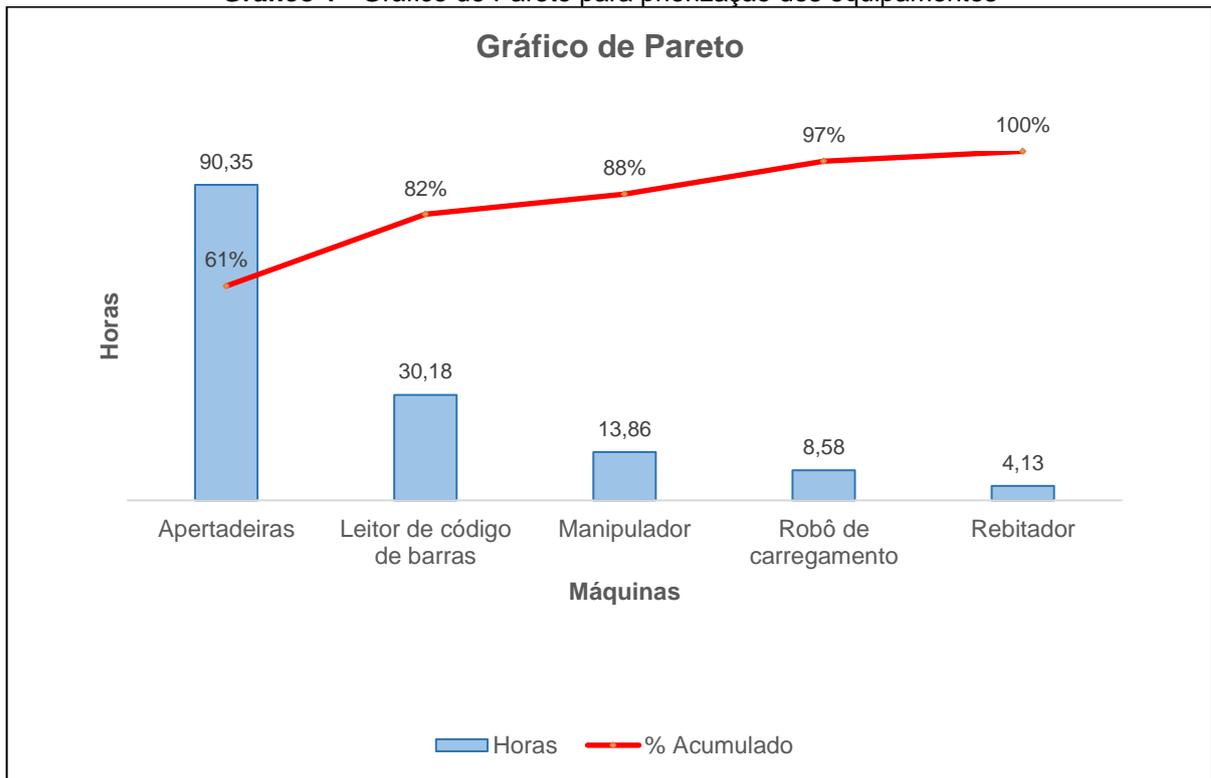
MODOS DE FALHA	MÁQUINAS				
	Apertadeiras	Leitor de código de barras	AGV	Manipulador	Rebitador
Não comunica com rede	56,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Falha na bateria	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0

Cabo danificado	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Dificuldade na leitura	0,0	22,5	0,0	0,0	0,0
Quebrado	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0
Desconfigurado	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0
Atraso	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0
Problemas	0,0	0,0	0,0	13,9	4,1
Problema no código de barras	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
Saiu da rota	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0
SOMA (HORAS)	90,4	30,2	8,6	13,9	4,1

Fonte: O autor (2023)

Com os dados organizados, utilizou-se o gráfico de Pareto, por meio dele foi possível a visualização dos equipamentos com maior criticidade em ordem decrescente de acordo com o tempo gasto para realização da manutenção/correção da falha.

O Gráfico 1 expressa os equipamentos analisados, o tempo (**em horas**) que ficaram sem funcionamento e a porcentagem acumulada desses tempos em um período de 3 meses.

