



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MAYARA EDUARDA SOUZA DA SILVA

**USO DE INDICADORES DE MANUTENÇÃO EM UMA LINHA DE VACUUM
FORMING DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

RECIFE
2024

MAYARA EDUARDA SOUZA DA SILVA

**USO DE INDICADORES DE MANUTENÇÃO EM UMA LINHA DE VACUUM
FORMING DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Guilherme Medeiros Soares de Andrade.

RECIFE

2024

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

Silva, Mayara Eduarda Souza da.

Uso de indicadores de manutenção em uma linha de vacuum forming de uma indústria automotiva / Mayara Eduarda Souza da Silva. - Recife, 2024.

60 : il., tab.

Orientador(a): Guilherme Medeiros Soares de Andrade

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2024.

1. MTTR. 2. MTBF. 3. Indicadores. 4. Backlog;. 5. FMEA. I. Andrade, Guilherme Medeiros Soares de . (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

MAYARA EDUARDA SOUZA DA SILVA

**USO DE INDICADORES DE MANUTENÇÃO EM UMA LINHA DE VACUUM
FORMING DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 22 de fevereiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Guilherme Medeiros Soares de Andrade (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Janaína Moreira de Meneses (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Antônio Marques da Costa Soares Júnior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais, minha irmã e ao meu esposo pelo apoio, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Pai Celestial por ter me concedido a oportunidade de ter chegado até aqui, permitindo a realização de mais um sonho.

À minha família, por todo apoio durante esses anos e em especial às minhas mães, Márcia e Marli, meus pais, Edson e Antônio e a minha irmã, Maísa, por nunca deixarem de acreditar em mim.

Ao meu esposo, Vinícius Marlon, por todo companheirismo e apoio, sempre fazendo de tudo para que eu seguisse firme. Foram dias difíceis, mas que sem o apoio de Deus e dele, eu não teria chegado até aqui.

Aos colegas e amigos que participaram desta caminhada durante esses longos anos na universidade. Em especial ao grupo Cabos, foram muitas noites acordadas e diversos dias nas salas da biblioteca do CTG, ajudando uns aos outros.

Por fim, ao meu orientador, Guilherme Medeiros, pela orientação deste trabalho, me apresentando os primeiros passos. E à professora Janaína Moreira, a qual lecionou a cadeira de TCC1, me auxiliando e dando todo o suporte.

RESUMO

Com o avanço tecnológico, a indústria automobilística tornou-se ainda mais competitiva. Assim, a busca por atender a demanda atual, requer uma eficiência operacional com alta disponibilidade dos equipamentos, corroborando para que haja uma produção em larga escala, redução de custos e flexibilidade produtiva. Neste contexto, a manutenção industrial é de alta relevância para o processo e desempenha um papel essencial para um excelente funcionamento dos ativos. Dessa maneira, os indicadores de manutenção são ferramentas primordiais, os quais proporcionam avaliar os equipamentos e tornar seu gerenciamento efetivo, assim como aperfeiçoamento das rotinas de manutenção. Logo, este trabalho busca realizar uma pesquisa descritiva a partir de um estudo de caso em uma indústria do estado de Pernambuco. Sua temática baseia-se a respeito da utilização dos indicadores de manutenção, buscando evidenciar a importância de sua utilização para avaliação dos ativos, das ações de manutenção e cumprimento das manutenções predefinidas. Sua finalidade é de caráter intervencionista, almejando interferir na área de estudo, ou seja, alcançar uma melhoria. Para análise deste trabalho, os dados coletados são utilizados na aplicação do MTTR, MTBF, Custo de Manutenção por faturamento e Backlog. Além disso, são utilizadas ferramentas de gestão, como FMEA e Kanban, como auxílio para a obtenção dos equipamentos críticos e o emprego de uma melhor gestão. Os resultados alcançados neste estudo indicam quais os meses que obtiveram piores e melhores desempenho frente aos indicadores utilizados, definição de planos de ações e identificação dos equipamentos críticos da linha de produção.

Palavras-chave: MTTR; MTBF; Indicadores; Backlog; FMEA.

ABSTRACT

With technological advancements, the automotive industry has become even more competitive. Consequently, meeting current demands requires operational efficiency with high equipment availability, contributing to large-scale production, cost reduction, and production flexibility. In this context, industrial maintenance is of paramount importance to the process and plays an essential role in the excellent functioning of assets. Thus, maintenance indicators are crucial tools, allowing the evaluation of equipment and effective management, as well as the optimization of maintenance routines. Therefore, this work aims to conduct a descriptive research based on a case study in an industry in the state of Pernambuco. Its theme revolves around the use of maintenance indicators, seeking to highlight the importance of their use for asset evaluation, maintenance actions, and compliance with predefined maintenance tasks. Its purpose is interventionist, aiming to impact the study area, i.e., achieve improvement. For the analysis of this work, collected data are used in the application of MTTR, MTBF, Maintenance Cost per Revenue, and Backlog. Additionally, management tools such as FMEA and Kanban are utilized to identify critical equipment and implement better management practices. The results obtained in this study indicate the months with the best and worst performance based on the indicators used for equipment, defining action plans, and identifying critical equipment in the production line.

Keywords: MTTR; MTBF; Indicators; Backlog; FMEA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Visão geral do processo de montagem de um carro	18
Figura 2 –	Processo de fabricação usando termoformagem a vácuo	19
Figura 3 –	Detalhamento do processo de termoformagem a vácuo	19
Figura 4 –	Peças automotivas plásticas fabricadas utilizando a técnica de termoformagem	20
Figura 5 –	As quatro gerações da evolução da manutenção	22
Figura 6 –	Divisão da manutenção corretiva	23
Figura 7 –	Componentes da manutenção	24
Figura 8 –	Etapas para uma gestão de manutenção	24
Figura 9 –	Exemplo de layout de Kanban para Manutenção	25
Figura 10 –	Fluxograma simplificado do processo da linha.	31
Figura 11 –	Organograma da organização do departamento de manutenção	32
Figura 12 –	Fluxograma da metodologia do estudo	32
Figura 13 –	Fluxo de definição de equipamento crítico	37
Figura 14 –	Formulário utilizado para o procedimento da FMEA	37
Figura 15 –	Resultados dos cálculos mensais do MTBF	41
Figura 16 –	Resultados dos cálculos mensais do MTTR	42
Figura 17 –	Resultados dos cálculos mensais do Custo por Faturamento	43
Figura 18 –	Resultados dos cálculos mensais do Backlog	44
Figura 19 –	Somatório do número de paradas para cada máquina durante o período de análise	45
Figura 20 –	Quadro Kanban 1	47
Figura 21 –	Quadro Kanban 2	48
Figura 22 –	Estudo FMEA para a linha de Vacuum Forming	50
Figura 23 –	Somatório do RPN por equipamento	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Códigos cadastrados das máquinas no DATASUL	35
Tabela 2 –	Horas mensais programadas para cada máquina	36
Tabela 3 –	Critérios que pontuam a severidade	38
Tabela 4 –	Critérios que pontuam a ocorrência	38
Tabela 5 –	Critérios que pontuam a detecção	39
Tabela 6 –	Critério de priorização dos modos de falha	39
Tabela 7 –	Ações de manutenção com base nos modos de falha	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Detecção
FMEA	Failure Modes and Effects Analyses
FER	Ferramentaria
ISO	Isocianato
MÁQ	Máquina
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
NBR	Norma Brasileira
O	Ocorrência
O.S.	Ordem de Serviço
PREV	Preventiva
PU	Poliuretano
RPN	Grau de Prioridade de Risco
S	Severidade
2D	Duas dimensões

LISTA DE SÍMBOLOS

X	Tempo de funcionamento
Y	Número de intervenções
Z	Tempo de reparo
λ	Número de intervenções
C	Custo de manutenção por faturamento
β	Custo total de manutenção
γ	Faturamento bruto
B	Backlog
δ	Σ H O.S. planejadas + Σ H O.S. pendentes + Σ H O.S. programadas + Σ H O.S. executadas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO GERAL	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. HISTÓRIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	17
2.2. PROCESSO DE VACUUM FORMING	18
2.3. MANUTENÇÃO	21
2.3.1. Desenvolvimento da Manutenção	21
2.3.2. Tipos de Manutenção	22
2.3.2.1. Manutenção Corretiva	22
2.3.2.2. Manutenção Preventiva	23
2.3.2.3. Manutenção Preditiva	23
2.3.3. Gestão de Manutenção	23
2.3.3.1. Kanban	25
2.3.3.2. FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	26
2.3.4. Indicadores de Manutenção	26
2.3.4.1. Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)	27
2.3.4.2. Tempo Médio para Reparo (MTTR)	28
2.3.4.3. Custo de Manutenção por Faturamento	28
2.3.4.4. Backlog	29
3. METODOLOGIA	30
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	30
3.1.1. Caracterização do Processo da Linha de Vacuum Forming	30
3.1.2. Estrutura da área interna da Manutenção	31
3.2. ESTUDO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO	32
3.2.1. Indicadores Utilizados	33
3.2.2. Coleta de Informações da Linha de Vacuum Forming	34
3.2.2.1. Verificação das Horas Programadas das Máquinas	35
3.2.3. Caracterização dos Equipamentos Críticos Frente aos Seus Riscos	36
3.2.3.1. Identificação dos Modos, Efeitos e Causas da Falha	38
3.2.4. Análise de Desempenho das Máquinas	39
4. ANÁLISE E RESULTADOS	40
4.1. CÁLCULO DOS INDICADORES	40
4.2. IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GESTÃO	46
4.2.2. Identificação dos Equipamentos Críticos da Linha Utilizando a Ferramenta FMEA	49

4.2.3. Elaboração das Ações de Manutenção Fundamentadas no Risco	51
5. CONCLUSÃO	53
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

Antes dos avanços da revolução industrial, as pessoas utilizavam animais como auxílio para um meio de locomoção em via terrestre, além do deslocamento a pé. Assim, engenheiros e inventores buscaram modernizar e viabilizar esse processo realizando estudos e isso começou a se tornar mais efetivo com a chegada dos motores a combustão e suas subseqüentes descobertas. Décadas depois, com o advento e disseminação do automóvel, a liberdade de locomoção e otimização de tempo foram alguns dos privilégios que o surgimento do automóvel trouxe (Arsenio, 2008).

Assim, a indústria automotiva continua a evoluir e é um setor sempre ativo, o qual passa por constantes transformações e desafios. Isto ocorre devido à prática de pesquisas no ramo e ao investimento em novas inteligências e estratégias que corroboram para a criação de veículos e peças mais tecnológicas, eficientes, confortáveis e sustentáveis. O aprimoramento do processo denominado de vacuum forming é um dos resultados desses estudos de melhoramento, sendo esse um procedimento de termoformagem que transforma chapas de materiais plásticos em produtos tridimensionais utilizando sistemas de vácuo (Basso, 2016). Dessa maneira, como em diversos países, no Brasil, componentes automotivos são produzidos por meio dessa técnica de modo a proporcionar diversos benefícios para a indústria, como: flexibilidade de design, durabilidade, produção em grande escala com tempo de produção reduzido, durabilidade, baixo custo e integralização com outras partes.

Todo esse progresso no ramo é visando a eficiência operacional e confiabilidade dos automóveis fabricados, pois são primordiais para a prosperidade do segmento, o qual possui uma alta demanda, exigindo fábricas e montadoras com maquinário de ponta atuando com soluções de engenharia, propulsão, design e tecnologias próprias, moldando o futuro da mobilidade. E, para que se possa atender a esses requisitos, faz-se indispensável manter a disponibilidade dos equipamentos, sendo isso possível com a existência de uma gestão de manutenção que atenda às exigências e que torne o processo mais assertivo. Nesse contexto, o uso de indicadores de manutenção desempenha uma função decisiva, possibilitando que as empresas monitorem a qualidade e o progresso da manutenção, assim melhorando

o gerenciamento para que as máquinas estejam sempre disponíveis, impulsionando uma produção sem falhas (Moura, 2019).

Os indicadores de manutenção são métricas quantitativas capazes de fornecer números que geram informações para mensurar e aprimorar o processo, como tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, disponibilidade de equipamentos, custos de manutenção e índice de confiabilidade, exemplos dos mais comuns e utilizados atualmente. Eles são ferramentas que fornecem informações úteis sobre a eficácia das atividades de manutenção, auxiliando no apontamento de áreas com gargalos, assim proporcionando ao setor de engenharia da manutenção definir melhores estratégias e dessa forma um planejamento das manutenções de forma mais eficiente, direcionando as atividades iniciais para os equipamentos com maior prioridade de criticidade e assim auxiliando na prevenção de falhas (Batista, 2020).

Portanto, este trabalho tem por finalidade realizar um estudo de caso em uma linha de vacuum forming de uma indústria automotiva, objetivando uma análise mais assertiva e detalhada da linha mais crítica da fábrica. E isso será desempenhado com o auxílio dos indicadores de manutenção, assim como com ferramentas de gestão, de forma a tornar visíveis problemáticas que impactam na disponibilidade dos equipamentos, possibilitando um planejamento de manutenção de forma proativa, corroborando para evitar falhas catastróficas.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente estudo consiste na realização de uma análise almejando uma melhoria de desempenho do processo produtivo da linha de vacuum forming de uma indústria automotiva, no que se refere à sua manutenção, a partir de uma análise baseada na utilização de indicadores e ferramentas de gestão da manutenção.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um estudo teórico sobre manutenção, seus métodos, ferramentas e indicadores;

- Coletar informações das máquinas que constituem a linha de vacuum forming;
- Propor a utilização de ferramentas de gestão;
- Selecionar os tipos de indicadores para análise da linha de produção automotiva;
- Aprimorar a análise de desempenho das máquinas presentes na linha realizando os cálculos dos indicadores escolhidos;
- Analisar quais meses obtiveram indicadores dentro e fora da meta estipulada, assim como suas razões;
- Selecionar os equipamentos críticos da linha utilizando a FMEA;
- Comparar os resultados obtidos com base na metodologia aplicada e analisar o desempenho e a necessidade dos equipamentos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir serão abordados os conceitos utilizados que fundamentaram a execução do estudo, sendo indispensável para o esclarecimento das definições empregadas.

