



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Jeyse Aparecida da Silva Barbosa

**PROPOSTA DE ANÁLISE DE CRITICIDADE DE ATIVOS PARA DEFINIÇÃO DE
ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS**

Florianópolis
2024

Jeyse Aparecida da Silva Barbosa

**PROPOSTA DE ANÁLISE DE CRITICIDADE DE ATIVOS PARA DEFINIÇÃO DE
ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS**

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

Orientador: Profa. Viviane Grubisic, Dra.

Florianópolis
2024

Barbosa, Jeyse Aparecida da Silva
PROPOSTA DE ANÁLISE DE CRITICIDADE DE ATIVOS PARA
DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE
PLÁSTICOS / Jeyse Aparecida da Silva Barbosa ;
orientadora, Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic, 2024.
115 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Materiais. 2. Manutenção Industrial. 3.
Gestão de Ativos. 4. Criticidade de Ativos. 5. Estratégias
de Manutenção. I. Grubisic, Viviane Vasconcellos Ferreira .
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Materiais. III. Título.

Jeyse Aparecida da Silva Barbosa

**PROPOSTA DE ANÁLISE DE CRITICIDADE DE ATIVOS PARA DEFINIÇÃO DE
ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS**

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



Prof. Cristiano Binder, Dr.
Coordenação do Curso

Banca examinadora



Profa. Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic, Dra. Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Rodrigo Bastos Fernandes, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024.

Este trabalho é dedicado a Joselma, Josenildo e Ester, minha família. Suas orações constantes e palavras de incentivo foram a base que me sustentou e me deu força para alcançar esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Joselma e Josenildo, e minha irmã, Ester. A distância física não nos impediu de estar conectados pelo amor e pelas orações constantes que sempre me deram forças para perseverar. Esta jornada acadêmica não seria possível sem o sacrifício e esforço de vocês. Esta conquista não é apenas minha, mas nossa enquanto família, pois compartilhamos cada passo desse caminho com perseverança e amor.

À minha universidade e aos meus professores, expresso minha profunda gratidão. Agradeço pela estrutura educacional, pelo conhecimento compartilhado e pelas oportunidades valiosas que me foram proporcionadas. Cada aula, cada desafio e cada experiência contribuíram significativamente para o meu crescimento pessoal e acadêmico, preparando-me para os desafios futuros.

Agradeço especialmente à minha orientadora, Viviane Grubisic. Sua paciência, dedicação e orientação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sou profundamente grata pela oportunidade de aprender e crescer sob sua orientação.

Agradeço imensamente aos meus amigos da faculdade, cuja companhia e apoio foram fundamentais ao longo dessa jornada. A vida aqui na UFSC compartilhada com vocês é uma parte preciosa da minha experiência universitária, que levarei para sempre comigo. Compartilhamos momentos de alegria, apoio e superação de desafios, e cada experiência compartilhada foi uma fonte de crescimento e aprendizado. Sou grata por cada memória construída juntos.

“Demore o tempo que for para decidir o que você quer da vida, e depois que decidir não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo tentará te dissuadir.”

- Friedrich Nietzsche

RESUMO

A gestão de ativos tem se destacado como uma medida estratégica para aumentar a produtividade e competitividade das empresas. Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a criticidade de ativos de uma indústria de plásticos, a fim de orientar a definição de estratégias de manutenção. Os ativos considerados no estudo são as extrusoras e injetoras de uma das unidades da empresa. O trabalho é classificado como uma pesquisa de natureza aplicada, possui objetivos exploratórios, abordagem qualitativa e quantitativa e configura-se como pesquisa ação. Para tal, primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica sobre manutenção industrial e criticidade de ativos. Após, foram analisados documentos da empresa e coletados dados como tipologia e desempenho de suas extrusoras e injetoras, indicadores de manutenção, frequência de ocorrência dos tipos de manutenção. Entrevistas com 08 colaboradores da área de manutenção foram realizadas, visando obter uma melhor compreensão do setor de manutenção da empresa e avaliar as definições de abordagem qualitativa da análise de criticidade proposta. Um benchmarking para identificação de melhores práticas de análise de criticidade de ativos foi realizado com duas empresas parceiras. Como resultado, tem-se a proposta de critérios de decisão para a análise de criticidade dos ativos e um fluxograma de apoio à decisão da criticidade. Também, recomendações para a definição de estratégias de manutenção de acordo com cada nível de criticidade dos ativos são apresentadas. Com isso, pretende-se aprimorar a eficiência operacional do setor de manutenção da empresa e a gestão de seus ativos.

Palavras-chave: Manutenção. Gestão de Ativos. Matriz. Criticidade de Ativos. Estratégias.

ABSTRACT

Asset management has been highlighted as a strategic measure to increase companies' productivity and competitiveness. In this context, this study aims to analyze the criticality of assets in a plastics industry to guide the definition of maintenance strategies. The assets considered in the study are extruders and injection molding machines. The work is classified as applied research, with exploratory objectives, a qualitative and quantitative approach and is configured as action research. Firstly, a literature review was carried out on industrial maintenance and asset criticality. Afterwards, company documents were analyzed, and data collected, such as the type and performance of its extruders and injection molding machines, maintenance indicators and the frequency of occurrence of the types of maintenance. Interviews were carried out with 8 employees in the maintenance department, with the aim of gaining a better understanding of the company's maintenance sector and evaluating the definitions of the qualitative approach to the proposed criticality analysis. Benchmarking to identify best practices in asset criticality analysis was carried out with two partner companies. The result is a proposal for decision criteria for analyzing the criticality of assets and a flowchart to support criticality decisions. Recommendations for defining maintenance strategies according to each level of asset criticality are also presented. The aim is to improve the operational efficiency of the company's maintenance department and the company's asset management.

Keywords: Maintenance. Asset Management. Matrix. Asset Criticality. Strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Modelo de Sistema de Gestão de Ativos adotado	19
Figura 2 - Resultado do diagnóstico em nível de maturidade e gestão de ativos	20
Figura 3 - Diagnóstico do bloco Gestão	20
Figura 4 - Diagnóstico do bloco Ciclo de Vida	21
Figura 5 - Manutenção Preditiva e Manutenção Corretiva Planejada	32
Figura 6 - Tipos de Manutenção	34
Figura 7 – Atribuições básicas da Engenharia de Manutenção	35
Figura 8 - Resultados x Tipos de Manutenção	35
Figura 9 - Classificação ABC (Critérios e Fluxo Decisional)	45
Figura 10 - Cenários para análise de criticidade	46
Figura 11 - Quantidade de equipamentos conforme o nível de criticidade	48
Figura 12 - Enquadramento metodológico da pesquisa	50
Figura 13 - Etapas da pesquisa	53
Figura 14 - Etapas básicas da moldagem por injeção	55
Figura 15 - Máquina Injetora horizontal	56
Figura 16 - Etapas básicas da moldagem por extrusão	56
Figura 17 - Máquina extrusora de rosca simples	57
Figura 18 - Organograma da empresa	57
Figura 19 - Organograma do setor de manutenção	58
Figura 20- Fluxograma orientado à decisão de criticidade	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de avaliação da criticidade	33
Tabela 2 - Objetivo estratégico do setor de manutenção	46
Tabela 3 - Equipamentos considerados no estudo	46
Tabela 4 - Classificações para avaliação dos critérios	47
Tabela 5 - Critérios e classificação para criticidade	48
Tabela 6 - Criticidade em relação ao resultado quantitativo na avaliação	48
Tabela 7 - Exemplo de aplicação da Matriz de Criticidade	50
Tabela 8 - Quantidade e percentual de extrusoras classificadas em cada nível de criticidade	65
Tabela 9 - Quantidade e percentual de injetoras classificadas em cada nível de criticidade	65
Tabela 10 - Quantidade e percentual total dos equipamentos classificados em cada nível de criticidade	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução da Manutenção	19
Quadro 2 - Critérios e parâmetros utilizados em Análise de Criticidade	30
Quadro 3 - Estratégias de manutenção atuais da empresa	44
Quadro 4 - Critérios de criticidade da empresa	47
Quadro 5 - Estratégia de manutenção por criticidade	49
Quadro 6 - Participantes da pesquisa	51
Quadro 7 - Critérios decisores	56
Quadro 8 - Critério de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente	57
Quadro 9 - Critério de Impacto na Produção e Qualidade	58
Quadro 10 - Critério de Utilização do Equipamento	59
Quadro 11 - Critério de Tempo Médio para Reparo da Falha	60
Quadro 12 - Critério de Custo Médio de Reparo da Falha	60
Quadro 13 - Critério de Frequência de Falhas	61
Quadro 14 - Critérios decisores e suas classificações	62
Quadro 15 - Fluxograma orientado à decisão de criticidade	63
Quadro 16 - Estratégias de manutenção para equipamentos A	66
Quadro 17 - Estratégias de manutenção para equipamentos B	69
Quadro 18 - Estratégias de manutenção para equipamentos C	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIADURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CMF	Custo da Manutenção em relação ao faturamento bruto
CMP	Custo da Manutenção em relação ao patrimônio
EBITDA	<i>Earning Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
JIPM	<i>Japan Institute of Plant Maintenance</i>
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
S&OP	<i>Sales and Operations Planning</i>
SAP	<i>Software Applications and Products</i>
TMEF	Tempo Médio entre Falhas
TMPR	Tempo Médio para Reparo
WCM	<i>World Class Manufacturing</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo Geral.....	23
1.2.2 Objetivos Específicos.....	23
1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	23
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....	25
2.2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	26
2.2.1 Primeira Geração	26
2.2.2 Segunda Geração	26
2.2.3 Terceira Geração	27
2.2.4 Quarta Geração	28
2.2.5 Quinta Geração.....	28
2.2.6 Sexta Geração	28
2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO	31
2.3.1 Manutenção Corretiva	31
2.3.2 Manutenção Preventiva	32
2.3.3 Manutenção Preditiva	32
2.3.4 Manutenção Detectiva	34
2.3.5 Manutenção Prescritiva	34
2.3.6 Engenharia de Manutenção.....	35
2.4 GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO.....	37
2.5 INDICADORES DE MANUTENÇÃO	38
2.5.1 Confiabilidade.....	38
2.5.2 Mantenabilidade.....	39
2.5.3 Tempo Médio entre Falhas (TMEF).....	40
2.5.4 Tempo Médio para Reparo (TMPR).....	40
2.5.2 Disponibilidade.....	41
2.5.2 Custos de Manutenção.....	41
2.6 CRITICIDADE DE ATIVOS.....	42
2.7 CRITÉRIOS PARA A AVALIAÇÃO DA CRITICIDADE.....	43