Gráfico 1 - Gráfico de Pareto para priorização dos equipamentos

Utilizando as informações apresentadas no gráfico, foi definido que as apertadeiras e o leitor de código de barras devem ser priorizados, onde a soma do tempo para correção dos modos de falha de ambos equivale a 82% do tempo total dos equipamentos analisados no estudo. Dessa forma, esses serão os equipamentos que devem ser priorizados para a proposição de um plano de ação, com o objetivo da mitigação dos modos de falha e conseqüentemente redução no número de interrupções no processo para correção dos problemas.

Com os equipamentos priorizados, iniciou-se a etapa de aplicação da FMEA, dando pontuações para Severidade, Ocorrência e Detecção dos principais modos observados.

Para Severidade, foi levado em conta o quão grave é aquela falha, em relação ao seu impacto no processo.

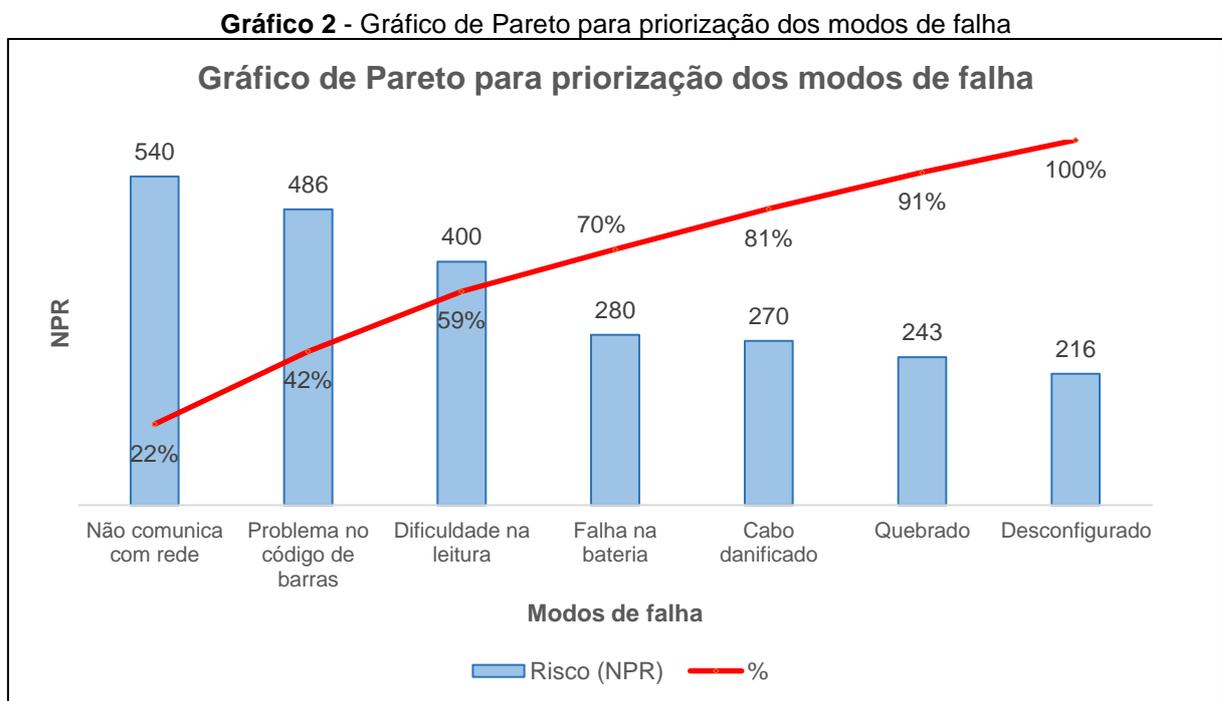
Se tratando da Ocorrência, deve-se levar em conta o número de vezes que o problema ocorreu. Onde quanto maior o número de eventos, maior deverá ser a sua pontuação.

Para Detecção, é necessário analisar a possibilidade de constatação do modo de falha, tendo em vista que um modo difícil de ser detectado, necessariamente terá uma nota maior que aquele de fácil identificação.