2.1. HISTÓRIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

O início da indústria automotiva se deu no final do século XIX com o surgimento dos primeiros automóveis, sendo a Alemanha cenário para esse grande acontecimento, a qual passava pela industrialização junto com os Estados Unidos, França e Inglaterra, promovida pela 1ª Revolução Industrial (Magusteiro, 2014). Após esse período, iniciou-se um crescimento da indústria automotiva com a produção em massa quando Henry Ford projetou uma linha de produção com o intuito de não haver a necessidade de deslocamento dos operadores até a atividade, fazendo a tarefa chegar até ele, dessa forma corroborando para movimentos únicos e funções que não requeressem mão de obra especializada, pelo fato de haver uma fabricação em alta escala com produtos padronizados.

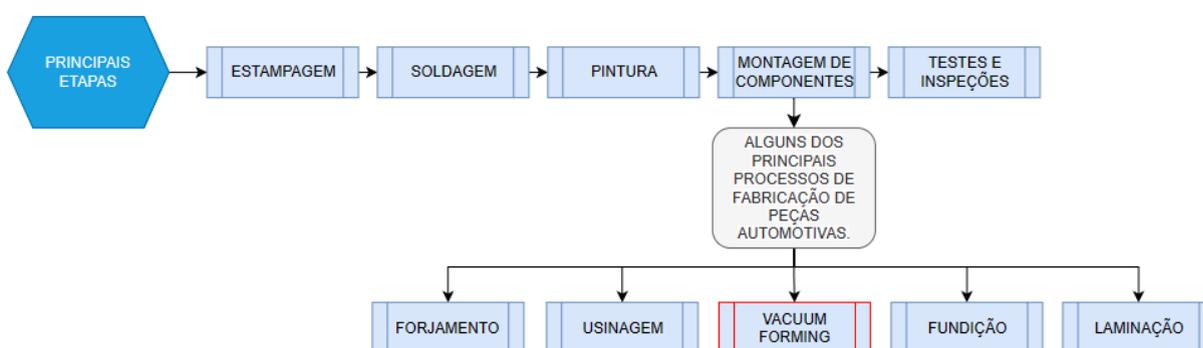
No entanto, novas ideias emergiram, algumas décadas depois os operadores passaram a serem treinados para exercer diversas tarefas, descentralizando as atividades, proporcionando uma produção mais flexível e promovendo uma maior competitividade entre as empresas (Tubino, 2009). No século XX, iniciou-se um rápido processo de crescimento com Henry Ford conseguindo buscar diversas melhorias para os processos e assim criando outros sistemas de produção. Dessa forma, ele alcançou menores custos de montagens e a intercambialidade de peças, levando o carro a ser mais acessível (Womack, 1990).

Com a demanda em alta, fábricas foram estabelecidas ao redor do mundo para atender à necessidade crescente. Isso possibilitou uma maior diversificação dos modelos de veículos disponíveis no mercado e na formação de negócios. Ao decorrer dos anos, as montadoras passaram por inovações tecnológicas, surgindo diversos componentes modernos, os quais foram projetados pensando em melhorias, relacionadas a custo, ergonomia, qualidade, segurança e meio ambiente.

Atualmente com a globalização, o setor automobilístico é tido como uma das áreas industriais mais dinâmicas, como também complexa. A ordem de etapas de montagem de um carro pode variar de acordo com o procedimento de cada montadora, mas em uma visão geral, há a etapa de estampagem, soldagem, pintura, montagem do powertrain, montagem das peças, testes e inspeções, as quais estão ilustradas na Figura 1. Etapas que geram um alto dinamismo, onde a inovação é sempre o ponto central do ramo.

Com a alta da competitividade do mercado, as fábricas automotivas precisam de um tempo de produção cada vez menor para produção de suas peças, ou seja, a otimização de tempo é primordial para as estratégias empresariais, fazendo com que os processos sejam cada vez mais discutidos, estudados e dessa forma aprimorados, respeitando as normas de qualidade vigentes. Para assim atender a um maior público, sempre priorizando a alta qualidade e se manter competitivo no mercado.

Figura 1: Visão geral do processo de montagem de um carro.



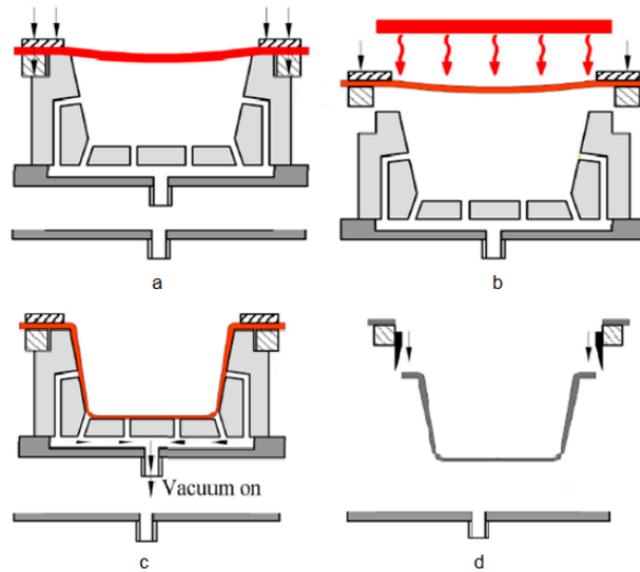
Fonte: Autora (2023).

2.2. PROCESSO DE VACUUM FORMING

Também conhecido como moldagem a vácuo ou termoformagem a vácuo, o processo de vacuum forming, ilustrado na Figura 2, possibilita uma produção em série, na qual chapas de material polímero são pré-aquecidas, em virtude da atuação de raios infravermelhos e pressionadas contra um molde, utilizando sistemas de vácuo, onde o ar é removido da câmara abaixo da folha 2D, conforme a Figura 3, criando vácuo e transferindo para a chapa a geometria do molde (Murta et al, 2016). Após o procedimento de moldagem, a peça é resfriada para que haja o

endurecimento, sendo a espessura da chapa e material utilizado profundamente influentes para esse tempo de resfriamento.

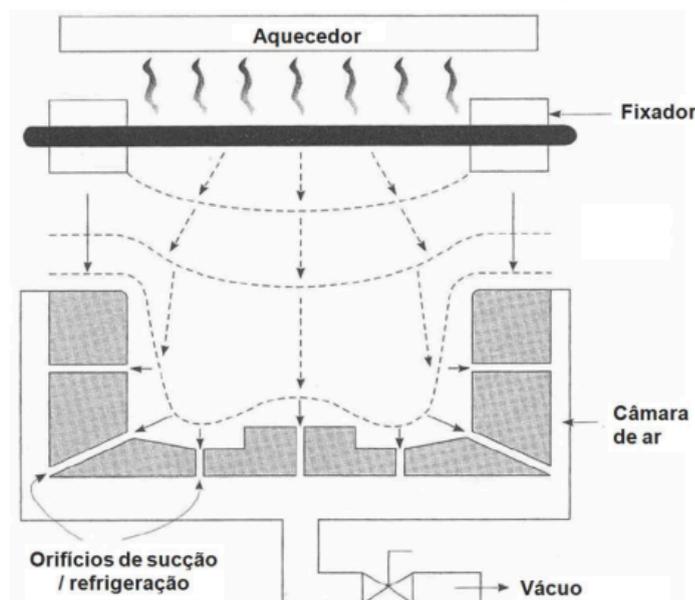
Figura 2: Processo de fabricação usando termoformagem a vácuo.



Fonte: Adaptado de Leite *et al* (2018).

Dessa maneira, torna-se de suma importância respeitar esse tempo de resfriamento para que obtenha-se uma peça final nas condições de padrões esperadas.

Figura 3: Detalhamento do processo de termoformagem a vácuo.



Fonte: Adaptado de Karjust *et al* (2007).

No processo de vacuum forming existem dois tipos de moldes: o molde positivo, chamado de macho, e o negativo, denominado de fêmea. Dessa maneira, o formato da peça determinará o tipo do molde a ser utilizado no procedimento. Há dois principais fatores que são relevantes para a formulação do projeto: a altura e o ângulo de extração, sendo importantes para auxiliar na distribuição do material usado durante a liberação do molde e no alongamento, visando que a peça final não saia fina, o que a tornaria frágil (Gruenwald, 1998).

Na indústria automotiva, o método de termoformagem é muito utilizado na produção de peças plásticas de grandes e pequenas dimensões, como dutos de ar, compartimentos de armazenamento, carenagens, porta óculos, painéis, calotas, tetos, proteções, entre outros. Itens com grandes complexidades geométricas também são produzidos nesse processo, possibilitando também que o ramo automotivo tenha em mãos uma técnica que o permita a produção de itens com designs flexíveis, mais leves, resistentes e duráveis. A Figura 4 ilustra algumas das peças citadas anteriormente, fabricadas utilizando a termoformagem.

Figura 4: Peças automotivas plásticas fabricadas utilizando a técnica de termoformagem:
(a) portinhola (b) protetor de caçamba (c) e (d) tampa de motor (e) dutos de ar (f) compartimento de armazenamento.



Fonte: Empresa (2022).

2.3. MANUTENÇÃO

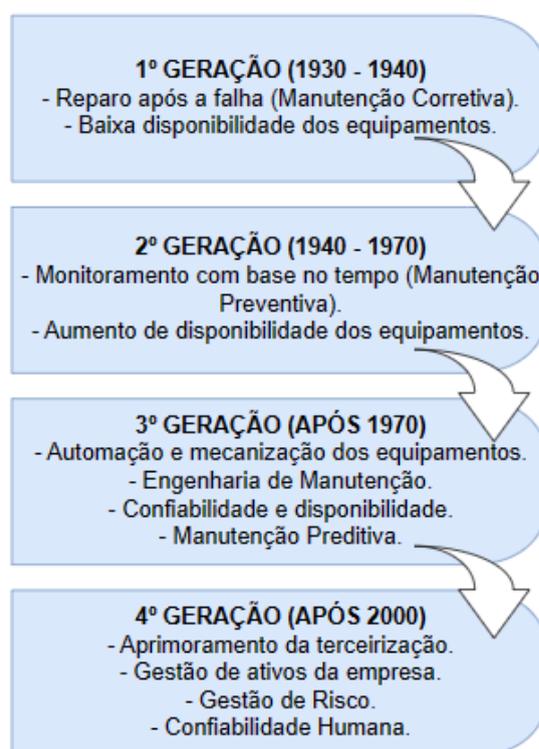
A manutenção é o agrupamento de ações, técnicas e gestões, executadas visando permitir a integridade adequada dos equipamentos, realizando atuações de prevenção, correção e monitoramento. Assim, a manutenção tem por responsabilidade garantir a disponibilidade dos ativos da organização, evitando a deterioração e impactos na produção diária, tal como a segurança dos colaboradores. Um olhar técnico e estratégico deve ser sempre um recurso presente na área, pois as decisões de manutenção estão relacionadas a classificação das máquinas e instalações quanto a sua criticidade para o processo, analisando os cenários de itens mais sujeitos à fadiga ou a limitação da vida útil, assim possibilitando selecionar a prioridade dos equipamentos que devem ser submetidos a manutenção, assim como o tipo de manutenção que deve ser aplicada e quando deve ser realizada, viabilizando a eficiência operacional (Fuentes, 2006).

Ao decorrer da história com o processo de industrialização, a necessidade de manter a funcionalidade de um equipamento passou a ser cada vez mais importante e requerida com a mudança da visão gerencial. O aumento da utilização de produtos industriais por parte da sociedade ampliou a produção, causou uma diversificação de máquinas e corroborou para que a manutenção passasse a ser um fator essencial para a indústria, almejando reduções de custos e aumento de produtividade. Desse modo, faz-se importante entender como ocorreu esse processo de evolução da manutenção dentro da indústria.

2.3.1. Desenvolvimento da Manutenção

A história da manutenção se deu por várias fases de evolução, a necessidade de reparos é uma demanda que sempre esteve presente na sociedade em geral. O advento da Revolução Industrial e a 1ª Guerra Mundial possibilitaram a ampliação das tarefas de manutenção emergenciais. Por sua vez, na 2ª Guerra Mundial, a disponibilidade dos equipamentos passou a ser algo estudado e levou ao surgimento da manutenção preventiva e em seguida, outros novos tipos de manutenção, evolução explanada na Figura 5 (Noschang, 2013).

Figura 5: As quatro gerações da evolução da manutenção.



Fonte: Adaptado Moubray (2000).

2.3.2. Tipos de Manutenção

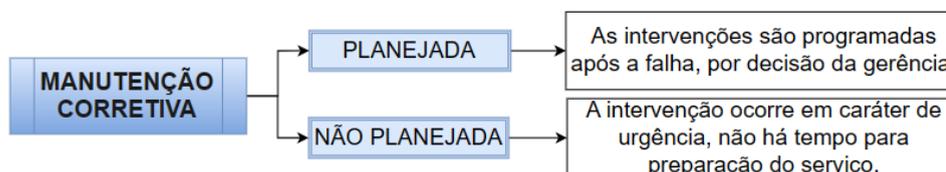
Os tipos de manutenção podem ser classificados de diversas formas, sendo de acordo com as necessidades das atividades. Alguns dos mais utilizados na indústria são: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva.

2.3.2.1. Manutenção Corretiva

A NBR-5462 explica que manutenção corretiva é aquela efetuada após a ocorrência da falha ou defeito, visando reposicionar o equipamento em suas condições ideais de funcionamento. Este é o tipo mais simples e mais antigo, presente na 1ª geração da evolução da manutenção, o qual requer um estoque preparado com peças para reposição após a quebra. Neste tipo de manutenção, há duas formas conhecidas: planejada e não planejada, conforme apresentado na Figura 6. Esta natureza de manutenção, pode ser viável em equipamentos classificados como de baixa criticidade para o processo, quando os danos motivados

por sua parada são menores se comparado ao investimento necessário para que seja evitada uma falha no equipamento (Marcorin, 2003).

Figura 6: Divisão da manutenção corretiva.



Fonte: A autora (2023).

2.3.2.2. Manutenção Preventiva

É efetuada de forma planejada, regular e acompanhada, com a finalidade de evitar falhas ou avarias antes que ocorram no equipamento. Dessa forma, inspeções são executadas de forma rotineira com base em planos periódicos predefinidos, ajustes, substituições programadas e lubrificações, com o intuito de evitar que o maquinário apresente uma falha inesperada que venha a prejudicar os componentes do sistema, além de ocasionar a parada da linha de produção (Borildo, 2017).