2.8	MATRIZ DE CRITICIDADE	45
2.9	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	49
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	50
3.2	ETAPAS DA PESQUISA	51
3.2.1	Revisão Bibliográfica.....	52
3.2.2	Planejamento da Pesquisa.....	53
3.2.2.1	<i>Definir a unidade de análise</i>	53
3.2.2.2	<i>Caracterizar o setor de manutenção</i>	56
3.2.2.3	<i>Analisar documentos de criticidade de ativos da empresa.....</i>	61
3.2.2.4	<i>Realizar benchmarkings no tema</i>	64
3.2.2.5	<i>Definir os participantes da pesquisa.....</i>	66
3.2.2.7	<i>Definir os critérios de criticidade e selecionar o método para tomada de decisão.....</i>	68
3.2.2.7	<i>Definir os métodos e técnicas para a coleta de dados</i>	69
3.2.3	Coleta de Dados.....	70
3.2.3.1	<i>Exportar dados do sistema da empresa.....</i>	70
3.2.3.2	<i>Aplicar e documentar as entrevistas.....</i>	71
3.2.3.3	<i>Tabular os dados.....</i>	71
4	RESULTADOS	73
4.1	CRITÉRIOS DECISORES	73
4.2	AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES	74
4.2.1	Segurança do Trabalho e Meio Ambiente.....	74
4.2.2	Impacto na Produção e Qualidade	75
4.2.3	Utilização do Equipamento	77
4.2.4	Tempo Médio de Reparo da Falha	78
4.2.5	Custo Médio de Reparo da Falha	78
4.2.6	Frequência de Falhas	79
4.3	FLUXOGRAMA ORIENTADO À DECISÃO DA CRITICIDADE	82
4.4	APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES E FLUXOGRAMA ORIENTADO À DECISÃO DA CRITICIDADE.....	84
4.5	ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	85
4.5.1	Equipamentos A	86
4.5.2	Equipamentos B.....	90
4.5.3	Equipamentos C	93

5 DISCUSSÕES.....	96
5.1 CRITÉRIOS DECISORES	96
5.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES	98
5.3 FLUXOGRAMA ORIENTADO A DECISÃO DE CRITICIDADE	99
5.4 RESULTADO DA APLICAÇÃO DA MATRIZ DE CRITICIDADE	100
5.5 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	101
6 CONCLUSÃO	104
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	106
REFERÊNCIAS	107
APÊNDICE A.....	112
APÊNDICE B	113

1. INTRODUÇÃO

Diante de um cenário econômico globalizado e competitivo, é requerido que as organizações respondam aos novos desafios de forma rápida e com base em decisões estratégicas para o negócio (Davis, Heineke, 2005; Kardec, Nascif, 2019).

A condução moderna dos negócios não permite que haja espaços para improvisos, tornando imprescindível e fundamental a competência, criatividade, flexibilidade, velocidade, cultura de mudança e trabalho em equipe. Esses elementos têm um impacto direto em contribuir e sustentar o crescimento do negócio nos mercados globais (Sekine; Arai, 1998; Liker, 2004; Yusuff, 2004; Davis; Heineke, 2005; Ahuja; Khanba, 2008).

Frente a isso, dentro das funções administrativas e operacionais tem-se a produção e manutenção, ambas com a missão de manter funcionando a infraestrutura produtiva da organização. Em conjunto, busca-se entregar produtos ou serviços no tempo indicado, com a qualidade solicitada e a quantidade projetada. Em outras palavras, trata-se de garantir a confiabilidade e disponibilidade do sistema produtivo, e segurança humana e ambiental (Kardec; Nascif, 2019).

Na perspectiva da manutenção, falhas e quebras de máquinas geralmente resultam em efeitos indesejados no cronograma de produção, comprometendo a entrega e aumentando os custos operacionais, por exemplo, por meio de horas extras dos funcionários e retrabalho (Hooi, Leong, 2017; Habidin *et al.*, 2018). Quando as atividades de manutenção não são conduzidas adequadamente, a rentabilidade do negócio tende a ser prejudicada (Thun, 2008; Poduval *et al.*, 2015).

Segundo Velmurugan e Dhingra (2015), a manutenção não se limita a assegurar a disponibilidade do equipamento, mas também atingir as metas e os objetivos da organização.

Nunes e Valladares (2008, p. 4) enfatizam a importância desempenhada pela função manutenção:

Em linhas gerais, pode-se afirmar que toda evolução tecnológica dos equipamentos, processos e técnicas de manutenção, a necessidade de controles cada vez mais eficientes e de ferramentas de apoio à decisão, o desenvolvimento de estudos relativos ao desgaste e controle das falhas e suas consequências, a dependência de equipes treinadas e motivadas para enfrentar estes desafios, os custos de manutenção em termos absolutos e proporcionalmente às despesas globais, transformaram a gestão da manutenção em um segmento estratégico para o sucesso empresarial (Nunes; Valladares, 2008, p. 4).

Com o crescente reconhecimento da importância da manutenção como uma função estratégica, torna-se crucial a gestão da manutenção, a fim de maximizar o valor dos ativos de produção em relação à confiabilidade, custo e produtividade (Al - Turki *et al.*, 2014).

De acordo com a norma europeia BS EN 13306 (2017), a gestão da manutenção é definida como o conjunto das atividades de gestão que determinam as estratégias e responsabilidades, objetivos e implementações, envolvendo o planejamento, controle e melhoria das atividades da manutenção.

Para que isso seja possível, a atividade da manutenção industrial tem passado por uma significativa evolução, na qual pode-se adicionar as seguintes motivações para essas mudanças: o aumento da quantidade e diversidade de instalações e equipamentos necessários para a produção e que devem estar integralmente em condições adequadas para utilização; o aumento da complexidade de projetos; a introdução da Indústria 4.0, apoiada na Internet das Coisas e nos Sistemas Ciber Físicos e o surgimento contínuo de novas técnicas de manutenção (Kardec; Nascif, 2019).

Frente a esta evolução, a exigência de direcionar a atenção para a Gestão de Ativos, traz à tona a necessidade de a organização compreender o impacto de cada ativo presente em seu parque fabril e gerenciá-los de maneira estratégica, e é nesse contexto que emerge o debate acerca da importância da análise de criticidade dos ativos (Kermani, 2016).