No Apêndice A são mostradas as pontuações para Severidade, Ocorrência, Detecção e o Número de Prioridade de Risco (RPN) para cada modo de falha evidenciado. Modos de falha com pontuação para Severidade iguais a 10 devem ser priorizados, independentemente do valor do NPR, uma vez que sua ocorrência gera impactos consideráveis e é tratado como fator de risco elevado para o processo.

Como todos os itens deram um valor para o NPR acima dos 100 pontos, eles deveriam ser priorizados por serem considerados como tendo um alto risco. No entanto, como tem-se um número considerável de equipamentos na linha de produção escolhida para cada modo de falha, foi necessária uma nova priorização.

Com o NPR calculado para cada uma das falhas, foram ordenados de forma decrescente, para criação do gráfico de Pareto, dessa vez para priorização dos modos de falha, como é possível visualizar no Gráfico 2.



Analisando o gráfico de acordo com o Princípio de Pareto (80/20), dos sete modos de falhas evidenciados para os equipamentos priorizados, cinco deles farão parte do plano de ação, sendo elas:

- Apertadeira não comunica com rede;

- Problema no código de barras para leitura;
- Dificuldade de leitura no código de barras por numeração estar com código fora do padrão;
- Apertadeira com problemas na bateria;
- Apertadeira com cabo danificado.

A partir da definição dos modos de falha que devem ser priorizados, iniciou-se a criação do plano de ação utilizando a metodologia 5W2H, com o intuito de propor melhorias que ajudem a mitigar ou eliminar esses problemas. Assim, tendo menos paradas e atrasos no processo produtivo, trazendo um impacto positivo para os indicadores de produção e disponibilidade dos equipamentos.

No Apêndice B tem-se o plano de ação proposto, mostrando o que deve ser feito, por que deve ser feito, onde deve ser feito, quem fará, quando será feito, como será feito e quanto custará. Para a colunas de quando e quanto custará não teremos informações relevantes, pois essas informações só estarão dispostas a partir da aplicação do que foi proposto.

Uma vez que o plano de ação foi criado, agora tem-se a possibilidade de implementação dele, buscando a redução nos tempos de parada ou eliminação dos problemas elencados anteriormente, bem como identificar pontos de melhoria para propostas futuras.

Para análise da eficácia das ações propostas é imprescindível que seja feita a comparação dos tempos de parada antes e depois da implantação das melhorias, fazendo um comparativo entre os cenários. Esse comparativo tem como objetivo verificar se houve um impacto positivo e/ou se ainda há a necessidade de intervenções para correção da(s) falha(s).