2.3.2.3. Manutenção Preditiva

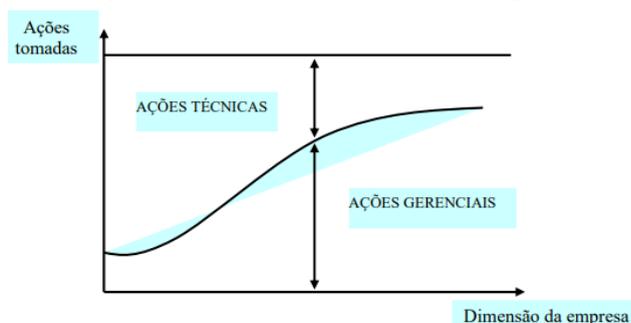
A manutenção preditiva é uma forma de inspeção, ela trabalha no monitoramento constante ou periódico de parâmetros de funcionamento dos equipamentos, objetivando identificar sinais de desgaste, pontos de necessidade de lubrificação, degradação ou falhas. Esse tipo possibilita agir de maneira preventiva, diminuindo as paradas não programadas e corroborando para aumentar a eficiência dos processos de manutenção. A manutenção preditiva procura favorecer a disponibilidade, a proporção que visa diminuir as paradas, sem intervenções nos equipamentos, realizando verificações com o equipamento produzindo, permitindo a operação constante da máquina por um maior tempo possível (Sousa, 2019).

2.3.3. Gestão de Manutenção

Com o mundo moderno, as indústrias estão cada vez mais preocupadas e investindo em ferramentas que possam auxiliar a gestão de manutenção. Com

estudos ao longo do tempo, percebeu-se que a má gestão dos equipamentos afeta diretamente a produção, segurança e custos com produção, como também com manutenção (Sellito, 2007). Assim, o gerenciamento deste setor passou a ser uma tarefa ainda mais complexa, a qual envolve um conjunto de disciplinas, expressando uma natureza multidisciplinar. Logo, torna-se cada vez mais necessário que o gestor de manutenção esteja apto para decidir qual metodologia utilizar, tomando como base a realidade da empresa, ativos que precisam ser gerenciados e os objetivos globais da organização. Sampaio (2001) expõe que a função manutenção por sua natureza é formada por duas componentes: uma de ações de gestão e outra de ações técnicas, conforme apresentado na Figura 7.

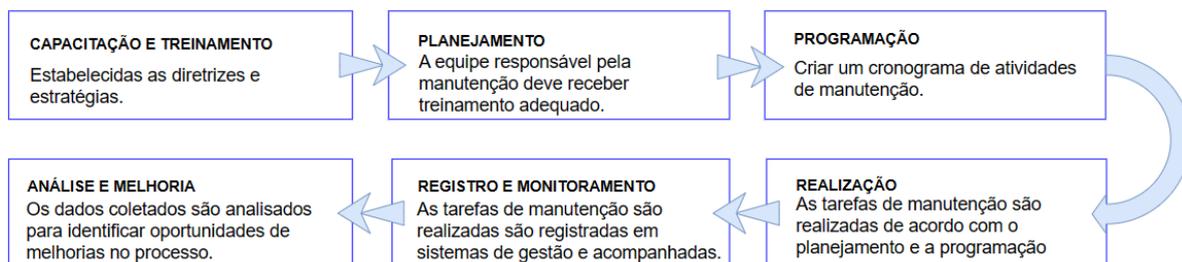
Figura 7: Componentes da manutenção.



Fonte: Sampaio (2001).

A demanda de gestão de manutenção envolve diversas etapas para que se chegue a indicadores ideais, as principais delas são mostradas e detalhadas na Figura 8.

Figura 8: Etapas para uma gestão de manutenção.



Fonte: Adaptado PINTO (2002).

Assim, visando adquirir-se o sucesso no gerenciamento da manutenção, ao longo da história diversas ferramentas e concepções surgiram para auxiliar na

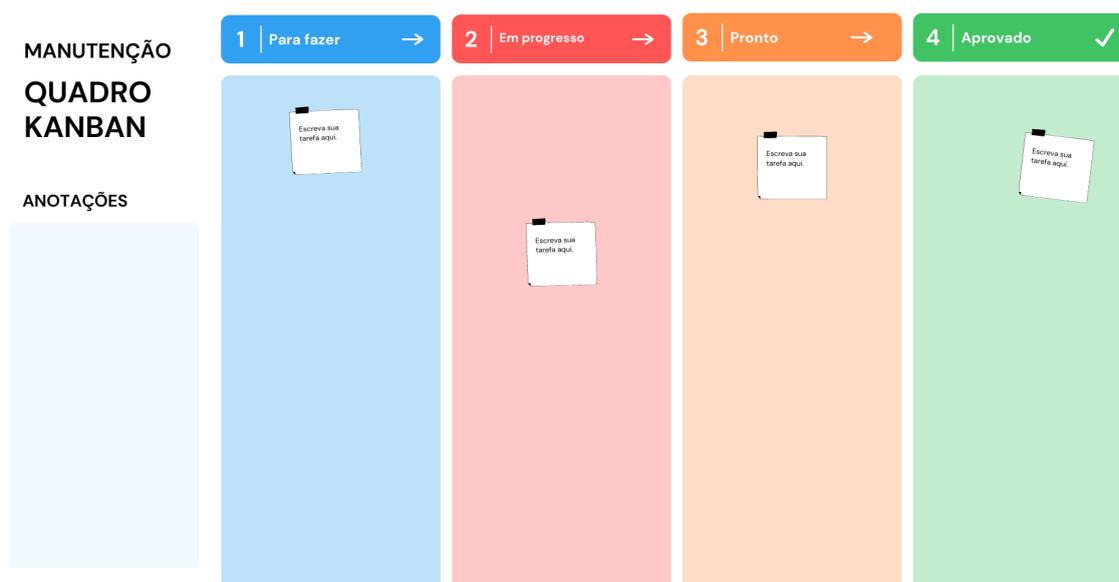
organização e execução das tarefas. Elas são bastante utilizadas nas indústrias e dentre elas, estão a FMEA e KANBAN, os quais serão apresentados em seguida.

2.3.3.1. Kanban

Kanban é um termo japonês que significa “cartão” e se denomina por ser uma ferramenta de gestão visual de tarefas que pode ser usada em diversas áreas, incluindo o setor de manutenção, embora tenha sido criado inicialmente para ser usado no setor produtivo. Assim, esse sistema busca melhorar o controle e a visibilidade das atividades diárias que estão para serem realizadas, as que estão sendo executadas, como também aquelas que foram executadas, mostrando todas as etapas do processo, como apresentado na Figura 9. O Kanban caracteriza-se por ser simples e de fácil compreensão, permitindo que toda a equipe participe do gerenciamento e alimentação da ferramenta, tornando o ambiente participativo (Costa, 2018).

Assim, na manutenção, os cartões representam as ordens de serviço e atividades e o quadro exposto, possibilita a gestão visual, mostrando a progressão das funções. Logo, facilita a identificação de gargalos e viabiliza a tomada de decisão de forma mais rápida, tornando mais eficaz a atuação da manutenção.

Figura 9: Exemplo de layout de Kanban para Manutenção.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

2.3.3.2. FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

Técnica de análise de falhas que em português significa “Análise de Modo de Falha e seus Efeitos”. Ela é utilizada para identificar os potenciais modos de falhas dos equipamentos, como também os efeitos dessas falhas com o intuito de implementar planos de ações que venham a direcionar a equipe de manutenção para os equipamentos que são mais críticos para o processo, corroborando para a diminuição de paradas de linha, redução de custos e melhoria nos resultados dos indicadores de manutenção. Essa ferramenta sistemática de lógica e gestão foi adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas na norma ABNT (1994) e é um das ferramentas essenciais para o gerenciamento das manutenções baseadas na confiabilidade, fornecendo uma hierarquia de prioridades (Silva, 2018).

Um estudo de FMEA envolve a identificação sistemática dos seguintes aspectos dos equipamentos e seus componentes:

- Função: É operar conforme o padrão de performance desejado e projetado;
- Modo de falha: Como o componente pode falhar;
- Efeito da falha: O impacto que a falha resulta no processo;
- Causa da falha: O que levou a falha a acontecer;
- Avaliação do risco: É a obtenção do RPN (Grau de Prioridade de Risco) que em inglês significa “Risk Priority Number”, dado pelo produto da ocorrência (O), severidade (S) e de detecção (D), Equação 1. Quanto maior o RPN, maior seu a intensidade da falha em questão;

$$RPN = O * S * D \quad (1)$$

- Ação preventiva ou corretiva: Ato que pode ser realizado com o intuito de minimizar e eliminar essas falhas.

2.3.4. Indicadores de Manutenção

Os indicadores de manutenção são indispensáveis para o gerenciamento e obtenção de um processo eficaz. Eles são métricas que permitem analisar e medir,

qualitativamente e quantitativamente, o desempenho da equipe de manutenção e comportamento dos equipamentos dentro do ambiente corporativo, assim permitindo que o gestor da área promova decisões com base em dados verídicos e gere estratégias para melhorar a disponibilidade dos ativos, reduzir o tempo de parada, diminuir os custos de manutenção e aumentar a segurança da equipe. Compete à engenharia de manutenção escolher quais indicadores serão utilizados no controle da manutenção com base na realidade e objetivos da empresa.

Existem diversos tipos de indicadores no que tange a manutenção, adiante serão apresentados os mais utilizados: MTBF, MTTR, Custo de Manutenção e BackLog.

2.3.4.1. Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)

O MTBF é uma sigla em inglês, a qual significa “Mean Time Between Failure”, esse tipo de indicador é uma ferramenta que revela quanto tempo o equipamento pode operar sem apresentar nenhuma falha, ou seja, mede o intervalo de tempo médio entre falhas de um equipamento. O MTBF está relacionado à confiabilidade, assim almeja-se que esse indicador seja o maior possível, exprimindo em uma maior disponibilidade da máquina, ou seja, um maior tempo operando em produção (Azevedo et al, 2021).

$$MTBF = \frac{X}{Y} \quad (2)$$

Onde:

$X = \Sigma$ TEMPO DE FUNCIONAMENTO

$Y = \Sigma$ NÚMERO DE INTERVENÇÕES

Dessa forma, o aumento do MTBF ao longo do tempo, é visto como um sinal positivo para a manutenção, pois isso mostra que o número de manutenções corretivas vem diminuindo, e conseqüentemente o total de horas disponíveis para a operação, aumentando (Batista, 2020).

2.3.4.2. Tempo Médio para Reparo (MTTR)

O MTTR, Mean Time To Repair, é uma ferramenta que indica o intervalo de tempo em média que a equipe de manutenção leva para a realização do reparo corretivo. Assim, quanto menor é esse indicador, melhor será para a empresa, pois diminuindo o tempo médio de reparo, conseqüentemente o equipamento entra em funcionamento nas condições normais mais rápido, aumentando o tempo de disponibilidade do equipamento (Azevedo et al, 2021).

$$MTTR = \frac{Z}{\lambda} \quad (3)$$

Onde:

$$Z = \Sigma \text{TEMPO DE REPARO}$$

$$\lambda = \Sigma \text{NÚMERO DE INTERVENÇÕES}$$

A partir dos resultados obtidos através do cálculo de MTTR é possível gerar dados importantes, como visualizar a eficiência da equipe no tempo de realização de reparos, proporcionando que o gestor da área possa procurar melhorias a partir dos dados gerados, como: manter peças essenciais em estoque, analisar o número de funcionários indispensáveis para a execução das tarefas e buscar treinamentos para o time, assim capacitando melhor a equipe de manutenção, visando aumentar a eficiência destes reparos.

2.3.4.3. Custo de Manutenção por Faturamento

O custo de manutenção por faturamento é a relação entre os gastos totais com manutenção e o faturamento da companhia. O nível de gastos com o setor de manutenção está diretamente ligado à qualidade de gestão da área. Pois, serviços bem planejados e estudados quanto a necessidade e gastos, conduzem para um processo mais eficiente de produção, como também para uma otimização do custo. Assim, máquinas que não possuem suas preventivas realizadas de forma adequada e que também não possuem outros tipos de manutenção atreladas a elas, ficam

dependentes apenas das corretivas, o que gera um maior impacto no custo da empresa (Calligaro, 2003).

$$C = \frac{\beta}{\gamma} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

CUSTO = CUSTO DE MANUTENÇÃO POR FATURAMENTO

β = CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO

γ = FATURAMENTO BRUTO

2.3.4.4. Backlog

Backlog é uma métrica de atividades que mede a quantidade total de tarefas que o setor de manutenção tem pendente, ou seja, ainda a executar em um determinado tempo. Assim consegue mensurar quantas horas não foram cumpridas pela equipe de manutenção (Valentim, 2020). Pois, esse indicador compreende todas as tarefas, reparos e intervenções que foram planejadas para um determinado período, porém ainda não foram realizadas. Isso pode incluir atividades de manutenção preventiva que não foram executadas, assim como reparos corretivos que foram identificados, mas ainda não resolvidos.

$$B = \frac{\delta}{\alpha} \quad (5)$$

Onde:

B = BACKLOG

$\delta = \Sigma H O.S. PLANEJADAS + \Sigma H O.S. PENDENTES +$

$\Sigma H O.S. PROGRAMADAS + \Sigma H O.S. EXECUTADAS$

$\alpha = \Sigma HORAS DISPONÍVEIS DA EQUIPE DE MANUTENÇÃO$

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada tem como objetivo fomentar o estudo proposto para realização deste trabalho. A área de estudo é a linha de vacuum forming e busca-se analisar os dados, investigar os resultados e chegar a melhorias fazendo uso das informações coletadas.

3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A linha de vacuum forming, objeto de estudo deste trabalho, está localizada em uma indústria do ramo automotivo situada no Cabo de Santo Agostinho, PE. A qual vem se mantendo anualmente entre os 60 principais fornecedores de componentes automotivos do mundo, segundo o ranking “Top Suppliers”.