A criticidade descreve a importância da função de um equipamento dentro de um processo produtivo, sob a óptica de aspectos específicos, definidos pela organização, tais como segurança, qualidade, meio ambiente, além de suas funções operacionais. As falhas ou quebras dentro de cada aspecto específico podem ser fundamentadas pelos seus impactos ao negócio da empresa, sendo a criticidade diretamente proporcional ao impacto desse item no processo. Quanto mais crítico for o item, maior deve ser o foco da manutenção sobre ele (Hijes; Cartagena, 2006; Hellman, 2008; Aven, 2009).

Nesse cenário, torna-se evidente que a análise da criticidade de ativos bem estruturada, desempenha um papel importante no setor de manutenção. Ela contribui não apenas na definição do plano de manutenção de equipamentos, mas também auxilia o setor na priorização de atividades, nas decisões de aquisição de peças sobressalentes e desenvolvimento de projetos específicos. Também, a gestão operacional da organização é aprimorada (Smith; Hinchcliffe, 2004; Kermani, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA

Tem-se conhecimento de que a indisponibilidade ou manutenção inadequada dos equipamentos tem impacto direto na qualidade do produto e na competitividade da empresa, uma vez que a ausência de planos de manutenção estratégicos e eficazes propiciam o aumento de manutenções corretivas emergenciais que acarretam maiores custos e maior indisponibilidade do parque fabril (Faccio *et al.*, 2014; Xenos, 2014).

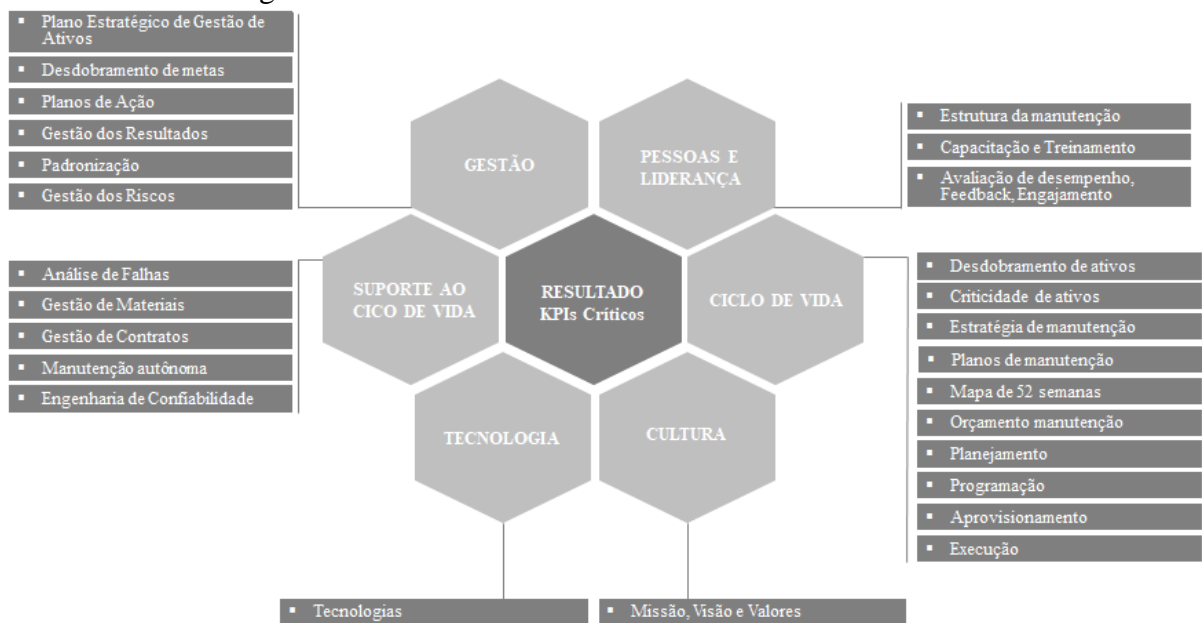
O estudo está centrado em uma empresa que atua no setor de materiais plásticos, localizada na cidade de Joinville, Santa Catarina. No ano de 2023, teve início um projeto de eficiência operacional em conjunto com uma empresa de consultoria, cuja fase de diagnóstico buscou avaliar a maturidade das práticas adotadas para o sistema de gestão de ativos a fim de identificar oportunidades de melhoria.

De acordo com a ISO 55000 (2014), um sistema de gestão de ativos é um conjunto de elementos interrelacionados e interagidos de uma organização, cuja função é estabelecer a política e objetivos de gestão de ativos e processos necessários para alcançar os objetivos da organização. Nesta definição fundamenta-se o modelo empregado no diagnóstico realizado pela empresa de consultoria, o qual analisa e integra os blocos de:

- Gestão
- Pessoas e Liderança
- Ciclo de Vida
- Cultura
- Tecnologia
- Suporte ao Ciclo de Vida

A esquematização do modelo de sistema de gestão de ativos adotado no diagnóstico realizado em 2023 é apresentada na Figura 1.

Figura 1- Modelo de Sistema de Gestão de Ativos adotado



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

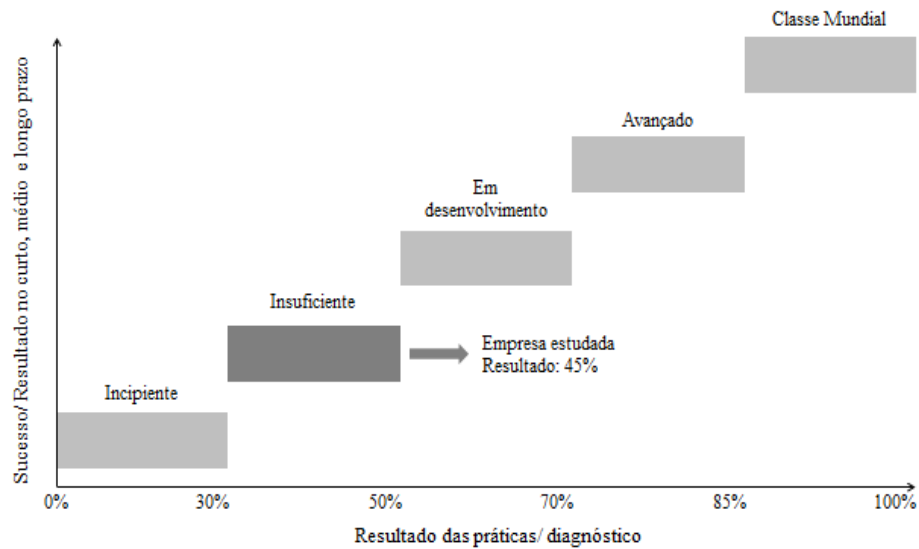
O modelo de sistema de gestão de ativos adotado mede a maturidade da empresa em relação a aderência às práticas de mercado conforme padrões da Manufatura de Classe Mundial¹.

A média dos resultados de maturidade das práticas individuais geram o resultado do bloco correspondente, e a média dos resultados dos blocos fornecem o resultado da maturidade do sistema de gestão de ativos.

O diagnóstico revelou um resultado de 45% em nível de maturidade para o sistema de gestão de ativos da empresa, encontrando-se na faixa definida como *insuficiente* de acordo com o modelo de diagnóstico realizado, conforme apresentado na Figura 2.

¹ A Manufatura de Classe Mundial, ou *World Class Manufacturing* (WCM), é um conjunto de métodos, técnicas e políticas fundamentadas nos princípios da produção enxuta para a gestão dos processos de uma organização (Passarella, 2007).

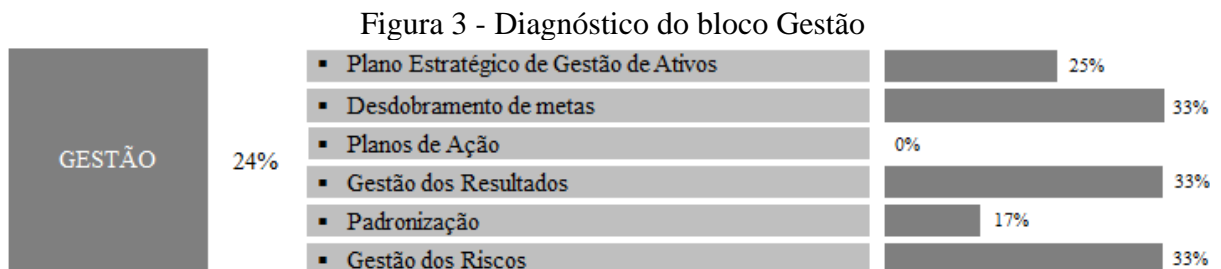
Figura 2 - Resultado do diagnóstico em nível de maturidade e gestão de ativos



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

À medida que o diagnóstico foi sendo detalhado, tornou-se evidente que as práticas que demandam maior evolução são aquelas relacionadas aos blocos de gestão e ciclo de vida de ativos, apresentando resultados individuais de maturidade de 24% e 57%, respectivamente em relação aos padrões Classe Mundial. Nesses dois temas encontra-se a problemática estudada neste trabalho.