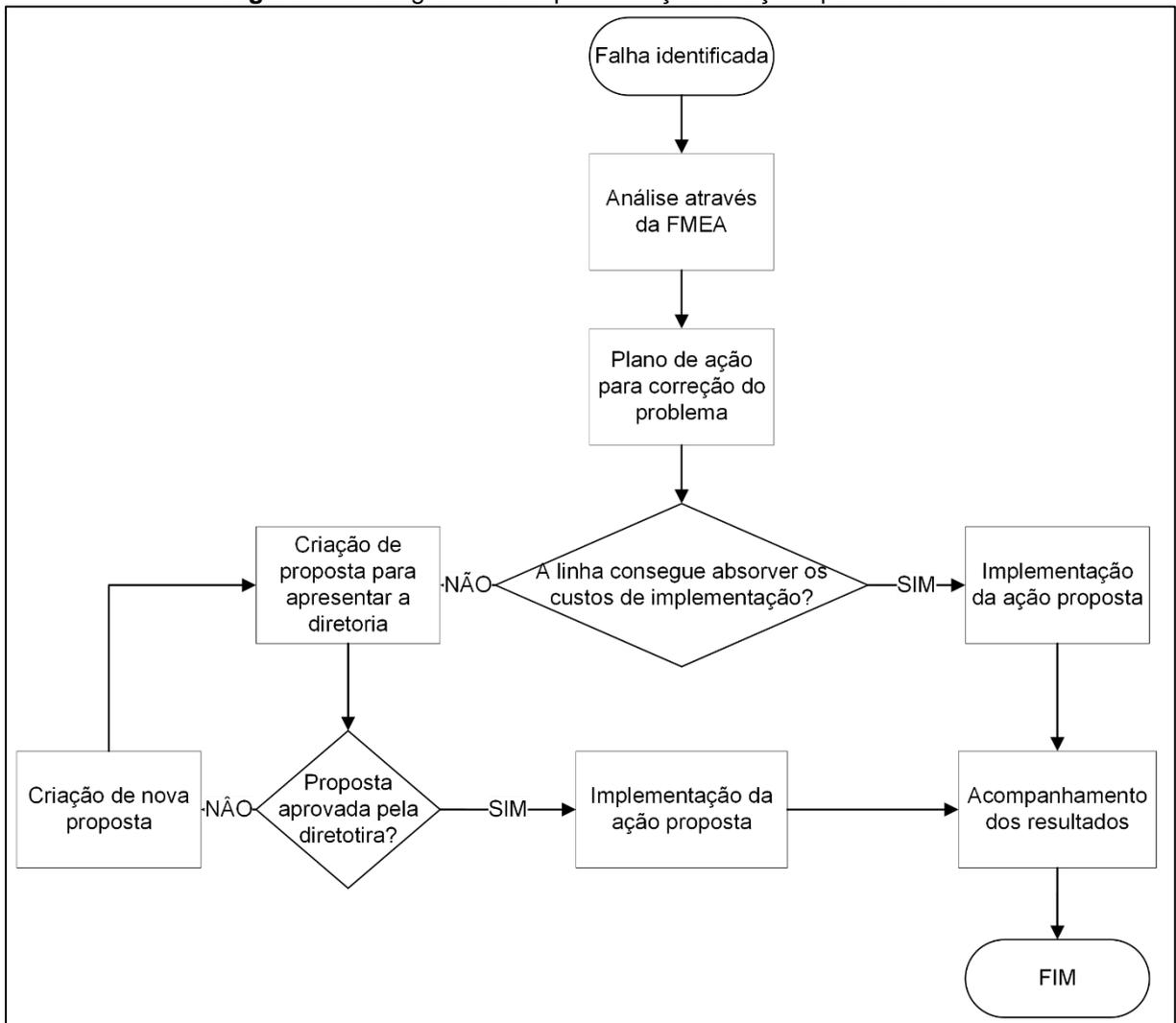
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da pesquisa, foi obtido um plano de ação para as falhas priorizadas a partir da aplicação da FMEA, o que foi levado e apresentado ao gestor da área, para que tivesse uma avaliação sobre a viabilidade, se existem outras alternativas que possam ser atacadas, os problemas e observações pertinentes para o estudo. Inicialmente foi explicado a metodologia utilizada, como foi o procedimento de coleta e análise de dados, priorização dos equipamentos, levantamento das falhas para cada máquina com seus respectivos tempos de parada, criação da tabela FMEA, priorização para os modos de falha, e por fim, criação do plano de ação para reduzir ou eliminar as falhas identificadas.

A proposta foi apresentada ao gestor e com isso foi possível ter um melhor direcionamento para uma aplicação futura como resultado deste estudo. Foi passado que a empresa segue etapas de aplicação da FMEA, tendo como base o PDCA e que nele podem conter diversas ferramentas necessárias para proposição de ações, implementação e acompanhamento dos resultados, como também ferramentas que possam validar a eficácia das ações tomadas. Foi mostrado também que inicialmente o plano de ação tem um caráter mais reativo, buscando intervir nas causas existentes, mesmo de certo modo atuando para que a falha tenha uma incidência menor ou que ela seja eliminada, mas que o objetivo para projetos futuros é que este estudo possa servir de base para atuar preventivamente, para que as falhas sejam sanadas.

Para implementação de ações a partir da aplicação da FMEA, é feita a valoração da medida a ser tomada. Assim, é possível identificar se a linha pode absorver esses custos ou se haverá a necessidade investimento advindo da diretoria para que ela seja realizada. Caso necessite de investimento, é criada uma proposta, onde deve conter o problema abordado, o impacto que sua ocorrência causa no processo com seu valor em reais (R\$) e qual o investimento necessário para implementação. Com o valor aprovado e liberado, inicia-se a etapa de aplicação e, por fim, acompanhamento e propostas para projetos futuros baseados nos resultados. Na Figura 4, tem-se as etapas para criação e implementação das ações.