A unidade de estudo é especializada na produção de peças plásticas utilizando injeção de plástico, injeção de PU (Poliuretano), extrusão e vacuum forming, sendo este último o processo utilizado para estudo deste trabalho. A planta dispõe de toda a infraestrutura fabril para a fabricação de seus componentes automotivos, sendo alguns dos seus produtos principais: tampas de motores, porta óculos, peças técnicas, portinholas e protetores de caçamba.

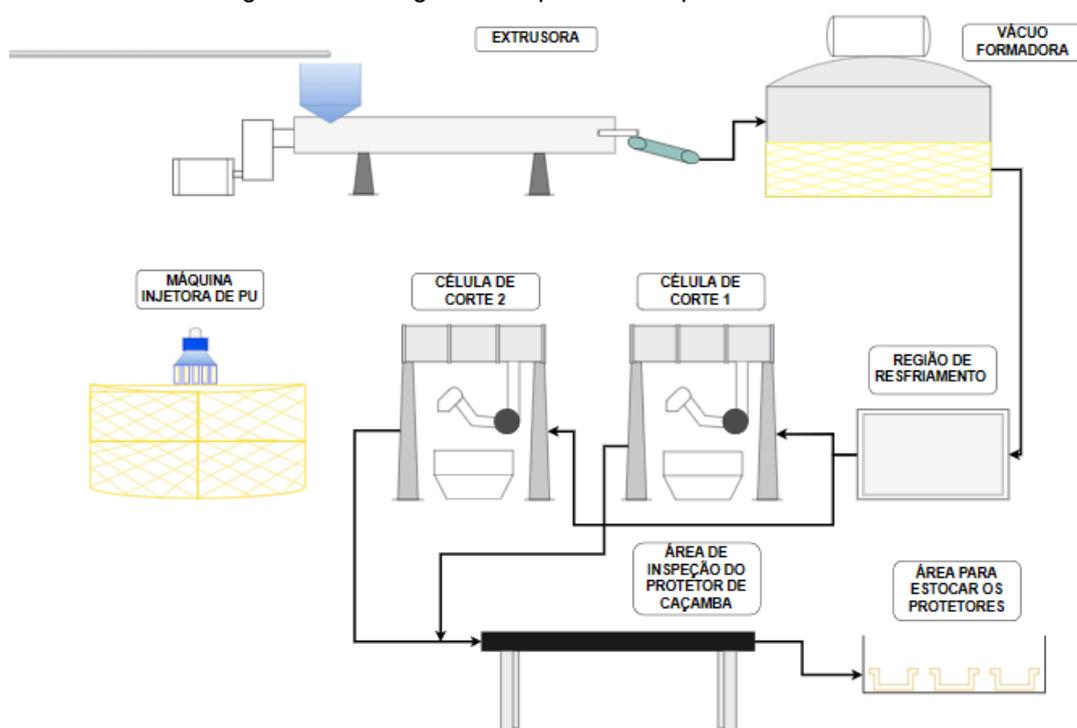
3.1.1. Caracterização do Processo da Linha de Vacuum Forming

O processo da linha estudada é mostrado na Figura 10 e assim, torna-se possível visualizar o fluxograma de produção das máquinas. A linha conta com 5 máquinas: Extrusora, Vácuo Formadora, Célula de Corte 1, Célula de Corte 2 e Injetora de PU.

O processo produtivo inicia com a chegada da matéria-prima, o polietileno, até a empresa via transporte terrestre. Após isso, ela é armazenada em bags que futuramente serão destinados às estufas para serem aquecidos antes de seguir para alimentar a linha, uma vez que o material precisa chegar até uma viscosidade adequada. Dessa maneira, o polietileno, chega até o funil de alimentação da extrusora através de dutos em formato de grânulos, assim possibilitando produzir a chapa extrudada. Após a chapa pronta, ela entra na vácuo formadora, onde serão submetidas ao processo de termoformagem a vácuo e assim definida a geometria

dos protetores caçambas através dos moldes. Os quais após saírem do molde, passam por uma região de resfriamento até chegar ao ponto de endurecimento da peça e em seguida seguem para uma das células de corte para receberem os ajustes necessários.

Figura 10: Fluxograma simplificado do processo da linha.



Fonte: A autora (2023).

A próxima etapa é seguir para a área de inspeção e logo após, a peça é estocada na linha para ser recolhida pela produção até a área de análise da qualidade. Por fim, na linha, há a injetora de PU, a qual trabalha com 9 moldes recebendo a injeção de isocianato e polioliol, os quais reagem e produzem as espumas rígidas de poliuretano produzindo amortecedores acústicos para motores.

3.1.2. Estrutura da área interna da Manutenção

A manutenção é gerida por um coordenador, auxiliado por uma estagiária e em seguida, a área divide-se em 3 setores, Figura 11. Na área da mecânica são 2 mecânicos, em elétrica 4 eletricitas e em ferramentaria, 2 ferramenteiros.

Figura 11: Organograma da organização do departamento de manutenção.

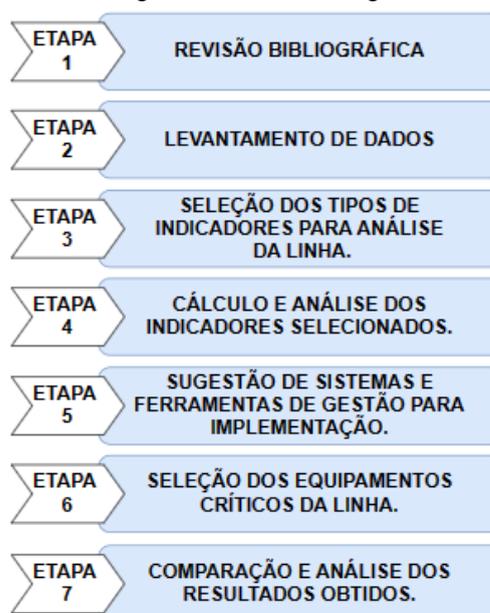


Fonte: A autora (2023).

3.2. ESTUDO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Este trabalho pode ser classificado de natureza empírica e aplicada, a partir de um estudo de caso, buscando coletar dados reais, analisar e fornecer soluções para os problemas práticos. A finalidade se constituiu descritiva e exploratória, pois com o uso dos indicadores de manutenção e ferramentas de gestão, buscou-se analisar, compreender profundamente a área e levantar dados mais robustos. Com isso, iniciou-se uma pesquisa em artigos científicos, dissertações e teses sobre o tema relacionado, ao qual foi descrito no tópico 2, constituindo a revisão bibliográfica. Após essa etapa de construção foi iniciado o percurso metodológico descrito no fluxograma abaixo, Figura 12.

Figura 12: Fluxograma da metodologia do estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Revisão bibliográfica: A primeira etapa, realizada no tópico 2, consistiu em realizar uma recapitulação sobre os assuntos abordados pelo tema escolhido.

Levantamento de dados: A segunda etapa fundamentou-se em recolher dados da linha em estudo para que fosse possível entender em detalhes a operação das máquinas e seus funcionamentos. Foram coletadas informações das O.S.'s abertas analisando os seguintes pontos: períodos de máquinas paradas, falhas frequentes, número de paradas, como também as demais informações para a realização das análises propostas pelo trabalho.

Seleção dos tipos de indicadores para análise da linha: A terceira etapa deu-se em selecionar os indicadores que fossem mais relevantes para o processo frente aos já usados na fábrica em estudo e aos existentes na literatura.

Cálculo e análise dos indicadores: A quarta etapa foi realizada utilizando as Equações 2, 3, 4 e 5, explanadas na fundamentação teórica, tópico 2.3.4 (Indicadores de manutenção). Os cálculos foram desenvolvidos utilizando o Microsoft Excel. E em seguida, analisou-se os resultados gerados pelos cálculos dos indicadores escolhidos para em seguida metrificar as intervenções de manutenção nos ativos da linha.

Sugestão de sistemas e ferramentas de gestão para implementação: A quinta etapa consistiu em sugerir e implementar as ferramentas de gestão, as quais foram escolhidas a partir do conhecimento prévio existente.

Seleção dos equipamentos críticos da linha: A sexta etapa tinha por objetivo selecionar os equipamentos críticos da linha e isso foi realizado utilizando a técnica de análise de falha FMEA. E a criticidade de cada componente foi calculada utilizando a Equação 1, onde foi achado o RPN.

Comparação e análise dos resultados obtidos: A última fase desenvolveu-se analisando os dados gerados com os indicadores, comparando-os e por fim, apresentação de possíveis melhorias para o sistema.

3.2.1. Indicadores Utilizados

A partir do estudo bibliográfico realizado no tópico 2.3.4, os indicadores apresentados foram utilizados para realização do estudo. Com o intuito de aumentar a confiabilidade das máquinas e equipamentos, entender a relação de gastos por

parte do setor de manutenção frente ao faturamento e analisar as atividades pendentes, metrificando o volume total de serviços a serem realizados ou não concluídos, esses indicadores foram escolhidos para serem utilizados. Assim, o cálculo do MTBF deu-se utilizando a Equação 2:

$$MTBF = \frac{x}{y} \quad (2)$$

O MTTR foi calculado utilizando a Equação 3:

$$MTTR = \frac{z}{\lambda} \quad (3)$$

O Custo de Manutenção por faturamento foi calculado manipulando a Equação 4:

$$C = \frac{\beta}{\gamma} \times 100 \quad (4)$$

E o Backlog por meio da Equação 5:

$$B = \frac{\delta}{\alpha} \quad (5)$$

3.2.2. Coleta de Informações da Linha de Vacuum Forming

Serviços preventivos e todas as falhas que ocorrem no equipamento que necessitam de consertos ou reparos por parte da equipe de manutenção, é necessário que seja criado um documento a fim de gerar um registro no sistema, deixando evidenciado o tipo de falha, horário, dia, assim como aspectos importantes da atividade que será prestada. Este documento é chamado O.S. (Ordem de Serviço) e na fábrica em estudo, o sistema utilizado para criação da O.S. é o DATASUL, onde o histórico das ordens de serviços ficam memorizadas, assim por meio desse programa foram coletadas as informações para cálculo dos indicadores.

Os dados apurados foram de janeiro de 2023 até agosto de 2023. A Tabela 1 mostra todas as máquinas da linha e seus cadastros no sistema.

Tabela 1: Códigos cadastrados das máquinas no DATASUL.

DATASUL	MÁQUINAS
EXTRU 01	Extrusora 01
858/14	Vácuo formadora 01
CELULA ROBO 1	Célula do robô 1
CELULA ROBO 2	Célula do robô 2
INJET PU 1	Injetora de pu 01

Fonte: A autora (2023).

Também foram utilizadas duas planilhas do Microsoft Excel, uma por nome “Relatórios Diários” outra “Startup Diário”, onde foram coletadas as informações das atividades de manutenção realizadas diariamente, relatando o equipamento, o tipo de manutenção feita, causa da falha, ação realizada para chegar à solução e tempo de serviço. Esses arquivos são utilizados pela equipe para gerir e coletar informações referente às atividades diárias realizadas pelo quadro de funcionários de manutenção. Assim, a cada O.S. realizada, os trabalhadores precisam acessar o computador do setor e alimentar as planilhas e sistema com as informações.

Todos os dados foram compilados em planilhas no software Microsoft Excel, para cálculo dos indicadores de manutenção de acordo com suas formulações.

3.2.2.1. Verificação das Horas Programadas das Máquinas

Para cálculo dos indicadores de manutenção alguns dados são necessários, como dias de trabalho das máquinas e o total de tempo disponível. As informações coletadas foram para todas as máquinas da linha, referente a cada mês, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Horas mensais programadas para cada máquina.

	JANEIRO		FEVEREIRO		MARÇO	
Máquina	Dias trabalhados	Total de tempo disponível	Dias trabalhados	Total de tempo disponível	Dias trabalhados	Total de tempo disponível
Extrusora	23	437	22	418	22	528
Vácuo formadora	23	437	22	418	22	418
Células de robô 1 e 2	23	437	22	418	21	399
Injetora de PU	23	437	22	418	22	418
	ABRIL		MAIO, JUNHO, JULHO E AGOSTO			
Máquina	Dias trabalhados	Total de tempo disponível	Dias trabalhados		Total de tempo disponível	
Extrusora	18	432	24		648	
Vácuo formadora	18	342	19		513	
Células de robô 1 e 2	18	342	19		513	
Injetora de PU	18	342	19		513	

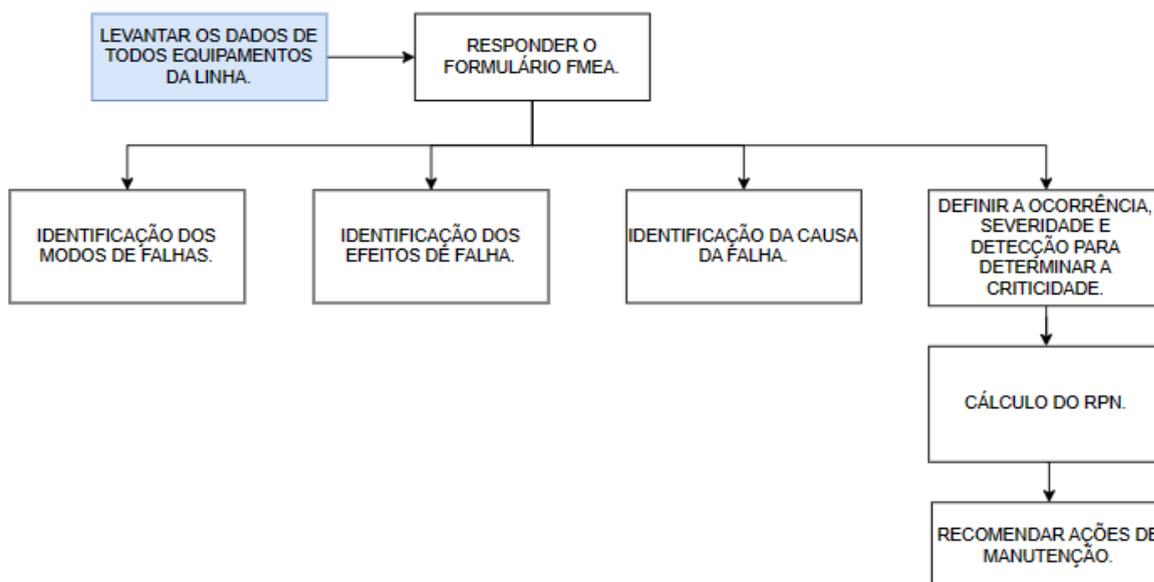
Fonte: Empresa (2023).