Em se tratando do tema de práticas de gestão de ativos, com 24% em nível de maturidade, tem-se o desdobramento nos seguintes subníveis de práticas adotadas, conforme mostrado na Figura 3.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Considerando o foco desse trabalho, observa-se na Figura 3, um resultado do nível *incipiente* na prática de Plano Estratégico de Gestão de Ativos, com 25% em nível de maturidade. Com isso, pode-se concluir que a empresa não possui um planejamento claro e consolidado para a definição das estratégias de manutenção relacionadas à gestão de ativos.

Já ao analisarmos as práticas de ciclo de vida dos ativos, com 55% em nível de maturidade, tem-se o desdobramento nos seguintes subníveis de práticas adotadas, conforme mostrado na Figura 4.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Observa-se que a prática de Criticidade de Ativos obteve um resultado de nível *insuficiente*, com 33% em nível de maturidade. O detalhamento qualitativo do diagnóstico desta prática descreve que há evidências de que embora exista uma matriz para definição da criticidade específica para equipamentos, esta não tem se mostrado eficiente e eficaz na rotina do setor de manutenção da empresa, sendo sua última atualização realizada em 2017.

Alinhado a isso, observa-se que as práticas de Planos de Manutenção e Estratégia de Manutenção se encontram *em desenvolvimento*, com 42% e 67% em nível de maturidade respectivamente, o que demonstra que há oportunidades de melhoria para tais.

As principais oportunidades de melhorias gerais detalhadas no diagnóstico apresentado foram:

1. Não há padronização da criticidade, possuindo equipamentos com criticidade “D” não prevista;
2. Apenas 3% dos equipamentos do parque fabril são classificados com criticidade A (alta criticidade), o que para a empresa indica uma proporção considerada baixa.
3. As estratégias de manutenção definidas para cada criticidade não foram implementadas na rotina da manutenção, configurando-se mais como uma formalidade no sistema do que uma prática efetiva.

Diante da problemática exposta e da percepção da empresa de que há oportunidades de melhoria que integrem as duas práticas, a questão de pesquisa que motivou o desenvolvimento deste trabalho foi:

Como melhorar a gestão de ativos e a definição de estratégias de manutenção por meio da análise de criticidade dos ativos da empresa?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Propor uma análise de criticidade de ativos para definição de estratégias de manutenção voltada para uma indústria de plásticos

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral formulou-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Descrever os objetivos estratégicos específicos do setor de manutenção;
- b) Definir critérios de criticidade de ativos do processo produtivo;
- c) Definir o método para tomada de decisão da criticidade dos ativos;
- d) Propor estratégias de manutenção para cada nível de criticidade dos ativos;
- e) Avaliar a análise de criticidade proposta.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho se limitou à consideração dos equipamentos utilizados diretamente no processo produtivo da empresa, ou seja, que desempenham um papel central na transformação da matéria-prima em produto acabado. Tais equipamentos incluem as injetoras e extrusoras. A escolha deliberada de concentrar os esforços nesses ativos foi motivada pela necessidade de estabelecer uma base sólida para a aplicação da matriz de criticidade de ativos proposta.

Os resultados descritos neste trabalho são particulares da empresa em questão, podendo não ser diretamente aplicáveis a outras empresas. Além disso, as informações e resultados são apresentados de forma a manter o sigilo quanto à operação da empresa, sem que haja perda para a interpretação dos benefícios alcançados pelo estudo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O capítulo 1 foi dedicado à apresentação do contexto, caracterização e justificativa do problema abordado, bem como apresentar os objetivos propostos.

No capítulo 2 é descrita a fundamentação teórica que permite a compreensão do estudo e sustenta a relevância do trabalho. Nele serão explorados conceitos da manutenção industrial, bem como sua importância estratégica, a criticidade de ativos e seu papel na gestão da manutenção.

No capítulo 3 é descrita a metodologia utilizada no trabalho, sendo nele desdobrado o planejamento e as etapas que fizeram parte da estruturação do estudo.

No capítulo 4 e 5 são apresentados os resultados obtidos de acordo com as etapas da pesquisa, seguidos das análises e discussões.

Por fim, o capítulo 6 é dedicado às conclusões tomadas deste trabalho, sendo apresentadas as considerações finais, bem como possíveis recomendações para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados conceitos fundamentais para uma melhor compreensão do tema e desenvolvimento do trabalho acerca de manutenção industrial e criticidade de ativos.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Do ponto de vista etimológico, a palavra "manutenção" tem suas raízes na língua latina medieval *manus tentione*, combinação de "manus" que significa "mão" e "tentione" que se refere ao "ato de segurar". Quando consideradas em conjunto, essas palavras formam a expressão "ato de segurar com a mão" ou "ato ou efeito de manter", como explicado por Bormio (2000).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), manutenção é a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item² em estado no qual possa desempenhar uma função requerida (NBR 5462, 1994).

De maneira similar, a norma europeia BS EN 13306 (2017) descreve a manutenção como sendo a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e ações de gestão durante o ciclo de vida de um bem destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida, e acrescenta que as ações de manutenção técnica incluem a observação e a análise do estado do ativo, por meio de inspeção, monitorização, ensaio, diagnóstico, prognóstico, e ações de manutenção ativa, sendo elas reparação, renovação, etc (BS EN 13306, 2017).

Nesse contexto, a gestão da manutenção busca definir a estratégia de manutenção de acordo com os seguintes objetivos principais:

- Assegurar a disponibilidade do item para funcionar conforme necessário, a custos ótimos;
- Considerar a segurança, as pessoas, o ambiente e quaisquer outros requisitos obrigatórios associados ao ativo;
- Considerar qualquer impacto no ambiente;
- Garantir a durabilidade do objeto e/ou a qualidade do produto ou serviço prestado

² Item: Qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente

considerando os custos.

Todavia, para que esses objetivos fossem atingidos de maneira cada vez mais eficiente e estruturada, a manutenção industrial passou por diversas fases, sendo este o tópico a seguir.

2.2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Embora diferentes autores caracterizem estágios variados sobre a evolução da função manutenção ao longo do tempo, Kardec e Nascif (2019) apresentam seis principais gerações na evolução da manutenção.

2.2.1 Primeira Geração

O desenvolvimento técnico da manutenção está intrinsecamente ligado à história da tecnologia, tendo seu início com a invenção da máquina a vapor de James Watt (1736-1819), quando trouxe a necessidade de reparo das primeiras máquinas industriais (Tavares, 1999; Dhillon, 2006).

Na primeira geração da manutenção industrial, que engloba o período anterior à Segunda Guerra Mundial, tem-se um cenário em que a indústria era pouco mecanizada, com equipamentos de alta simplicidade e, majoritariamente, superdimensionados. Além do que, a questão da alta produtividade não era prioritária, motivada pela situação econômica da época (Kardec; Nascif, 2019).

Diante desse cenário, não havia uma abordagem sistemática para a manutenção, tendo apenas a execução de serviços básicos de limpeza, lubrificação e reparo somente após a ocorrência de quebras, ou seja, havia somente manutenções corretivas não planejadas. Com isso, o foco da manutenção industrial estava concentrado na habilidade do manutentor em realizar o reparo dos itens (Kardec; Nascif, 2019).

2.2.2 Segunda Geração

A segunda geração da manutenção industrial, engloba o período após a Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 70, sendo ela uma grande motivadora das mudanças ocorridas na atividade da manutenção. Durante a guerra, a demanda por diversos produtos sofreu um

aumento bastante significativo, enquanto o contingente de mão de obra industrial por sua vez sofria uma diminuição. Como resultado, este período foi marcado por uma forte expansão da mecanização e aumento da complexidade nas instalações industriais (Moubray, 1997; Kardec, Nascif, 2019).

Nesse contexto, tornou-se prioritária a busca por maior produtividade, o que coloca em evidência a necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade dos itens.

Em termos de manutenção, surgiu a manutenção preventiva com o objetivo de evitar falhas antes da parada do item. Ainda nesse contexto, começou a ficar evidente o aumento dos custos de manutenção em comparação com os outros custos operacionais, o que fez com que os sistemas de planejamento e controle da manutenção passassem a ser parte fundamental do setor (Kardec; Nascif, 2019).