Figura 5 - Fluxograma de implementação de ações para falhas



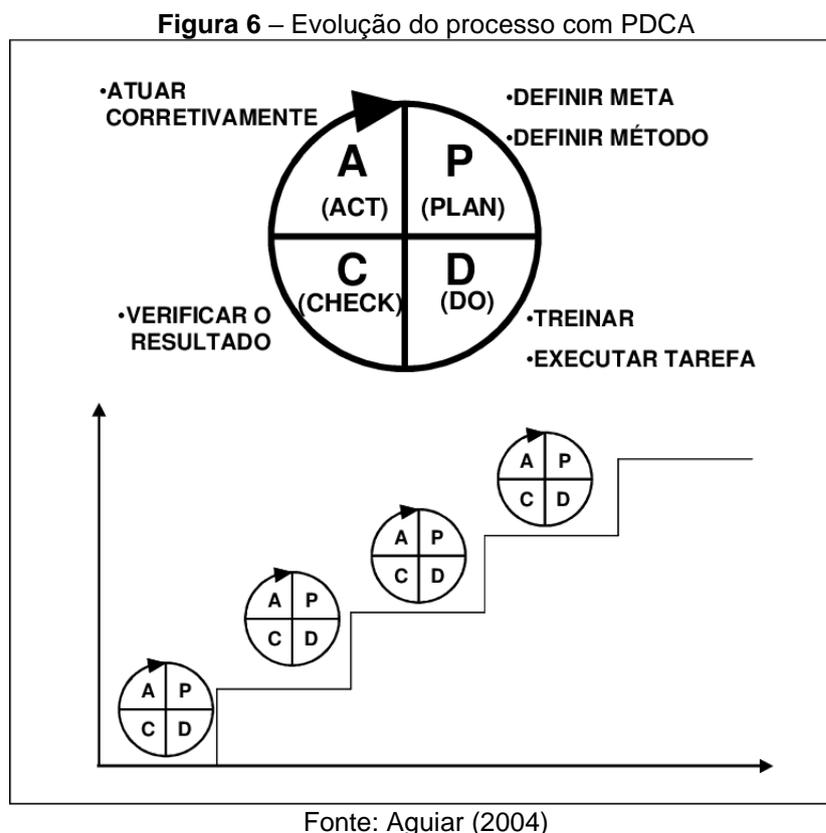
Fonte: O autor (2023)

A partir do momento em que as melhorias elencadas no plano de ação forem realizadas, o próximo passo será o acompanhamento dos resultados (etapa *check* do PDCA), para analisar se a meta inicial foi atingida, se existem novos modos falha, se os que não foram priorizados acabaram se tornando críticos e se os contidos no plano de ação tiveram redução na incidência e no tempo de manutenção dos equipamentos. Caso os resultados não estejam dentro do esperado, será necessário fazer uma nova rodada do ciclo PDCA, onde novas medidas devem ser tomadas para as causas analisadas.

Assim, é imprescindível a aplicação do PDCA, para que a cada novo modo de falha que venha a surgir ou até mesmo um aumento na ocorrência dos já existentes, seja feita uma nova análise, um novo ciclo de avaliação das falhas, aplicação da

FMEA, criação de um plano de ação, verificação dos resultados após as melhorias e reavaliação do processo.

O PDCA é uma ferramenta que auxilia na melhoria contínua, em cada aplicação há melhorias no processo, pois ocorre a atuação em pontos que necessitam de atenção por meio da aplicação de metodologias e ferramentas, priorizando os mais críticos e propondo melhorias. A Figura 5 expressa a evolução a cada ciclo completo da aplicação do PDCA.



Um ponto que deve ser levado em conta é a documentação de todo esse processo, desde o levantamento dos dados até a implementação do plano de ação, bem como seus resultados, para que sirva de base para projetos futuros. Com essa documentação, novos projetos poderão ser realizados com maior facilidade, uma vez que a cada novo ciclo, haverá melhorias não somente no processo, mas também na forma de analisar e propor ações a serem executadas.