3.2.3. Caracterização dos Equipamentos Críticos Frente aos Seus Riscos

O grau de criticidade é uma forma de classificar um componente ou máquina quanto ao risco de falha frente aos impactos que pode trazer à empresa. Dessa maneira, torna-se possível priorizar as manutenções quanto a criticidade do equipamento para o âmbito de produção, segurança, manutenção, meio ambiente, e qualidade. E assim, assegurar que a manutenção esteja organizada e mantenha seu foco prioritariamente em equipamentos de alto impacto para a empresa, promovendo assim um melhor controle do processo, redução de custos e entendimento.

Assim, com o uso da ferramenta FMEA foi possível analisar dentro da linha de vacuum forming a máquina mais crítica da área de estudo, assim como seus componentes, revelando quais deles apresentam um maior Número Prioritário de Risco (RPN). O fluxograma apresentado na Figura 13 ilustra as etapas utilizadas.

Figura 13: Fluxo de definição de equipamento crítico.



Fonte: A autora (2023).

O formulário adotado para aplicação dessa ferramenta é ilustrado na Figura 14, onde foram coletadas as seguintes informações: nome do equipamento e seus principais componentes, função do equipamento, modo de falha, efeito de falha, causa de falha, classificação quanto à severidade, detecção e ocorrência. Em seguida, de posse dos dados deste formulário, foi avaliado o grau de criticidade de cada componente de um equipamento, através do RPN, calculado utilizando a Equação 1, exibida novamente abaixo.

$$RPN = O * S * D \quad (1)$$

Figura 14: Formulário utilizado para o procedimento da FMEA.

FORMULÁRIO FMEA										
FMEA DE PROCESSO		SETOR:	EQUIPE:			RESPONSÁVEL:				
OBJETO DE ESTUDO:		DATA:	VERSÃO:							
PONTO DE FALHA			ANÁLISE DA FALHA			AVALIAÇÃO DO RISCO			AÇÃO DE MANUTENÇÃO RECOMENDADA	
Equipamento	Função do equipamento	Componente	Modos de falha	Efeitos da falha	Causa da falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	RPN	

Fonte: A autora (2023).

A aplicação da ferramenta FMEA requer um elevado embasamento técnico acerca dos modos de falhas do equipamento e seus componentes. Assim, a execução foi feita junto a equipe de manutenção e engenharia de processo.

3.2.3.1. Identificação dos Modos, Efeitos e Causas da Falha

Para realização do estudo utilizando a FMEA, o cálculo do RPN foi feito utilizando a Equação 1 e os critérios para pontuação da severidade, ocorrência e detecção empregados para o cálculo seguiram as definições das tabelas abaixo.

Tabela 3: Critérios que pontuam a severidade.

SEVERIDADE		
GRAU	ÍNDICE	EFEITO
Baixo	1	Acarreta em uma baixa perda de produção ou dano leve ao operador da máquina, não havendo a necessidade de afastamento. E a máquina não sofre avarias.
Moderado	2	Ocasiona uma perda relevante de produção ou dano moderado ao operador, havendo a necessidade de afastamento médico. A máquina sofre avarias não complexas de serem reparáveis.
Alto	3	Causa uma alta perda de produção ou dano permanente ao operador, havendo a necessidade de afastamento médico e o operador poderá não conseguir realizar a mesma função após as sequelas. A máquina sofre avarias complexas.

Fonte: Adaptado de Crespo Marquez (2007).

Os critérios para definição da ocorrência são mostrados na Tabela 4, sendo seu grau podendo ser classificado também como baixo, moderado e alto.

Tabela 4: Critérios que pontuam a ocorrência.

OCORRÊNCIA		
GRAU	ÍNDICE	TAXA DE FALHA
Baixo	1	Frequência baixa.
Moderado	2	Frequência moderada.
Alto	3	Frequência elevada.

Fonte: Adaptado de Crespo Marquez (2007).

A pontuação do critério detecção é apresentada na Tabela 5, a qual da mesma forma apresenta uma escala de acordo com sua magnitude.

Tabela 5: Critérios que pontuam a detecção.

DETECÇÃO		
GRAU	ÍNDICE	TAXA DE FALHA
Alta	1	Os controles de máquina podem detectar e evitar a falha.
Moderada	2	Os controles presentes não são suficientes para garantir totalmente a não ocorrência da falha.
Baixa	3	Controles têm pouca chance de detecção da falha.

Fonte: Adaptado de Crespo Marquez (2007).

Após realizar a FMEA, o resultado do cálculo do RPN foi utilizado para analisar os problemas do processo e assim priorizar as intervenções. Dessa forma, os números mais altos obtidos expõem que há falhas que necessitam de intervenção por parte da manutenção com mais urgência e devem ser priorizadas, deixando claro uma escala de prioridades para ações corretivas e preventivas. A Tabela 6 determina o critério de priorização utilizado.

Tabela 6: Critério de priorização dos modos de falha.

COR	RPN	DESCRIÇÃO
	1-8	Sob controle. (Baixa prioridade)
	9-17	Risco médio. (Média prioridade)
	18-27	Risco alto, corrigir urgentemente. (Alta prioridade)

Fonte: Adaptado de Crespo Marquez (2007).

3.2.4. Análise de Desempenho das Máquinas

Com o intuito de manter o bom funcionamento da linha, a qual impacta diretamente no funcionamento de toda a fábrica, a manutenção deverá ter como responsabilidade e meta gerar uma disponibilidade maior ou igual a 98%, assim é esperado um MTBF maior ou igual a 150 e um MTTR menor ou igual a de 1,6 horas. O custo de manutenção deve ser menor ou igual a 0,96% do faturamento. Valores adotados com base na empresa em estudo, a qual usa as metas citadas acima como sugestão advinda da sede empresarial.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

Neste tópico é apresentado um estudo de caso conduzido em uma linha de vacuum forming de uma indústria automotiva, no qual foi aplicado a metodologia retratada neste trabalho. Em busca de se aplicar, calcular e analisar a utilização de indicadores de manutenção, as 7 etapas da metodologia proposta serão aplicadas, partindo da linha de estudo. Os resultados são vistos como a escolha dos indicadores para análise até a seleção da máquina crítica, realizando uma comparação e exploração dos resultados obtidos. Dessa forma, em cada etapa foram elaborados comentários sobre o que foi extraído.

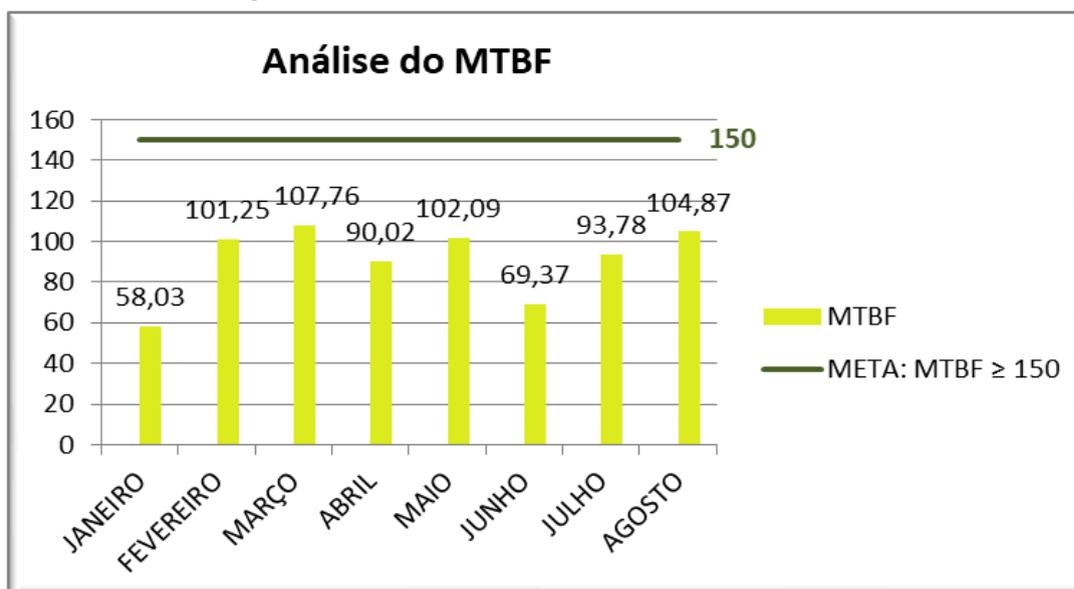
4.1. CÁLCULO DOS INDICADORES

Os indicadores de manutenção adotados, como já mencionados no tópico 3.2.1, foram: MTTR, MTBF, Custo de Manutenção por Faturamento e Backlog. E realizada a análise dos históricos de paradas de máquinas da linha em estudo e coletados os dados da manutenção durante os oito primeiros meses de 2023, os cálculos dos indicadores foram realizados.

Os cálculos obtidos para o MTBF, utilizando a Equação 2, foram empregados na geração do gráfico apresentado na Figura 15, sendo possível analisar de forma mais nítida e esclarecedora os valores apresentados para cada mês. É visível que todos os indicadores apurados de janeiro a agosto de 2023 ficaram fora da meta, $MTBF \geq 150$, valor utilizado pela sede da empresa e assim adotado pelo estudo. Isso se deu pelos frequentes problemas apresentados pela máquina extrusora majoritariamente, a qual passou a funcionar em uma carga de trabalho mais intensa, produzindo chapas extrudadas para abastecer tanto a fábrica em estudo, como uma nova fábrica inaugurada pela empresa.

Outro fator que contribuiu para manter os valores de MTBF baixos foram problemas com estoque para a máquina, pois uma vez que a falha ocorria e havia-se a necessidade de troca de peça, o item não possuía estoque, levando o técnico a precisar realizar alguma adaptação na peça danificada para que a máquina pudesse continuar a trabalhar.

Figura 15: Resultados dos cálculos mensais do MTBF.



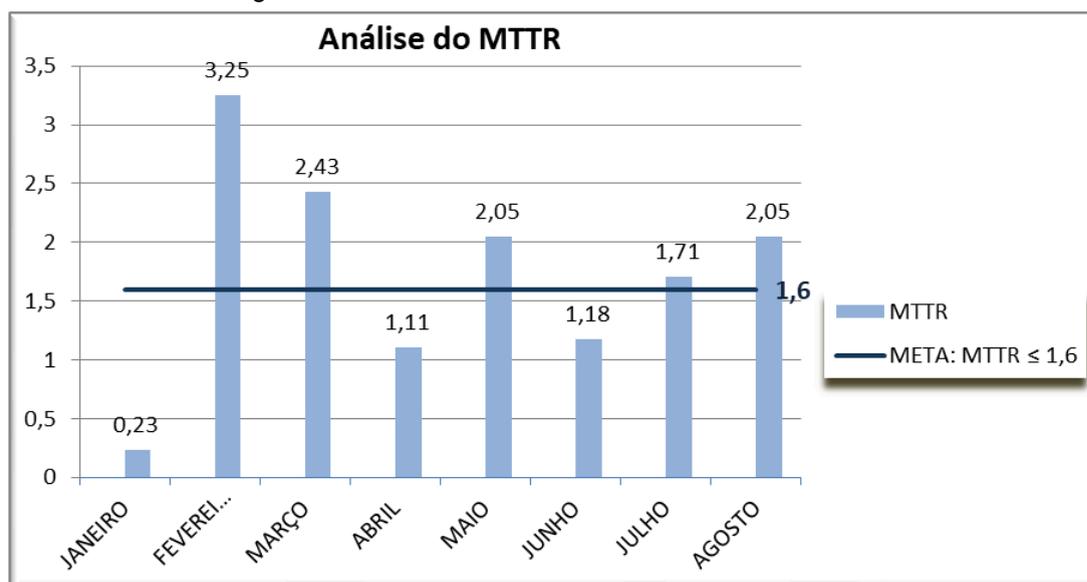
Fonte: A autora (2023).

Como consequência, além das paradas de máquina frequentes, houve uma desaceleração da linha de vacuum forming, pois não haviam chapas suficientes para abastecer a máquina vácuo formadora e assim produzir as peças. Dessa maneira, como ação para evitar essas ocorrências e subir o MTBF, um plano de compras de peças foi criado pela gerência para a máquina, analisando todas as partes com frequentes falhas e averiguando o histórico dos itens comprados.

Os valores de MTTR esperados são números menores ou iguais a 1,6 ($MTTR \leq 1,6$). Dessa forma, valores encontrados maiores que 1,6 no mês, significa que algumas máquinas necessitaram de um maior tempo para ser reparada do que se esperava, diminuindo o tempo de operação da máquina. Logo, os valores obtidos utilizando a Equação 3 são mostrados na Figura 16, eles revelam que nos meses de fevereiro, março, maio, julho e agosto, os indicadores ficaram fora do valor meta estipulado, revelando que houve um tempo de reparo acentuado.

Analisando os dados arquivados e checando com a gestão da área, pode-se concluir que em fevereiro a causa para o indicador ter ultrapassado a margem estabelecida foi devido a problemas com o trocador de calor da extrusora. Como ação, foi realizada a solicitação de compra de um novo trocador de calor para a máquina, a qual foi aprovada, porém o item apenas chegou e foi instalado no final de março, corroborando para que o indicador deste mês também ficasse fora da meta.

Figura 16: Resultados dos cálculos mensais do MTTR.



Fonte: A autora (2023).