2.2.3 Terceira Geração

A terceira geração da manutenção industrial, teve seu período iniciado em meados da década de 70, quando o ritmo de transformação nas indústrias teve uma aceleração intensa. A principal ênfase estava na produção sob demanda e na minimização de estoques (just-in-time), na melhoria da qualidade do produto, no aumento da durabilidade dos produtos e na diminuição do impacto ambiental com a redução de emissões poluentes (Moubray, 1997).

Diante desse cenário, as falhas em equipamentos passaram a ser vistas como tendo um impacto negativo cada vez mais abrangente, acarretando consequências sérias em termos de segurança e meio ambiente. Segundo Kardec e Nascif (2019), às exigências ligadas às condições de segurança e de meio ambiente foram de tal forma se consolidando, sendo que se as plantas não atendessem aos padrões estabelecidos, eram impedidas de operar.

Com isso, tem-se o conceito e adoção da manutenção preditiva, buscando prever e evitar falhas antes que elas ocorram. Além deste avanço, ocorreu a introdução de computadores e softwares potentes para o planejamento e controle das atividades de manutenção. Contudo, a terceira geração ainda deixa a lacuna da falta de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação, o que ainda dificultava a obtenção de resultados mais favoráveis (Kardec; Nascif, 2019).

2.2.4 Quarta Geração

Nesta geração, as práticas de manutenção preditiva tornam-se cada vez mais utilizadas, motivada pelo objetivo de intervir cada vez menos na planta. Por sua vez, a manutenção corretiva não planejada, planejada e preventiva passam por uma tendência de redução em sua aplicação (Kardec; Nascif, 2019).

Por fim, tem-se a consolidação de uma visão cada vez mais expressiva da função estratégica da manutenção, onde a sistemática adotada pelas empresas classe mundial promove a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação como fator de garantia dos aspectos de confiabilidade, disponibilidade e custo do ciclo de vida dos equipamentos (Kardec; Nascif, 2019).

2.2.5 Quinta Geração

A quinta geração da manutenção industrial, preserva as boas práticas da quarta geração, porém, enfatiza ainda mais os resultados empresariais e interação entre os departamentos. Nesta geração, o enfoque na gestão eficiente dos ativos enfatiza que os equipamentos devem operar em sua capacidade máxima, visando alcançar o melhor retorno sobre os ativos (ROA) ou retorno sobre o investimento (ROI) (Kardec; Nascif, 2019).

A administração concentra-se em implementar melhorias contínuas para reduzir falhas, com foco no desempenho dos ativos, bem como na excelência da engenharia da manutenção (Kardec; Nascif, 2019).

2.2.6 Sexta Geração

No período de 2010 a 2015 é criado o conceito de Indústria 4.0, que compreende a integração completa e a digitalização, promovendo a criação de valor na indústria. As tecnologias disponíveis na Indústria 4.0 passaram a permitir modificações nos métodos de manufatura e nos métodos de manutenção.

Na Indústria 4.0, é possível aprimorar o monitoramento e controle dos equipamentos e sistemas por meio de sensores avançados, tendo capacidade de prever a ocorrência de falhas e ainda sugerir ações a serem tomadas, nascendo o conceito de Manutenção Inteligente, tendo como tipo de manutenção característico a manutenção prescritiva.

Portanto, nesta geração vê-se que a adoção de novas tecnologias e utilização de dados (Big Data) se torna característica principal, associada a análises de maior complexidade e aplicação de conceitos de *Machine Learning* que possibilitam que sistemas inteligentes operem de forma autônoma e aprimorem constantemente a eficiência e a precisão das saídas de dados (Kardec; Nascif, 2019).

A fim de consolidar e resumir a trajetória da evolução da manutenção descrita até aqui, o Quadro 1 é apresentado.

Quadro 1 - Evolução da Manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO																		
Geração	Primeira Geração			Segunda Geração			Terceira Geração			Quarta Geração			Quinta Geração			Sexta Geração		
Ano	1940		1950	1960		1970	1980		1990	2000		2005	2010		2015	2020		2025
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	*Conserto após a falha			*Disponibilidade crescente * Maior vida útil do equipamento			*Maior confiabilidade * Maior disponibilidade * Melhor relação custo-benefício *Preservação do meio ambiente			* Maior confiabilidade * Maior disponibilidade * Preservação do meio ambiente * Segurança * Gerenciar ativos * Influir nos resultados do negócio			* Gerenciar os ativos * Otimizar os ciclos de vida dos ativos * Influir nos resultados do negócio			* Elevada Confiabilidade * Elevada Disponibilidade * Otimizar o ciclo da vida dos ativos * Influir nos resultados do negócio * Manutenção inteligente		
Visão quanto à falha do ativo	*Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham			*Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira			* Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray)			*Reduzir drasticamente falhas prematuras dps padrões A e F.			* Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas			* Falhas monitoradas por sensores inteligentes e algoritmos * Aprendizado das máquinas		
Mudança nas técnicas de manutenção	*Habilidades voltadas para o reparo			* Planejamento manual da manutenção * Computadores grandes e lentos * Manutenção preventiva (por tempo)			*Monitoramento da condição * Manutenção preditiva * Análise de risco * Computadores pequenos e rápidos * Softwares potentes * Grupos de trabalho disciplinares * Projetos voltados para a confiabilidade			*Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição * Redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada * Análise de falhas * Técnicas de confiabilidade * Manutenibilidade * Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade * Contratação por resultados			* Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição on e off-line * Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção dos ativos * Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência * Implementar melhorias objetivando redução de falhas * Excelência em engenharia de manutenção * Consolidação da contratação dos resultados			* Adoção da Manutenção Prescritiva * Manutenção Preditiva associada à análise complexa * Monitoramento via imagens * Redução significativa nos demais tipos de manutenção * Big Data concentra todas as informações permitindo auto diagnóstico e atuação seletiva * Capacitação do pessoal em Tecnologia da Informação e da Comunicação		

Fonte: Kardec; Nascif (2019)

A seção seguinte abordará os tipos de manutenção comumente encontrados na literatura.

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A forma como ocorre a intervenção nos itens distingue os vários tipos de manutenção, que foram sendo introduzidos com o passar dos anos. Segundo Kardec e Nascif (2019), existem 7 tipos ou estratégias de manutenção, a serem vistos a seguir.

2.3.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR 5462-1994). De maneira similar, Kardec e Nascif (2019), citam que a manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado, o que implica em dois tipos de manutenção corretivas: Manutenção Corretiva Não Planejada e Manutenção Corretiva Planejada.

A Manutenção Corretiva Não Planejada, Não Programada ou Emergencial é a correção da falha sem a programação do serviço, caracterizada pela atuação da manutenção em fato já ocorrido.

O maior causador deste tipo de manutenção é a falta ou a ineficiência de um departamento de manutenção. Normalmente, a manutenção corretiva não planejada implica em altos custos, devido às perdas de produção que podem ter sido acarretadas pela quebra inesperada do item, perda da qualidade do produto e possíveis custos indiretos de manutenção (Kardec; Nascif, 2019).

A Manutenção Corretiva Planejada ou Programada é caracterizada por uma perspectiva que prioriza aprimorar o desempenho do item, um olhar mais voltado à melhoria. Normalmente, a decisão para a aplicação deste tipo de manutenção se baseia na decisão gerencial de modificação dos parâmetros de condição observados pela manutenção preditiva, que será vista mais adiante (Kardec; Nascif, 2019).

2.3.2 Manutenção Preventiva

Segundo a NBR 5462 (1964), a Manutenção Preventiva é executada em períodos pré-estabelecidos, ou de acordo com critérios prescritos, com o intuito de reduzir ou substituir algum item em degradação ou que apresenta probabilidade de falha.

A manutenção preventiva deve ser realizada em intervalos definidos de tempo de modo a manter o item em suas condições de conservação e funcionamento, evitando paradas imprevistas (Almeida, 2014).

Como exemplo de manutenção preventiva, tem-se lubrificação de itens de acordo com estudos sobre os equipamentos ou dados dos fabricantes (Mobley; Higgins; Smith, 2002).

De acordo com Kardec e Nascif (2019), a Manutenção Preventiva é indicada para equipamentos críticos que precisam estar disponíveis e em boas condições de funcionamento, com isso, alguns fatores devem ser levados em consideração para a sua implementação:

- Quando não é possível a implementação de manutenção preditiva no item;
- Quando há aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação do equipamento que tornam mandatória a intervenção;
- Quando há riscos de agressão ao meio ambiente;
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua.