Para monitorar as ações sugeridas, podem ser utilizadas listas de verificação (*checklists*), analisando e verificando se as ações que estão sendo aplicadas têm um impacto positivo no processo. Além de servir de apoio para as ações, sua utilização é de suma importância para identificar a ocorrência de falhas, que podem ser

observadas de forma visual por operadores ou responsáveis ligados ao processo e devem ser inseridas no *checklist*.

Em projetos de melhoria, podem surgir dificuldades para implantação das medidas sugeridas, sejam elas por questões internas à cultura da empresa, resistência por parte de colaboradores ou necessidade de investimentos financeiros, por isso é essencial que haja um alinhamento entre as partes interessadas, de modo que as ações realizadas reduzam a incidência dos modos de falha ou até mesmo os eliminem, sendo essa última alternativa o ponto ótimo desejado.

Desse modo, nota-se a importância do papel da manutenção dentro da indústria, quando aplicada da forma correta, de acordo com os pontos críticos levantados, gerando resultados que estão diretamente ligados a disponibilidade dos equipamentos, maior qualidade dos produtos, processos dentro do especificado e satisfação do cliente. Atualmente a manutenção mais utilizada para falhas explicitadas no trabalho se dar de forma corretiva, onde para uma evolução no processo é interessante que se tenha uma boa detecção, identificando-as antes que elas aconteçam. Para isso entra a manutenção preventiva, a fim de fazer com que o equipamento esteja em suas condições de base por mais tempo e a ocorrência de menos paradas para a manutenção corretiva.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi demonstrar a aplicação da FMEA clássica em uma linha de montagem da indústria automotiva, levando em consideração os equipamentos envolvidos com falhas registradas, gerando paradas para manutenção.

Primeiramente foi necessário analisar quais ferramentas seriam utilizadas no estudo, apontando os pontos que são cruciais para a obtenção de resultados satisfatórios e dentro do esperado originalmente. Foram apresentados os tipos de manutenção, explicados os critérios de pontuação utilizados na FMEA para Severidade, Ocorrência e Detecção no cálculo do RPN, e explicadas as ferramentas de apoio aplicadas como: Método de Pareto, 5W2H e PDCA.

Os objetivos foram alcançados, visto que foi possível através da aplicação do Princípio de Pareto priorizar os equipamentos para análise, elencar os principais modos de falha de cada um deles, criar a tabela FMEA, calcular a pontuação do NPR e a partir dele fazer uma nova priorização, dessa vez sendo para os principais modos e criação do plano de ação para uma aplicação futura.

Com a aplicação da FMEA ficou visível quais os modos de falha devem ter uma maior atenção e serem priorizados para propor um plano de ação através do 5W2H, nele contendo os principais modos e as soluções para contenção ou correção do problema, onde é possível de forma simples demonstrar o que deverá ser feito e os responsáveis pela implementação das melhorias, como também sua duração.

No que se refere a importância de ter uma boa gestão da manutenção, foi possível identificar que por mais que sejam feitas medidas para contenção, identificação e correção de falhas, mesmo assim haverá algum ponto que necessitará de atenção, sendo de suma importância o acompanhamento de indicadores e como essas falhas estão sendo detectadas e o impacto que elas geram. Por isso, quanto mais previsível for o processo, menos risco ele terá de ter paradas não programadas.

Assim, conclui-se que esse estudo traz uma colaboração acadêmica por mostrar a aplicação e importância de métodos e ferramentas de melhoria aplicadas a problemas encontrados em um processo produtivo, analisando e propondo formas de corrigir ou reduzir as paradas não programadas, servindo de base para implementação de projetos de melhoria contínua. Também foi possível verificar que a FMEA pode ser integrada e utilizada com outras ferramentas e metodologias, como

por exemplo a análise multicritério, com o intuito de adequar-se as necessidades e alcançar os resultados propostos.