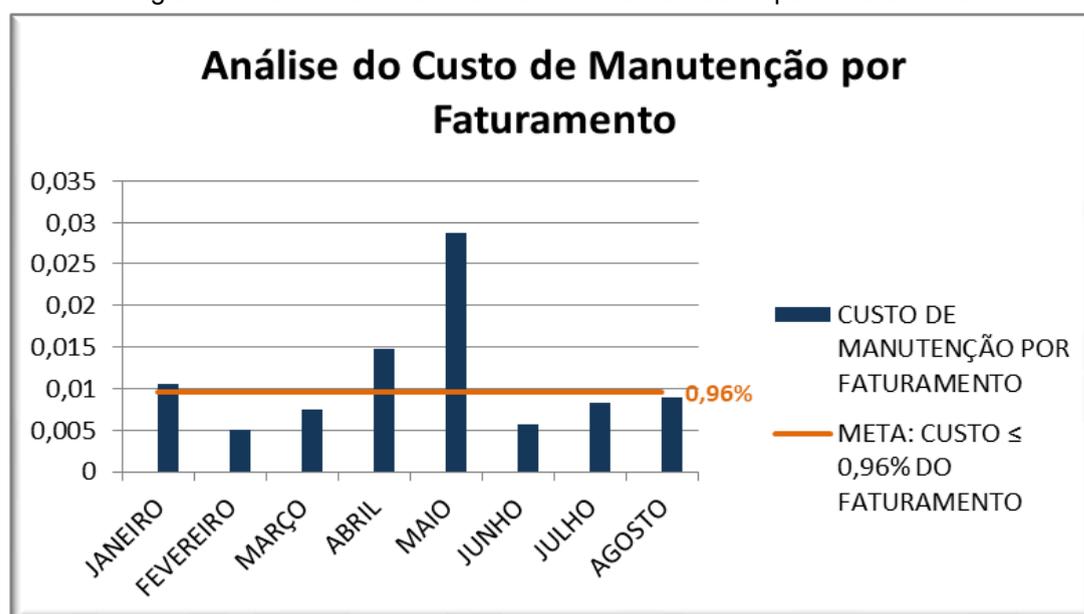
Em maio, o MTTR voltou a ficar fora da margem esperada e foi constatado que isso ocorreu devido a problemas com a mesma máquina, a extrusora, porém em diferentes partes. O pisador da guilhotina da máquina estava com vazamento e como plano de ação foi definida a compra de novos para eliminar o vazamento, como também reparos adicionais para ficarem em estoque, possibilitando em um próximo acontecimento, o tempo de reparo ser menor.

Nos meses de julho e agosto houveram problemas com a chapa extrudada da extrusora, resultado de falhas da bomba hidráulica da mesma, assim como plano de ação, foi requisitada a compra de uma nova e o reparo da danificada para ser realocada para o estoque. A máquina vácuo formadora também apresentou problemas na retirada das peças, pois estavam colando no molde. E como ação, foi programada a troca das conexões das máquinas. Os altos valores do MTTR nesses meses implicaram em atrasos na produção, necessitando de alterações diárias.

O Custo de Manutenção por Faturamento mensal para este estudo deve ter um valor que não ultrapasse o valor adotado para o trabalho, 0,96% do faturamento por mês (Custo por Faturamento $\leq 0,96\%$). Analisando os dados obtidos com a utilização da Equação 4, os quais estão presentes na Figura 17, os meses de janeiro, abril e maio se comportaram fora da média esperada. Quando os

indicadores de manutenção ficam fora da normalidade, gera-se uma reputação não agradável para a equipe, necessitando de explicações para o ocorrido.

Figura 17: Resultados dos cálculos mensais do Custo por Faturamento.



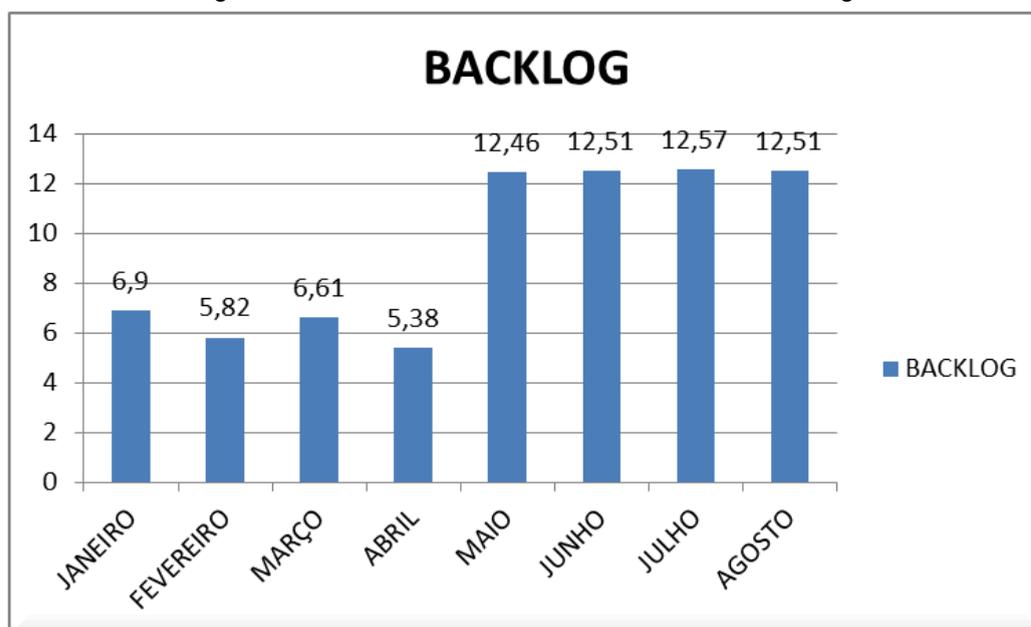
Fonte: A autora (2023).

Foi verificado que as altas ocorrências de manutenções corretivas no geral elevaram os gastos com manutenção, assim como a falta de um estoque completo e eficaz levaram a gastos a serem maiores nesses meses. A gestão de manutenção adotou como plano de ação para os altos valores gastos, a compra de peças de reposição para o estoque, assim como a atualização das manutenções preventivas que precisam ser realizadas utilizando a ferramenta de gestão Kanban.

O Backlog é um indicador bastante importante para a área de manutenção, uma vez que auxilia a mensurar as atividades acumuladas, tornando claro os motivos dessa concentração. Para o cálculo deste indicador, foi utilizada a Equação 5, na qual a variável α , que significa o somatório das horas disponíveis da equipe de manutenção, foi calculada realizando o produto do valor de homem-hora total (Tempo estimado para conclusão do serviço) pelo fator de produtividade (Tempo produtivo da equipe de manutenção, desconsiderando pausas que ocorrem e intervalos para refeições). O quadro de funcionários da equipe, como explicado no tópico 3.1.1, possui 8 técnicos, sendo os mecânicos normalmente com uma carga horária de 40 horas por semana cada, 3 eletricitas 40 horas cada, 1 eletricitista 20

horas e 2 ferramenteiros com carga horária de 40 horas por semana cada. Já o fator de produtividade, o valor estimado é de 60%.

Figura 18: Resultados dos cálculos mensais do Backlog.



Fonte: A autora (2023).

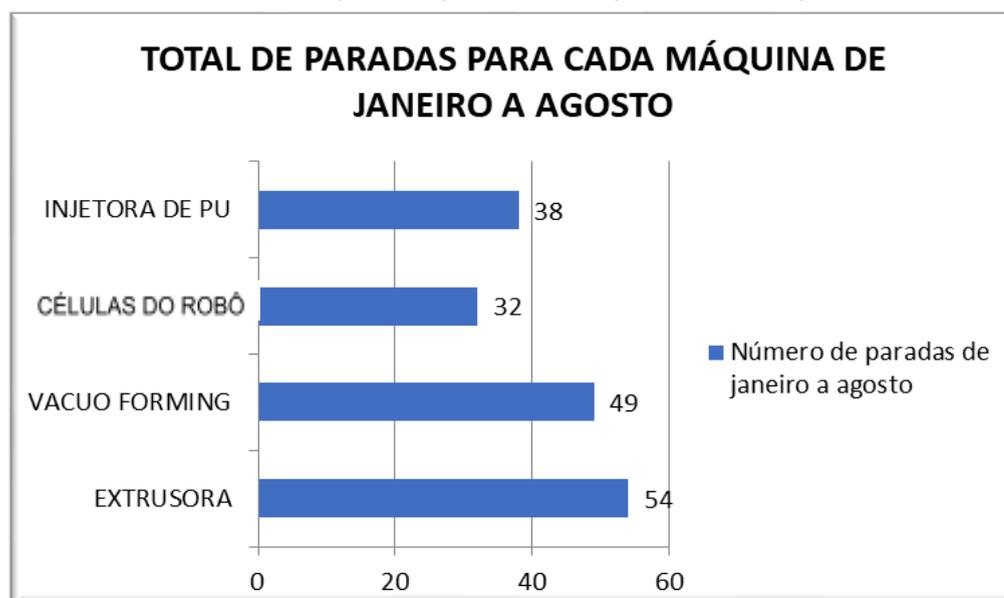
Analisando o gráfico apresentado na Figura 18, percebe-se que no mês de fevereiro, o indicador sofreu uma pequena redução, devido a uma diminuição das atividades acumuladas, porém no mês seguinte, março, ele já voltou a subir e manteve-se oscilando até o mês de abril. A partir de maio, o indicador começou a apresentar altos valores, período no qual a empresa aumentou seus dias de produção. Isso mostra que a equipe de manutenção passou a acumular um volume ainda maior de tarefas a partir desse período, uma vez que a carga de trabalho aumentou. Como ação para diminuir esse indicador, houve a contratação de mais um técnico para compor o quadro de funcionários da manutenção, porém ainda não foi suficiente para diminuir os altos valores do backlog. Dessa maneira a gestão está trabalhando para analisar os dados gerados de modo que justifiquem que a coordenação geral aprove a contratação de mão de obra para a equipe.

Para fomentar a análise desenvolvida, o gráfico da Figura 19 foi desenvolvido para mostrar o número de paradas de cada máquina da linha de vacuum forming durante os meses de janeiro a agosto. Ao analisar o gráfico, pode-se constatar que a máquina Extrusora apresentou um maior número de paradas durante o período de

estudos, concordando com a iniciativa do aumento de produção da linha tanto para a fábrica em estudo, como para abastecer o outro pólo da empresa, situado no mesmo estado. A extrusora produz a chapa extrudada que será a matéria-prima para seguir para a vácuo formadora e células de corte para a produção dos protetores plásticos de carro. Ainda analisando o gráfico da Figura 19, após a máquina extrusora, a vácuo formadora apresentou um segundo maior número de paradas por falhas, sendo seguida pela máquina de PU e por último, as células do robô.

Analisando os dados coletados relacionados a manutenção, percebeu-se a importância da utilização dos indicadores de manutenção e o quanto de informação eles podem revelar sobre o sistema, pois pode-se concluir que o intervalo entre falhas durante os 6 meses estudados é muito pequeno, tornando as máquinas mais tempo indisponível para a produção, levando o MTBF a não alcançar o valor base estipulado pela empresa. E examinando as possíveis causas de tantas paradas de máquina, entre elas destaca-se a defasagem na manutenção preventiva, havendo a necessidade de priorizá-las, principalmente para a extrusora e, realizá-las nos devidos períodos, pois a atual atuação está concentrada em excesso de manutenções corretivas, as quais são feitas de formas emergenciais, elevando o indicador custo e corroborando para um maior número de paradas da linha.

Figura 19: Somatório do número de paradas para cada máquina durante o período de análise.



Fonte: A autora (2023).

Dessa maneira, o atual trabalho concentrou-se em empregar de forma correta os indicadores de manutenção e fazer uso deles para analisar o quadro de manutenções, estudando como isso pode ser feito para que os indicadores fiquem dentro do intervalo esperado e conseqüentemente as máquinas adquiriam um melhor padrão de funcionamento para produção.

4.2. IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GESTÃO

A adequada implementação e utilização das ferramentas de gestão impactam diretamente na qualidade operacional, melhorando as atividades diárias dentro do setor, como também nas áreas adjacentes com seu efeito. Cada ferramenta é útil em seu desempenho para gestão, assim dentro das existentes, o Kanban e a análise de falhas, FMEA, foram aplicados.

4.2.1. Gerenciamento utilizando o Kanban

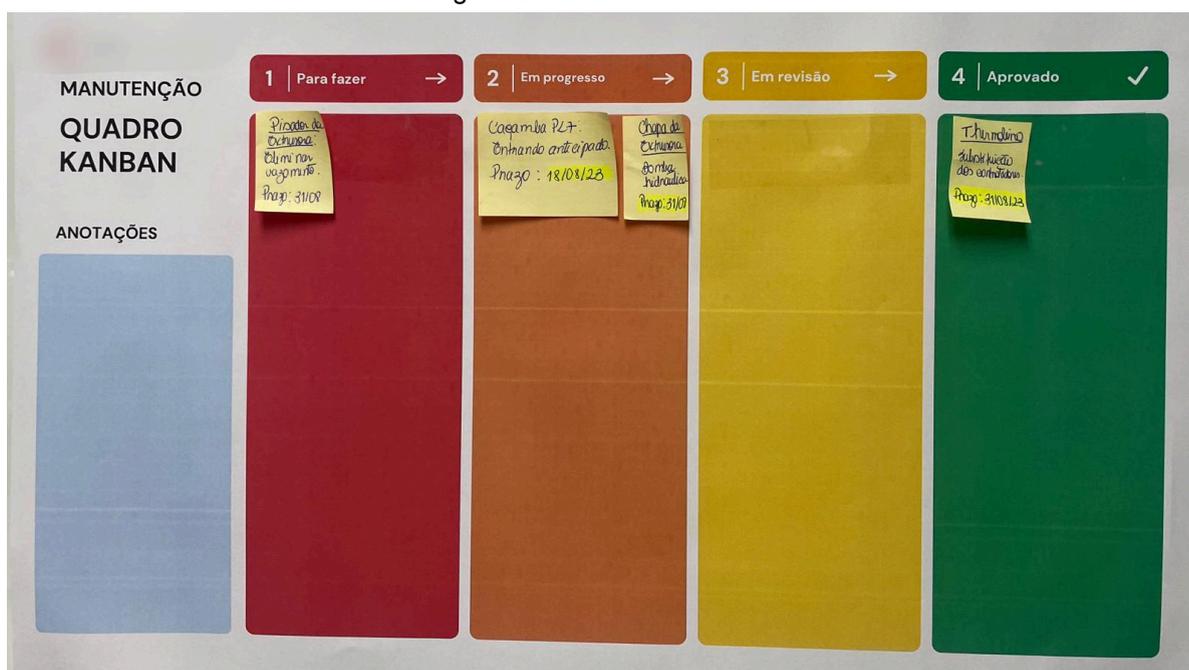
Em busca de melhorar o controle e a visibilidade das atividades diárias, a ferramenta de gestão à vista “Kanban” foi implantada, como exibido na Figura 20. Havia uma necessidade de organização das atividades a serem realizadas, mostrando nitidamente as pendências e seus prazos, mas algo que fosse fácil de implementar e acompanhar. Pois, todas as informações ficavam centralizadas no coordenador da área, o qual, por vezes, encontrava-se sobrecarregado e ocasionalmente esquecia de executar determinadas tarefas por não estarem visíveis e registradas em um lugar estratégico para visibilidade.