2.3.3 Manutenção Preditiva

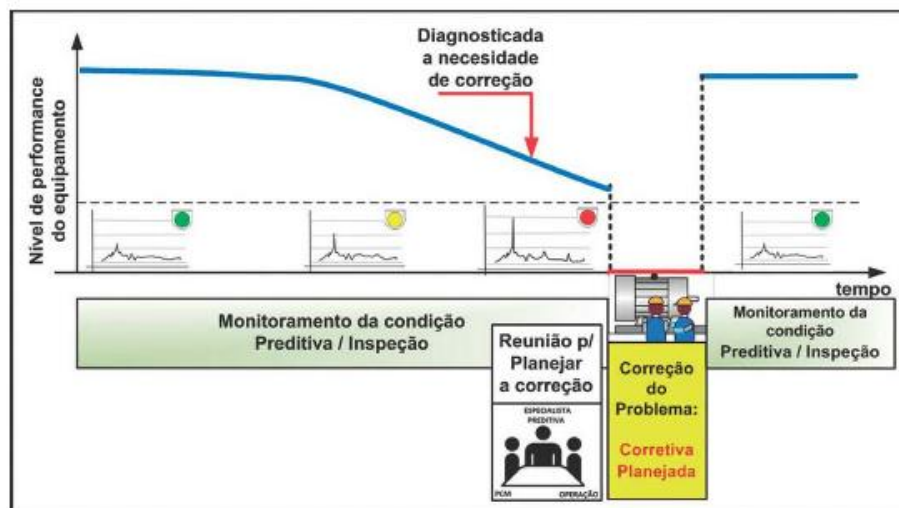
Conforme a BS EN 13306 (2017), a manutenção preditiva é condicionada de acordo com previsões provenientes de análises repetidas de parâmetros relevantes para o funcionamento de um item. Essa definição está em consonância com a apresentada por Kardec e Nascif (2019), que destacam a manutenção preditiva como a prática de monitorar a condição dos equipamentos por meio de técnicas preditivas, ainda com ele em funcionamento, garantindo a continuidade na operação de processos e/ou sistemas industriais.

Como exemplo de técnica de manutenção preditiva, pode-se citar as inspeções sensitivas realizadas nos equipamentos, sendo caracterizada como uma atividade de caráter simples, baseada na premissa da utilização dos cinco sentidos humanos para a detecção de possíveis irregularidades e posterior bloqueio das mesmas, de modo a evitar paradas inesperadas (Viana,

2014; Kardec; Nascif, 2019). Outros exemplos de técnicas presentes neste tipo de manutenção são a análise de vibração, a termografia e a ferrografia (Toazza; Sellito, 2015)

A Manutenção Preditiva busca promover a disponibilidade e confiabilidade de itens à proporção que não estimula a intervenção desnecessária. Também, é considerada como o tipo de manutenção que gera qualidade à atividade da manutenção, pois possibilita o planejamento da execução desta atividade, uma vez que a intervenção é decidida, faz-se uma Manutenção Corretiva Planejada, conforme ilustrado da Figura 5 (NBR 5462-1994; Kardec; Nascif, 2019).

Figura 5 - Manutenção Preditiva e Manutenção Corretiva Planejada



Fonte: Kardec; Nascif, (2019)

Para que seja possível a implementação da Manutenção Preditiva, algumas condições devem ser levadas em consideração, segundo Kardec e Nascif (2019):

- O item deve permitir algum tipo de monitoramento/medição;
- O item deve merecer esse tipo de ação, em função dos custos envolvidos;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter suas progressões acompanhadas;
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

2.3.4 Manutenção Detectiva

A Manutenção Detectiva teve início na década de 90 e é definida como o tipo de manutenção que averigua os sistemas de proteção, comando e controle com o intuito de detectar as falhas ocultas nos equipamentos que dificilmente serão percebidas pelos operadores e manutenções (Kardec; Nascif, 2019). De maneira análoga, Souza (2008) descreve que o objetivo da prática desta política é aumentar a confiabilidade dos equipamentos, haja vista que se caracteriza pela intervenção em sistemas de proteção para detectar falhas ocultas e não perceptíveis ao pessoal da operação.

Para identificar as falhas ocultas e não perceptíveis, podem ser utilizados dispositivos como alarmes em painéis e botões com lâmpadas de sinalização, entre outros. A adoção desses recursos aumenta a confiabilidade dos equipamentos, pois permite o acompanhamento contínuo de possíveis problemas que possam afetar o funcionamento das máquinas (Kardec; Nascif, 2019).

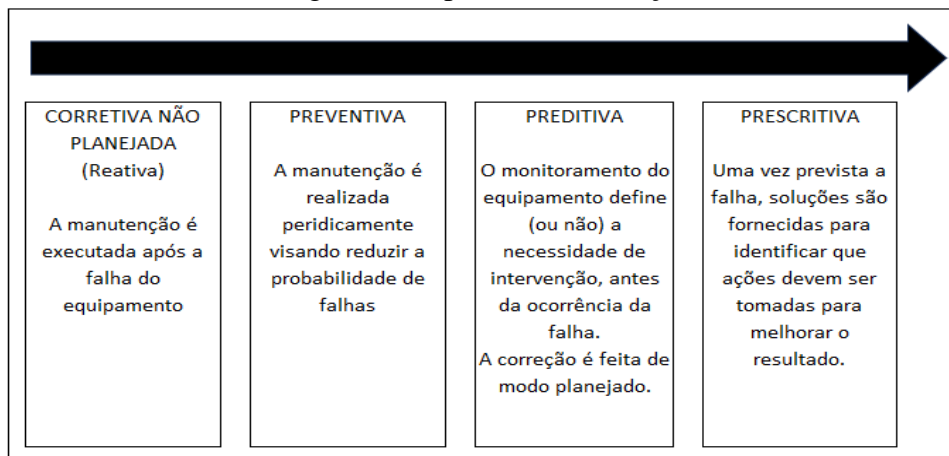
A Manutenção Detectiva permite realizar verificações no sistema, sem tirá-lo de operação, sendo assim capazes de identificar falhas ocultas, e preferencialmente podem corrigir a situação, mantendo o sistema operando (Kardec; Nascif, 2019).

2.3.5 Manutenção Prescritiva

Kardec e Nascif (2019) defendem que a manutenção prescritiva se baseia na análise prescritiva cuja diferença da análise preditiva está em, além de prever, também poder oferecer alternativas de solução.

Esse comportamento analítico se dá pela incorporação das tecnologias nascidas na Indústria 4.0, conforme mencionado na seção 2.2.6, estando presente por meio da Internet das Coisas, um grande conjunto de dados (Big Data), Inteligência Artificial e, por meio de algoritmos. Nesse contexto, tais práticas possuem a finalidade de indicar ou recomendar as ações/atividades de manutenção, prescrevendo diretrizes para alcançar o melhor resultado, sendo que uma das principais diferenças reside no fato de que os ativos, por si só, comunicarão suas necessidades caso não consigam se autorreparar (Kardec; Nascif, 2019). A Figura 6 apresenta um resumo dos tipos de manutenção descritas.

Figura 6 - Tipos de Manutenção



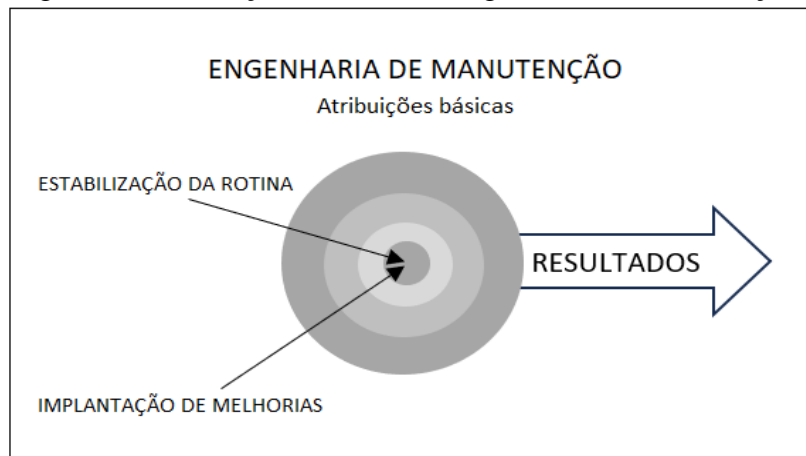
Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

2.3.6 Engenharia de Manutenção

Viana (2014) define a engenharia de manutenção como a área responsável por promover o progresso tecnológico da manutenção, por meio da aplicação de conhecimentos científicos e empíricos para a solução dos mais diversos tipos de problemas encontrados nos processos e nos equipamentos.