Para trabalhos futuros, é recomendado que seja realizada a aplicação e análise das propostas contidas no presente trabalho, criação de um banco de dados para as FMEAs criadas, onde servirá de consulta para projetos futuros, fazendo a gestão do conhecimento dos estudos relacionados ao tema abordado. Com o estudo também foi possível notar que existe a possibilidade de aplicação do aprendizado de máquinas para análise dos modos de falha, podendo assim identificá-los antes que ocorram, auxiliando na criação de uma gestão da manutenção mais eficaz e fazendo com que não haja paradas não programadas para a correção dos problemas.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, Alexandre. (2004). **Sistemas de gestão ambiental na indústria química: desempenho, avaliação e benefícios**; Chemical industry environmental management system: performance, evaluation and benefits.
- AIAG. Manual FMEA. **Automotive Industry Action Group**, 4 a edição, 2008.
- AIAG. Manual FMEA. **Automotive Industry Action Group**, 1 a edição, 2019. Traduzido para português.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2015**: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2015.
- BARROSO, Gleydson; ANDRADE, Marcos Antonio Ribeiro. Indústria Automotiva do Brasil-Estratégias da Indústria Automobilística Chinesa no Mercado Brasileiro. **IX SEGeT-Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Resende-SP, 2012.
- BASTOS, A. L. A. **FMEA como Ferramenta de Planejamento da Qualidade – Uma Avaliação da Aplicação em um Processo Produtivo de Usinagem de Engrenagem**. Universidade Regional de Blumenau. 2006. Disponível em: http://home.furb.br/abastos/artigos_do_autor/13.pdf. Acesso em 27 de julho de 2023.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **O verdadeiro Poder**. 2 ed. Nova Lima: Falconi Consultores de Resultado, f. 158, 2009.
- CÉSAR, F. I. G. **Ferramentas básicas da qualidade**. São Paulo: biblioteca24horas, 2011. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=CniEMu69GTgC&printsec=frontcover&dq=Diagrama+de+Pareto&hl=pt-PT&sa=X&ei=8eacUfToNoeS9QSe3oG4Aw&ved=0CDkQ6AEwAjqK%23v=onepage&q=Diagrama%20de%20Pareto&f=false>. Acesso em: 19 de julho de 2023
- CIERCO, Agliberto Alves, et al. **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: FGV, 2003.
- FERNANDES, J. M. **Uma proposta de integração entre métodos para o planejamento e controle da qualidade**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, PUCP, Curitiba, 2005.
- FOGLIATTO, F; RIBEIRO, J. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 2ª Ed. Porto Alegre: Campus, 2009.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social** - 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2008.
- GUARNIERI, Patrícia; HATAKEYAMA, Kazuo. Supply chain management na indústria automobilística. **Revista Gestão Industrial**, v. 1, n. 4, 2005.

IQA: INSTITUTO DE QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Manuais QS9000. Análise Modo e Efeitos de Falha Potencial: FMEA**. 2. ed. São Paulo: IQA, 2002. 81 p.

IQA (INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA). **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)**. Manual de Referência. 4ª Edição. São Paulo, 2008.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012. 440 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função estratégica**. Quality Mark, 2010.

LAFRAIA, João R., KARDEC, Allan. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Quality Mark, 2001.

LIU, H.C. et al. Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis using fuzzy evidential reasoning and belief rule-based methodology. **IEEE Transactions on Reliability**, New York, v. 62, n. 1, p. 23-36, 2013.

LUCINDA, Marco Antônio. **Análise e Melhoria de Processos - Uma Abordagem Prática para Micro e Pequenas Empresas**. Simplíssimo Livros Ltda, f. 66, 2016. 106 p.

MARCONI, M; LAKATOS, E. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e execução de pesquisas, Amostras e técnicas de pesquisa, Elaboração, análise e interpretação de dados**. -7. ed. – 3. reimpr. – São Paulo: Atlas, 2010.

MIRSHAWKA, Victor. **Aplicação de Pesquisa Operacional**, Ed. Nobel, 1991.

MORAES, G. **Sistema de gestão de riscos – Princípios e Diretrizes**. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 2010.

OLIVEIRA, Sidney Taylor. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. São Paulo: Pioneira. 1996.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala**. São Paulo: Artmed, 1997.

PALADINI, Edson Pacheco. **Qualidade total na prática, Implantação e avaliação de sistemas de qualidade total**. São Paulo: Atlas S.A, 1994.