Outro fator era a comunicação, pois os demais gestores não tinham como acompanhar os pontos que estavam sendo trabalhados por outro meio, apenas perguntando ao próprio coordenador. Nesse contexto, o layout mostrado foi escolhido para auxiliar nas demandas de gestão de manutenção em concordância com os responsáveis.

Assim, a ferramenta de gestão visual foi deixada à vista no escritório do departamento de manutenção e ela deveria ser alimentada todos os dias pela estagiária de manutenção com as demandas apresentadas nas reuniões diárias do âmbito da manutenção. Tornando mais fácil a visualização e o não esquecimento

das pendências a serem feitas, as ações em progresso, as que já estavam em revisão e por fim, as já finalizadas, na lacuna “Aprovado”. Esse sistema também facilitou a comunicação com os demais departamentos, como produção, qualidade e logística. Pois, os líderes de cada área conseguiram acompanhar as ações de manutenção levantadas para cada problema apresentado pelas áreas e visualizar cada estágio.

Figura 20: Quadro Kanban 1.



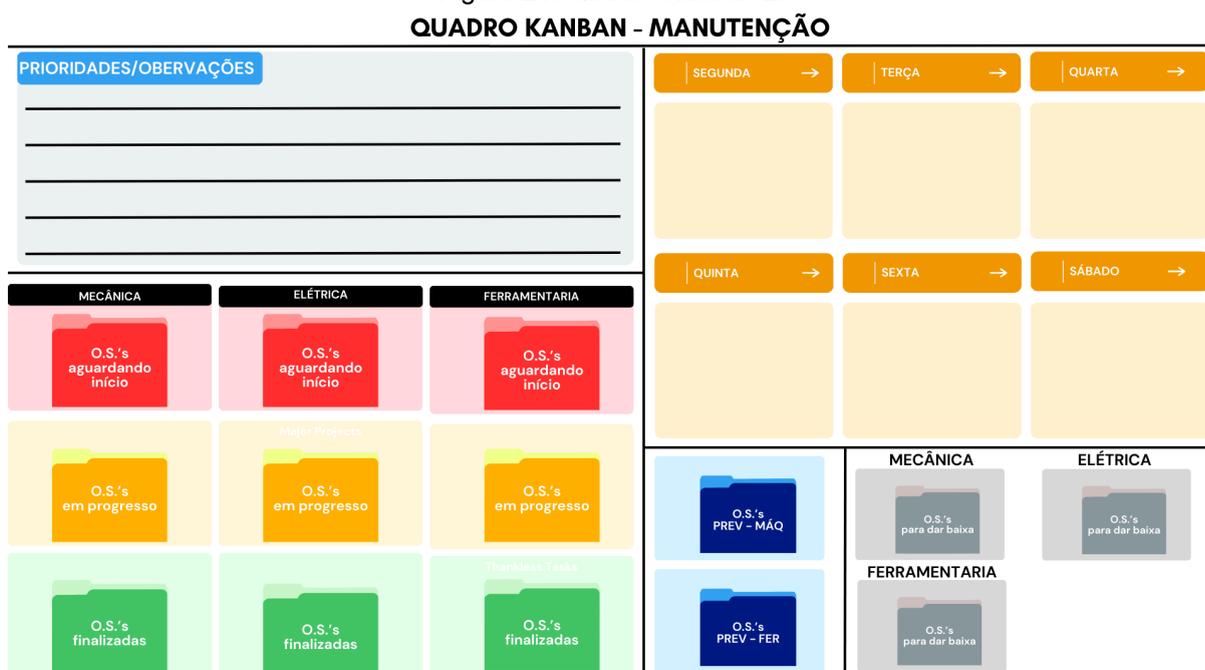
Fonte: Autora (2023).

Um segundo layout para um quadro Kanban foi desenvolvido, Figura 21, e aprovado pela gestão, porém ainda não implementado, pois o material para confecção ainda está em fase de aprovação pelo setor de compras. O objetivo desse segundo Kanban é auxiliar na gestão e organização das realizações de manutenção da fábrica. Dessa maneira, ele deverá ser colocado na área técnica, local utilizado pelos trabalhadores do setor para realizações de manutenções.

O quadro foi planejado com o propósito de melhorar a organização, a visibilidade e o atendimento das O.S.'s, pois após abertas pela equipe de produção, a ordem de serviço é entregue nas mãos do técnico especializado disponível no momento, de acordo com o tipo da falha. E esse documento vem se perdendo fisicamente, pois na maioria das vezes o funcionário acaba esquecendo de

entregá-lo à gestão. Outro fator é a comunicação, pois a ação de manutenção por frequentes vezes não é finalizada no mesmo turno, no qual a falha ocorreu, e os profissionais do turno seguinte precisam dar continuidade. Porém a não visualização imediata do que precisa ser feito atrasa o processo, aumentando o MTTR.

Figura 21: Quadro Kanban 2.



Fonte: Autora (2023).

Dessa forma, o layout foi pensado de acordo com a realidade da linha em estudo para cada área: mecânica, elétrica e de ferramentaria foi criada uma zona para depósito das ordens de serviço, possibilitando a visualização das ordens que estão aguardando para ser iniciadas, as que estão em progresso e as finalizadas. Há uma área para escrever observações e prioridades, permitindo uma rápida leitura. Do lado direito do quadro, foi organizado um espaço para cada dia da semana com a intenção de que haja sempre uma programação semanal prévia, prioritariamente mostrando as ordens de manutenção preventivas a serem realizadas por dia e cada O.S. estará depositada nas zonas apropriadas, dando agilidade ao processo.

4.2.2. Identificação dos Equipamentos Críticos da Linha Utilizando a Ferramenta FMEA

Observando a linha vacuum forming, por ser a mais crítica da fábrica, a análise FMEA foi utilizada para estudo dos equipamentos críticos e determinação do grau de risco para cada componente e seus modos de falha, causas e efeitos. Vale ressaltar que os componentes listados, assim como os modos de falhas, foram os de mais relevância para cada máquina dentro do processo, os quais apresentam maiores ocorrências.

Durante a elaboração, pôde-se verificar que cada componente pode apresentar diferentes modos de falhas e estes são capazes de acarretar distintas causas e efeitos. Utilizando as informações apresentadas na metodologia e com auxílio da equipe foram levantadas informações e analisando os históricos e planilhas da manutenção citadas anteriormente, a FMEA foi construída. A Figura 22, apresenta a FMEA concluída com a ocorrência, severidade e detecção definidas de acordo com a realidade da linha em estudo e assim torna-se possível visualizar a importância dessa metodologia para a manutenção, pois por meio dela foi possível constatar as falhas com maior grau de risco para o processo e assim priorizá-las, almejando eliminá-las.

É válido ressaltar que uma equipe multidisciplinar com profissionais que entendam do processo, como também com responsáveis especializados na área de manutenção é de fundamental importância para a obtenção de um estudo concorrente.

Figura 22: Estudo FMEA para a linha de Vacuum Forming.

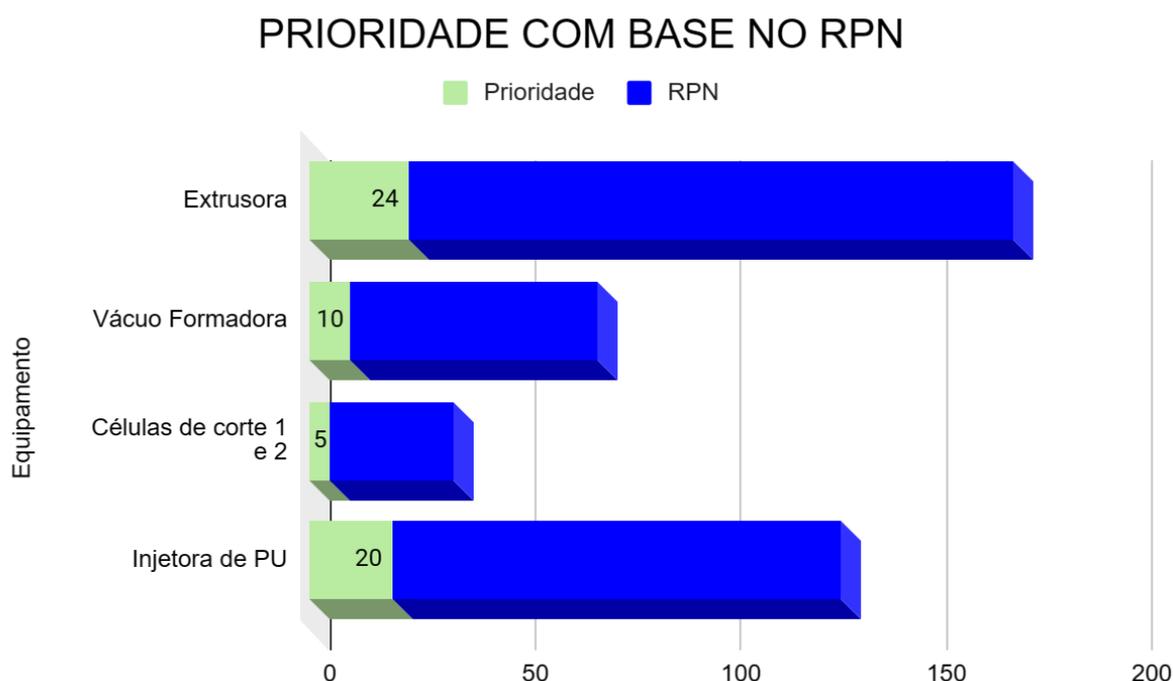
FOMULARIO FMEA									
FMEA DE PROCESSO		SETOR: MANUTENÇÃO		EQUIPE: MAYARA SILVA, ERICK SILVA E ARNALDO NETO		RESPONSÁVEL: MAYARA EDUARDA SOUZA DA SILVA			
OBJETO DE ESTUDO: LINHA DE VACUUM FORMING		DATA: 20/09/2023		VERSÃO: V0					
PONTO DE FALHA			ANÁLISE DA FALHA			AVALIAÇÃO DO RISCO			
Equipamento	Função do equipamento	Componente	Modos de falha	Causa da falha	Efeitos da falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN
Extrusora	Extrudar a matéria-prima	Cilindro de extrusão	Vazamento de óleo	Oring de vedação desgastado	Poliuição de óleo nas áreas adjacentes a máquina	3	1	3	9
		Guilhotina	Desalinhamento da guilhotina	Sensor desajustado	Varição no corte, chapas inadequadas	3	3	3	27
				Encoder danificado	Varição no corte, chapas inadequadas	3	3	3	27
		Guilhotina	Atraso no corte da chapa	Capacitor danificado	Chapas fabricadas fora das especificações adequadas	2	3	3	18
					Danos ao motor	1	3	3	9
		Funil de alimentação	Bloqueio do funil de alimentação	Acúmulo de material não processado	Parada de máquina	1	3	3	9
		Válvula hidráulica	Vazamento de óleo na caixa de engrenagens	Desgaste do selo da caixa de engrenagens	Contaminação do produto	2	2	3	12
		Caixa de redução	Sistema de arrefecimento sem controle de temperatura	Sensor de temperatura anômalo	Varição na qualidade da chapa	3	3	2	18
Válvula de controle do pisador	Vazamento através da válvula	Oring de vedação desgastado	Desregulação do fluxo de material no processo de extrusão	3	1	3	9		
Motor - rolamento	Fadiga no rolamento	Ciclos de carga e descarga repetitivos	Queima do motor	1	3	3	9		
Vácuo Formadora	Fabricação de protetor/revestimento de plástico para carrocerias de carro	Forno elétrico	Explosão nos fornos	Sensor do anel externo desajustado ou avariado	Parada de máquina	3	2	2	12
			Queimadores não aquecendo adequadamente o material)	Falha de ignição ou do sensor de chamas	Peças defeituosas	3	3	2	18
		Bomba de vácuo	Bomba iniciando antes do momento adequado do ciclo	Sensores e válvulas desajustados	Moldagem inadequada	2	2	3	12
				Lógica de programação com erro	Inconsistências no processo de produção	1	2	3	6
Thermoleiros	Varição de temperatura	Falha nos sensores de temperatura e válvulas	Peças defeituosas	3	2	2	12		
Células de corte 1 e 2	Efetuar cortes precisos dentro das adequações programadas	Motor	Erro no acionamento do motor	Conexões elétricas soltas ou danificadas	Perca de tempo de produção. (Máquina parada)	2	3	2	12
		Sistema de controle eletrônico	Barreira de segurança apresentando erro	Falha interna no sensor de barreira	Não detecção da barreira de segurança	3	3	2	18
Injetora de PU	Produção de peças através do processo de misturar e injetar os componentes básicos do poliuretano: Poliol e Isocianato.	Válvula esférica	Manopla da válvula esférica danificada	Presença de detritos	Fluxo de material desregulado	1	1	2	2
				Desalinhamento e folga	Fluxo de material desregulado	2	1	2	4
		Sensor de injeção	Alarme no sensor	Mau contato no cabo de alimentação	Parada de máquina	3	3	2	18
		Bomba de dosagem ISO	Alarme de baixa pressão	Sensor do tanque desregulado	Danos a bomba de dosagem	1	3	3	9
				Filtro sujo	Falta de controle do nível do tanque de	3	3	2	18
					Redução do fluxo de material	2	2	2	8
		Bomba de dosagem POLIOL	Alarme de alta pressão	Aguilha do bico de injeção suja	Vazamento	3	1	3	9
					Danos a bomba de dosagem	1	3	2	6
Sensor do tanque desregulado	Falta de controle do nível do tanque de armazenamento			3	3	2	18		
Filtro sujo	Redução do fluxo de material	2	2	2	8				
Alarme de alta pressão	Aguilha do bico de injeção suja	Vazamento	3	1	3	9			

Fonte: A autora (2023).