Para Kardec e Nascif (2019), a Engenharia de Manutenção traduz-se como uma evolução da manutenção industrial, e tem como objetivo perseguir “*benchmarks*”, se referindo ao compartilhamento de boas práticas entre empresas, aplicação de técnicas modernas e nivelando com a manutenção de Primeiro Mundo. Pode ser compreendida como o suporte técnico da manutenção, estando dedicada a consolidar a rotina e implantar a melhoria a fim de obter o alcance dos resultados da organização, como esquematizado na Figura 7.

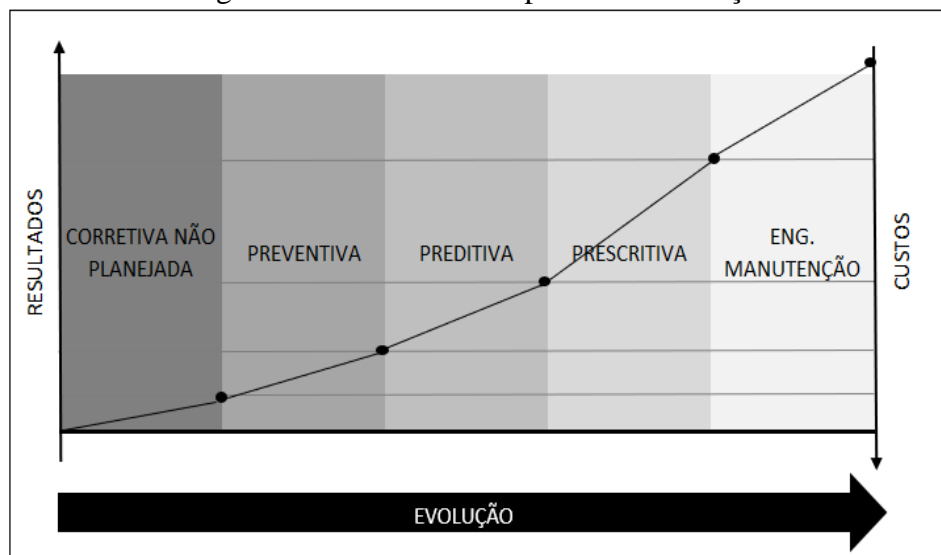
Figura 7 – Atribuições básicas da Engenharia de Manutenção



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

Além disso, os autores destacam os objetivos da engenharia de manutenção em melhorar a manutenibilidade do equipamento, aumentar a produtividade, eliminar riscos relacionados à segurança do trabalho e ao meio ambiente, e seu papel frente a função estratégica da manutenção rumo a patamares de excelência com altos ganhos em resultados.

Figura 8 - Resultados x Tipos de Manutenção



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

A representação gráfica na figura 8 oferece uma clara visão da evolução da manutenção, partindo da estratégia corretiva até a implementação da engenharia de manutenção. Isso evidencia o progressivo aumento dos indicadores de disponibilidade, confiabilidade, segurança e aspectos ambientais, ao mesmo tempo em que ocorre a redução dos custos associados à manutenção.

2.4 GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO

A gestão da manutenção tem seu início na etapa de formulação da ideia central, por meio da definição correta da missão da manutenção, seus conceitos básicos, seus novos paradigmas e sua aplicação de forma eficiente. Além disso, a gestão deve abranger todas as ações, tomadas de decisões e deliberações referentes a tudo o que precisa ser executado, adquirido, utilizado, coordenado e supervisionado para gerenciar os recursos destinados à função da manutenção de forma a garantir a prestação dos serviços esperados (Souza, 2008; Kardec; Nascif, 2019).

Nesse contexto, para que a manutenção adquira um caráter estratégico, é fundamental direcionar suas ações aos resultados empresariais da organização por meio da interconexão com o planejamento estratégico (Fabro, 2003).

O planejamento estratégico configura-se como um elemento fundamental em toda e qualquer organização. Empresas adotam o planejamento estratégico como uma atividade administrativa primordial, destinada a estabelecer metas de médio e longo prazo, bem como a elaborar estratégias para alcançá-las da maneira mais eficiente possível (Pires; Carpinetti, 2000).

Segundo Tubino (1999), o planejamento estratégico é elaborado com o objetivo do cumprimento da missão da empresa, tendo nível corporativo que define estratégias globais, a estratégia corporativa, apontando as áreas de negócios nas quais a empresa irá participar, e a organização e distribuição de recursos para cada uma destas áreas ao longo do tempo, com decisões que não podem ser descentralizadas.

Após a definição do planejamento estratégico, é comum proceder à sua subdivisão em dois subníveis de estratégia: um a nível de unidade de negócios e outro no âmbito funcional ou operacional. É neste âmbito funcional ou operacional, que a manutenção industrial deve estabelecer seus objetivos estratégicos de maneira a alinhar-se com as metas definidas no planejamento estratégico da empresa. Essa interconexão assume uma relevância crucial, uma vez que o êxito e competitividade da empresa está cada vez mais intrinsecamente ligado à gestão bem-sucedida da manutenção (Madu, 2000).

O foco principal está em assegurar a disponibilidade dos equipamentos, a fim de minimizar a ocorrência de paradas não programadas na produção, deixando de ser vista como um gasto adicional para a empresa e passando a ser encarada como fator estratégico para redução dos custos totais de produção (Kardec; Nascif, 2019).

2.5 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Indicadores podem ser definidos como dados ou informações numéricas essenciais, que representam fenômenos e eventos, sendo eles utilizados para quantificar um processo ou seus resultados. Desse modo, indicadores de manutenção buscam avaliar métricas, abrangendo desde o tempo de reparo dos equipamentos até o desempenho do processo produtivo (Silveira, 2018).

De acordo com Pinto (2002), para um sistema de gestão e controle de manutenção ser eficiente, é fundamental o uso de indicadores de desempenho que revelem pontos fracos e identifiquem problemas que estejam causando resultados indesejáveis. Viana (2014) acrescenta que esses indicadores devem abranger aspectos cruciais do processo produtivo e acrescentar valor, evitando a alocação de recursos em métricas sem relevância.

Nesse contexto, os indicadores mais comumente utilizados são: Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade, Tempo Médio entre Falhas (TMEF), Tempo Médio para Reparo (TMPR) e Custos de Manutenção (Oliveira; Lima, 2002; Kardec; Nascif, 2019).

2.5.1 Confiabilidade

A confiabilidade, do inglês *reliability* é a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo (NBR 5462 - 1994).

Um indicador de referência para avaliar a confiabilidade de um equipamento é a Taxa de Falha (λ), definida como a frequência com que as falhas ocorrem, num certo intervalo de tempo, medida pelo número de falhas para cada hora de operação ou número de operações do sistema ou componente.

A Taxa de Falha é representada pela Equação (1).

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número de horas de operação}} \quad (1)$$

De acordo com Kardec e Nascif (2019), o inverso da Taxa de Falha é o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), conforme Equação (2):

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} \quad (2)$$

Por fim, a confiabilidade de um item pode ser expressa conforme a Equação (3), segundo a distribuição exponencial:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Onde:

R (t) = confiabilidade a qualquer tempo t.

e = base dos logaritmos neperianos (e = 2,718)

λ = taxa de falhas

t = tempo previsto de operação

2.5.2 Manutenibilidade

Mantenabilidade ou manutenibilidade, do inglês *Maintainability*, é definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar as suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos, podendo também resumi-la como simplicidade de manutenção (NBR 5462, 1994; Fabro, 2003).

Monchy (1987) apresenta a seguinte definição probabilística para Manutenibilidade:

“É a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limites de tempo desejados, quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos”

Esse indicador é calculado pela Equação (4):

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (4)$$

Onde:

$M(t)$ = a função manutenibilidade, que representa a probabilidade de que o reparo comece no tempo $t = 0$ e esteja concluído, satisfatoriamente, no tempo t (probabilidade da duração do reparo).

e = base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$).

μ = taxa de reparos ou números de reparos efetuados em relação ao total de horas de reparo do equipamento.

t = tempo previsto de reparo.

2.5.3 Tempo Médio Entre Falhas (TMEF)

O indicador de Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), sigla também originada do inglês *Mean Time Between Failures (MTBF)*, descreve a frequência de intervenções no equipamento durante determinado tempo específico (Martins, 2012).