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

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: função estratégica**. Qualitymark, 2009.

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://silo.tips/download/analise-dos-fatores-de-influencia-na-aplicacao-do-fmea-de-processo-em-produtos-es>. Acesso em: 01 agosto de 2023.

RODRIGUES, Marcos Vinicius Carvalho, 1955 – **Ações para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial**/ Marcus Vinicius Rodrigues. – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

SEBRAE. **5W2H: o que é, para que serve e por que usar na sua empresa**. Disponível em: <https://www.sebrae-sc.com.br/blog/5w2h-o-que-e-para-que-serve-e-por-que-usar-na-sua-empresa>. Acesso em: 01 de agosto de 2023.

SILVA, Alisson; RORATTO, Lucas; SERVAT, Marcos E.; DORNELES, Leandro; POLACINSKI, Edio.; **Gestão da qualidade: aplicação da ferramenta 5W2H como plano de ação para projeto de abertura de uma empresa**. Horizontina, 2013.

SILVA, Edna Lúcia da. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**/Edna Lúcia da Silva, Estera Muszkat Menezes. – 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

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

TOLEDO, J. C. **Metodologias para Análises e Melhoria da Qualidade**. Apostila GEPEQ/DEP/UFSCar. São Carlos, 70 p., 2002.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Planejamento e controle da manutenção**. Quality Mark, 2002.

XAVIER, Júlio de Aquino Nascif. **Manutenção Classe Mundial**. Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador, 1998.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Nova Lima: Falconi, 2004.

APÊNDICE A – FMEA

Item	Equipamento	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade	Causa da falha	Ocorrência	Controles atuais	Deteção	Risco (NPR)	S	O	D	Risco (RPN)
1	Apertadeira	Não comunica com rede	Equipamento não funciona	10	Rede instável	6	Sistema	9	540	10	6	9	540
2	Leitor de código de barras	Problema no código de barras	Não consegue fazer a leitura	9	Contato do código com o meio externo	6	Visualização	9	486	9	6	9	486
3	Leitor de código de barras	Dificuldade na leitura	Atraso na leitura da peça	8	Numeração fora do padrão cadastrado	5	Mensagem de erro no terminal	10	400	8	5	10	400
4	Apertadeira	Falha na bateria	Equipamento não funciona	8	Bateria mal encaixada/descarregada	5	Sensor	7	280	8	5	7	280
5	Apertadeira	Cabo danificado	Equipamento não funciona	10	Deterioração do cabo por mau uso	3	Visualização	9	270	10	3	9	270
6	Leitor de código de barras	Quebrado	Equipamento não funciona	8	Queda/Tempo de uso	3	Sistema	9	216	8	3	9	216
7	Leitor de código de barras	Desconfigurado	Não reconhece o código	8	Código desatualizado no sistema	3	Sistema	9	216	8	3	9	216

APÊNDICE B – 5W2H

PLANO DE AÇÃO 5W2H						
5W					2H	
What?	Why?	Where?	Who?	When?	How?	How much?
O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Quanto?
Proposta de melhoria no problema de comunicação das apertadeiras com a rede	Reduzir tempos de parada da linha de produção por falha na rede	Linha de produção	Analista	A definir	Analisar pontos de rede e verificar qualidade do sinal	A definir
Correção do contato do código de barras com meio externo	Diminuição do atraso nas operações por ilegibilidade do código de barras	Linha de produção	Fornecedor	A definir	Verificando posicionamento do código de barras atual	A definir
Padronização dos códigos de barra no sistema	Evitar problemas com a leitura dos códigos por não estarem padronizados	Linha de produção	Analista de sistema	A definir	Analisar registros atuais do sistema	A definir
Check para verificação das baterias das apertadeiras	Diminuir paradas para conferência ou troca de baterias	Linha de produção	Encarregado de produção	A definir	Checar antes da operação o status da bateria	A definir
Proposta para reduzir danos nos cabos das apertadeiras	Redução de apertadeiras sem funcionamento por estar com cabo danificado	Linha de produção	Encarregado de produção/Analista	A definir	Observar os possíveis pontos interferência do cabo no meio produtivo	A definir