4.2.3. Elaboração das Ações de Manutenção Fundamentadas no Risco

É importante destacar que a ordem das ações devem ser realizadas prioritariamente para os itens com maior risco, ou seja, maior RPN. Utilizando a Tabela 6, é possível visualizar que valores para o RPN a partir de 18, julgasse um risco alto, sendo necessário corrigir urgentemente e realizar um acompanhamento diário da ação de controle de manutenção até certificar que a ação tomada está sendo eficaz. Assim, para cada valor gerado, uma ação foi criada com base no modo de falha apresentado, com o intuito de reduzir a severidade do efeito, a frequência de ocorrência, como também a não detecção dos modos potenciais de falha nos equipamentos da linha.

Figura 23: Somatório do RPN por equipamento.



Fonte: A autora (2023).

A Tabela 7 apresenta os modos de falhas com base no risco, assim as ações criadas foram direcionadas para os itens com maior RPN. A máquina de maior risco é a extrusora, ou seja, alta criticidade, apresentando alta prioridade, logo seguida da injetora de PU, como exibido no gráfico da Figura 23.

Tabela 7: Ações de manutenção com base nos modos de falha.

Equipamento	Componente	Modo de falha	Causa da falha	RPN	Ação de manutenção
Extrusora	Guilhotina	Desalinhamento da guilhotina	Sensor desajustado	27	Examinação e calibração dos sensores.
	Guilhotina	Desalinhamento da guilhotina	Encoder danificado	27	Averiguação do encoder e calibração/substituição.
	Guilhotina	Desalinhamento da guilhotina	Capacitor danificado	18	Inspeção do capacitor e substituição.
	Caixa de redução	Sistema de arrefecimento sem controle de temperatura	Sensor de temperatura anômalo	18	Inspeção do sensor de temperatura e termostato.
Vácuo Formadora	Forno elétrico	Queimadores não aquecendo adequadamente o material)	Falha de ignição ou do sensor de chamas	18	Verificação e limpeza dos sensores, termostatos e entradas e saídas de gás.
Células de Corte 1 e 2	Sistema de controle eletrônico	Barreira de segurança apresentando erro	Falha interna no sensor de barreira	18	Limpeza e inspeção dos sensores, cabos e conexões.
Injetora de PU	Sensor de injeção	Alarme no sensor	Mau contato no cabo de alimentação	18	Examinação do sistema e cabos de alimentação e se preciso, a troca.
	Bomba de dosagem ISO	Alarme de baixa pressão	Sensor do tanque desregulado	18	Ajuste dos parâmetros do sensor ou troca.
	Bomba de dosagem POLIOL	Alarme de baixa pressão	Sensor do tanque desregulado	18	Ajuste dos parâmetros do sensor ou troca

Fonte: Autora (2023).

É preciso ressaltar que as ações de manutenção recomendadas na Tabela 7 devem ser realizadas por profissionais especializados e atuantes da área. E tais medidas devem ser realizadas de forma imediata, tendo em vista o grau de risco apresentado por cada modo de falha.

5. CONCLUSÃO

Com o avanço da industrialização e o crescimento rápido da indústria automotiva global, a competição na fabricação intensificou-se. A otimização do tempo tornou-se uma estratégia crucial, particularmente no setor automotivo, onde a organização da manutenção exerce impacto direto na produção, demandando um planejamento e controle rigorosos. O uso de indicadores de manutenção revelou-se uma ferramenta essencial para compreender a situação atual do setor, identificando seus principais desafios e permitindo um planejamento baseado em dados precisos para alcançar melhorias contínuas e confiabilidade. Este estudo focalizou a linha mais crítica da fábrica, a de vacuum forming, utilizando indicadores de manutenção para uma análise detalhada, identificando obstáculos operacionais e propondo soluções dentro de uma perspectiva geral dos ativos.

Esse estudo mostrou a importância de se analisar a linha de forma individual, pois na análise abrangente feita pela empresa mensalmente em relação aos indicadores, o MTTR ficou 4 meses fora do valor meta e o MTBF esteve dentro da meta em todos os meses. Porém com o trabalho desenvolvido, a compressão foi aprofundada, mostrando que o indicador MTTR para a linha, manteve-se fora da meta em 5 meses dos 6 estudados. Também constatou-se não ter alcançado a meta do MTBF maior ou igual a 150, em nenhum dos meses.

Os gráficos gerados a partir dos cálculos realizados do MTBF, MTTR, Custo e Backlog tornaram simples a visualização do desempenho das máquinas frente a cada mês, sendo o Backlog um outro indicador com resultados indesejáveis, expondo nos meses de abril até maio, uma alta de mais de 100%, mostrando a necessidade de intervenção. Com essa análise, foi possível estudar e entender o porquê do acúmulo de atividades, como o acréscimo de produção adotado, e o que pode ser feito. E como ação proposta, foi sugerida a contratação de mais funcionários para uma diminuição do montante de acúmulo de atividades, como também um melhor gerenciamento do planejamento semanal, utilizando o método Kanban.

Outro resultado da análise dos indicadores foi a constatação da ocorrência frequente de manutenções corretivas, elevando os custos com manutenção, os

quais ficaram acima da meta estipulada de 0,96% do faturamento nos meses de janeiro, abril e maio. Assim, viu-se a necessidade de atentar-se de forma mais branda para a realização das manutenções preventivas, pois com a análise dos históricos das O.S.'s e gastos com manutenções, foi observado que, no mês de maio, a manutenção preventiva representou cerca de 92% da quantidade de intervenções realizadas em comparação com a manutenção corretiva, aproximando-se significativamente. No entanto, nos demais meses analisados, esse valor não ultrapassou os 25%. Outro fator é a falta de um estoque mais preparado para possíveis quebras, como ação foi recomendado uma reanálise do estoque, deixando-o em concordância com os componentes que mais apresentam falhas, mostrados na análise FMEA.

A utilização da FMEA propiciou um estudo dos componentes que mais apresentam falhas para cada máquina da linha de produção vacuum forming, sendo a extrusora a mais crítica da fábrica, com seu componente guilhotina apresentando um RPN = 27, ou seja, um alto grau de risco de falha. Assim, foi possível identificar quais modos, causas e efeitos de falhas trazem mais riscos para o processo e dessa maneira concentrar a atenção para os itens que apresentaram maior RPN. Logo, o presente estudo estruturou um conjunto de ações recomendadas com base nos modos de falhas e seus riscos, apresentados na Tabela 7.

A implementação do Kanban como ferramenta de gestão promoveu resultados positivos, entregando ganhos como: comunicação aprimorada dentro do setor e entre as áreas, maior eficiência do gerenciamento das atividades realizadas, menor tempo de resposta e melhor visibilidade das atividades a serem realizadas.

Ao fim desse estudo de caso, foi possível obter dados valiosos, sugestões e apresentá-los à gestão da empresa, a respeito da utilização dos indicadores de manutenção e da análise direcionada para a linha crítica de uma empresa, nesse estudo: a linha de vacuum forming. No entanto, é importante constatar que, devido a não continuidade na empresa, possibilitou não testemunhar diretamente a implementação de todas as recomendações propostas ou observar os resultados a longo prazo.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo realizado, chegaram-se a algumas recomendações para trabalhos futuros. E tais observações, surgiram por limitações encontradas durante o desenvolvimento deste estudo, como também visando a contínua melhoria do setor de manutenção. São elas:

- Levantamento detalhado sobre a vida útil dos componentes mais críticos de cada equipamento, datando as últimas trocas realizadas, almejando evitar falhas e diminuir o indicador de custo;
- Adesão a um app de manutenção para o técnicos, que possibilite o adicionamento de fotos das manutenções realizadas, informações, tempo e os demais dados com o objetivo de deixar o processo mais dinâmico, intuitivo e assertivo. Pois, permitirá que a ação de alimentação dos dados seja feita imediatamente após o término da realização da O.S., não perdendo informação;
- Estudo do índice de manutenção corretiva X índice de manutenção preventiva e os impactos frente aos indicadores;
- Implementação de mais ferramentas de gestão para um melhor desempenho da área;
- Realizar uma FMEA mais detalhada da linha, com uma faixa de pontuação maior para ocorrência, severidade e detecção, com a finalidade de obter um estudo mais minucioso em relação à prioridade dos riscos.
- Efetuar a aplicação de todo o estudo e acompanhamentos para avaliar o impacto a longo prazo das intervenções sugeridas, assim como sua implicação econômica.
- Executar uma análise empregando o indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) visando avaliar o desempenho global de cada equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, T. C.; Moreira, M. de M. A. C.; Silveira, S. R.; Soares, I. N.; Nordi, T. M.; Sousa, F. S. I.; Mosconi D. **Engenharia de Manutenção: Uma revisão de indicadores de manutenção e suas inter-relações**. São Carlos: Portal de Eventos Científicos da Escola de Engenharia de São Carlos, 2021.

BASSO, J. F. **Análise do processo de internalização do produto calha lava fácil para viabilizar sua comercialização**. Monografia (MBA em Gestão Estratégica de Negócios) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2016.

BARCELLOS, J. L. M. **Análise de dois tipos de molde para processo de termoformagem a vácuo – molde produzido em polímero e molde produzido em alumínio. 2022**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Santa Catarina. Xanxerê, 2022.

BARROS, M. C. **Implementação de técnicas da manufatura enxuta no setor de manutenção de utilidades de uma indústria têxtil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019.

BATISTA, P. L. **Análise de impactos da implantação da manutenção preditiva em setor de fabricação de borracha: estudo de caso em indústria do ramo automobilístico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário do Sul de Minas. Varginha, 2020.

BORILDO, D. J. A. **Indústria 4.0: Aplicação a sistemas de manutenção**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, 2017.

CALLIGARO, C. **Proposta de fundamentos habilitadores para a gestão da manutenção em indústrias de processamento contínuo baseada nos princípios da manutenção de classe mundial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

Crespo Marquez, A. (2007). **“The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance”**. Springer-Verlag London Limited. ISBN: 9781846288203.

COSTA, F. P. **Implantação do sistema Kanban no setor de estamperia em indústria do ramo metalmeccânico no estado do Ceará. 2018**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

FONTE, F. L. D. **Implementação da rotina de engenharia da manutenção aplicado a uma planta de beneficiamento de minério de ferro para a melhoria**

dos indicadores de manutenção. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2019.

FREITAS, G. V.; ROCHA G. dos S. **Termoformadora a vácuo automatizada.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Mecatrônica Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

FUENTES, F. F. E. **Metodologia para Inovação da Gestão de Manutenção Industrial.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

GRUENWALD, G. **Thermoforming: A Plastics Processing.** 2. ed. New Holland, Pelsilvânia, EUA: Atlas, 1998.

KARJUST, K.; KÜTTNER, R.; PONLAK, M. **The design and production technology of large composite plastic products.** Journal of Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Engineering. v. 13, n. 2, pp. 117-128. 2007.

LEITE, W. de O.; RUBIO, J. C. C.; CABRERA, F. M.; CARRASCO A.; ANAFI, I. **Vacuum Thermoforming Process: An Approach to Modeling and Optimization Using Artificial Neural Networks.** Polymers, Basileia, Suíça, v.10, n.2, p.143, fev, 2018.

LEITE, W. de O. **Modelagem e otimização de desvios em peças termoformadas a vácuo utilizando modelos de regressão múltipla e redes neurais artificiais.** Tese (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

MAGUSTEIRO, R. A. **Perspectivas de mudança nos paradigmas tecnológicos da indústria automobilística.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.

MARCORIN, W. R.; LIMA, C. R. C. **Análise dos custos de manutenção e de não manutenção de equipamentos produtivos.** Revista de Ciência e Tecnologia, Piracicaba, v. 11, 27 n. 22, p. 38, 08 dezembro 2003. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Roberto_Lima/publication/237733545_Analise_dos_Custos_de_Manutencao_e_de_Nao-manutencao_de_Equipamentos_Productivos_Cost_Analysis_of_Maintenance_and_NonMaintenance_Policies_for_Productive_Equipments/links/5411aeac0cf29e4a23297cc1.pdf >. Acesso em: 16 jul. 2023.

MEGIOLARO, M. R. de O. **Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade.** Traduzido por Kleber Siqueira. SPES Engenharia de sistemas Ltda, São Paulo, Brasil. Edição Brasileira 2000.

MOURA, Y. R. Análise de indicadores de manutenção dos desfibriladores/cardioversor do Hospital de Clínicas de Uberlândia da Universidade Federal de Uberlândia. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019.

MURTA, B. J.; MARTINS, A. M.; OLIVEIRA, D. A.; LEITE, W. de W., RÚBIO, J. C. **Ambiente integrado de manufatura para a produção de peças plásticas termoformadas. 2016.** In: IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 9. 2016, Fortaleza.

NOSCHANG, C. A. **Definição e implementação de indicadores e custo de manutenção produtiva total - TPM em uma empresa do setor metal mecânico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio. Panambi, 2013.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark. 3 ed. 2007.

SAMPAIO, Chedas. **Função Manutenção** na Empresa, Escola Náutica Infante D.Henrique, Paço d'Arcos, Portugal, 5º Ano Diagnóstico de Avarias, 2001.

SCHEIBE, G. M. **Gestão da Manutenção de uma unidade de estampagem de componentes para a indústria automóvel na Inapal Metal S.A., empresa cliente da Iberogestão Lda.** Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia de Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2011.

SELLITO, M. A. **Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos.** Revista GEPROS (Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Ano 2, vol.3, 2007. Disponível em: < <http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/157/142> > Acesso em 10 jun. 2023.

SILVA, G. M. **Manutenção baseada no risco aplicada a uma indústria de moagem de trigo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2018.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SOUSA, V. de A. **Aplicação de indicadores de desempenho de manutenção em unidades geradoras de usinas termoelétricas, usando motores ico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** 2. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2009.

VALENTIM, M. de M. **Propostas para melhoria da gestão da manutenção em uma indústria de produtos de higiene pessoal.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

VIANA, H. R. G. **Fatores de sucesso para gestão da manutenção de ativos: um modelo para elaboração de um plano diretor de manutenção.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ZANETTI, M. B. **Aplicação da metodologia fmea para revisão das estratégias de manutenção em equipamentos de perfuração de uma mineradora.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Ouro Preto. João Monlevade, 2019.

RIBEIRO, F. R. **A GESTÃO DA MANUTENÇÃO E O TPM (Total Productive Maintenance).** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Pitágoras. Governador Valadares, 2020.