Este indicador é um dos mais importantes da manutenção industrial, sendo que por meio dele pode-se calcular vários outros indicadores. Este indicador consiste em medir o tempo médio entre uma falha e outra, sendo que a forma mais eficiente de o administrar é por meio da aplicação a cada equipamento, que facilitará as ações a serem tomadas (Teles, 2019). A Equação (5) mostra como calculá-lo:

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Somatório das horas de trabalho em bom funcionamento}}{\text{Número de paradas para manutenção corretiva}} \quad (5)$$

2.5.4 Tempo Médio para Reparo (TMPR)

O indicador de Tempo Médio para Reparo (TMPR), sigla também originada do inglês *Mean Time to Repair (MTTR)*, descreve o tempo médio em que um item deixa de operar devido a uma ação relacionada à atividade de manutenção (Martins, 2012).

Este indicador é usado, principalmente para analisar a eficiência dos trabalhos de reparo das equipes de manutenção. É possível medir quanto tempo as equipes se dedicam às soluções de problemas corriqueiros e repetitivos, com a finalidade de encontrar a causa raiz do problema

e assim, traçar estratégias de solução (Teles, 2019). A Equação (6) mostra como calcular o TMPR dos equipamentos.

$$\text{TMPR} = \frac{\text{Somatório dos Tempos de Reparo}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (6)$$

2.5.5 Disponibilidade

Disponibilidade, do inglês *Availability*, é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (NBR 5462, 1994).

Uma vez que temos os valores do TMEF e do TMPR, pode-se calcular a disponibilidade conforme a Equação (7):

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} \quad (7)$$

2.5.6 Custos de Manutenção

A composição dos custos de manutenção inclui basicamente os custos da mão de obra própria, custo de serviços de terceiros e custo de material, sendo classificados em custos diretos e custos indiretos. Os custos diretos referem-se aos custos necessários para manter os itens em operação, custos de perda de produção, se referindo aos custos causados pela falha do equipamento principal sem que um reserva, quando existir, esteja disponível para manter a unidade produzindo. Os custos indiretos são aqueles relacionados com a estrutura gerencial e de apoio administrativo, custo com análises e estudos de melhoria, engenharia de manutenção e supervisão, dentre outros (Cabral, 2004; Kardec; Nascif, 2019).

De acordo com Kardec e Nascif (2019), dois indicadores são comumente utilizados para analisar o custo da manutenção em nível empresarial macro:

- Custo da Manutenção em relação ao faturamento bruto da empresa (%)

- Custo da Manutenção em relação ao patrimônio (ou Valor Estimado dos Ativos) (%)

O Custo da Manutenção em relação ao faturamento bruto (CMF) é calculado conforme a Equação (8):

$$CMF = \frac{\text{Custo Total de Manutenção}}{\text{Faturamento bruto}} \quad (8)$$

Por outro lado, o indicador Custo da Manutenção em relação ao patrimônio (CMP), compreendido como a relação entre o custo total de manutenção de um equipamento e o valor de compra do equipamento, é calculado conforme a Equação (9):

$$CMP = \frac{\text{Custo Total de Manutenção}}{\text{Valor de compra do equipamento}} \quad (9)$$

Segundo Viana (2014), a aplicação desse indicador é pertinente para ativos de alta criticidade, uma vez que a coleta dos valores monetários demanda um tempo considerável.

2.6 CRITICIDADE DE ATIVOS

Uma empresa é composta por uma cadeia de ativos, onde cada um tem a função de gerar retorno financeiro. Os ativos representam os mais variados equipamentos e sucessivamente possuem a sua relevância no que tange aos níveis de criticidade (Teles, 2019).

A criticidade de um ativo está sujeita a diferentes interpretações, dependendo do objetivo e contexto no qual ela é analisada (Moss; Woodhouse, 1999).

Segundo Hellman (2008), a criticidade descreve a importância da função de um item dentro de um processo produtivo, sob os aspectos de segurança, qualidade, meio ambiente, além de funções operacionais, sendo que as falhas ou quebras dentro de cada fator podem ser fundamentadas pelas suas consequências. No presente trabalho, a definição proposta por Hellman (2008) será adotada, considerando as especificidades da empresa da pesquisa

Os métodos de avaliação da criticidade são utilizados para identificar os equipamentos críticos numa indústria que requerem uma atenção especial. Ela informa o quanto um item pode ser fundamental dentro do contexto operacional de um sistema, onde sua falha ou baixo desempenho podem acarretar graves consequências, como acidentes com pessoas, danos ambientais, impactos econômicos e operacionais, sendo a criticidade diretamente proporcional

ao impacto desse item no processo. Quanto mais crítico for o item, maior deve ser o foco da manutenção sobre ele (Hijes; Cartagena, 2006; Aven, 2009; Kermani, 2016).

Empresas de manufatura geralmente utilizam métodos conhecidos para a avaliação de criticidade dos equipamentos, seja FMEA, classificação ABC (Márquez *et al.*, 2009; Bengtsson, 2011), análise de risco (Moss; Woodhouse, 1999), análise baseada em lógica difusa (Ratnayake; Antosz, 2017), entre outras (Gopalakrishinan *et al.*, 2019).

Diante disso, vê-se que a avaliação da criticidade assume um papel de extrema importância na formulação dos planos e estratégias de manutenção de equipamentos, tendo como propósito a identificação e categorização de possíveis efeitos e eventos, com base em seu impacto e relevância para o processo. Essa abordagem é empregada em análises e avaliação de projetos, assim como para instalações em operação, sendo também mandatória em sistemas voltados para segurança e meio ambiente, podendo ser realizada tanto de maneira quantitativa quanto qualitativa (Smith; Hinchcliffe, 2004).

A abordagem quantitativa na avaliação de criticidade de itens consiste na obtenção de um número crítico a partir da relação dos indicadores de manutenção. O método qualitativo é utilizado quando não há dados disponíveis sobre falhas, sendo necessário classificar a criticidade de forma subjetiva com base no conhecimento tácito da equipe de análise (MIL1629, 1980; IEC 60812, 2006).

A correta classificação da criticidade de um item permite que o setor de manutenção tenha uma melhor eficácia na escolha de suas ações, ou seja, na escolha do tipo de manutenção a ser adotado em cada ativo, visando otimizar a aplicação dos recursos e diminuindo os custos com manutenção e paradas de produção (Brito, 2003).

2.7 CRITÉRIOS PARA A AVALIAÇÃO DA CRITICIDADE

Conforme observado por Siqueira (2009), é comum em muitas instalações industriais a falta de uma seleção criteriosa dos parâmetros que influenciam a criticidade dos itens. Nesse contexto, a avaliação da criticidade é frequentemente fundamentada na experiência e no conhecimento tácito da equipe de manutenção, complementados por informações técnicas disponíveis sobre o item.

Baran *et al.* (2013) apresentam os principais critérios utilizados na avaliação de criticidade de equipamentos industriais, conforme mostrado no Quadro 2:

Quadro 2 - Critérios e parâmetros utilizados em Análise de Criticidade

Critério	Requisitos de avaliação	Autores
Segurança e meio-ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Ameaça a vida dos colaboradores; • Risco a saúde dos colaboradores; • Ameaça coletiva a sociedade; • Infração a normas e leis ambientais; 	Mobley <i>et al.</i> (2008); Siqueira (2009); Moubray (1997)
Critérios econômico-financeiros	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de produção; • Custos diretos e indiretos; • Capacidade de alterar a produção; • Impacto na eficiência do processo; • Consumo demasiado de recursos; • Custos de procedimentos de manutenção; • Custos de peças e sobressalentes; 	Moubray (1997); Siqueira (2009); Mobley <i>et al.</i> (2008);
Critérios de produção e qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração no regime produtivo; • Reclamações de clientes (externo-internos); • Impacto na qualidade do produto; • Equipamentos sem sobressalentes; • Equipamentos “gargalos” na produção; • Impacto provoca danos no equipamento ou equipamentos vizinhos; 	Ribeiro (2010); Helmann (2008); Siqueira (2009);
Disponibilidade, confiabilidade e frequência das falhas	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo médio entre falhas (MTBF); • Tempo médio de reparo (MDT); • Taxa de falha; • Confiabilidade; • Frequência de falha; 	Campbell & Jardine (2001); Dilhon (2006); Smith & Hinchcliffe (2004);

Fonte: Baran *et al.* (2013)

Ainda segundo Siqueira (2009), apenas informações de natureza técnica não proporcionam uma avaliação completa da criticidade de um equipamento. Para uma análise abrangente, é necessário incorporar outros critérios, tais como: inter-relações entre os equipamentos e o processo produtivo, riscos associados ao potencial de falhas, implicações financeiras, considerações ambientais, questões de segurança, aspectos econômicos, e parâmetros de qualidade, juntamente com critérios específicos de cada setor industrial.

De forma complementar, Viana (2014) estabelece alguns fatores para definição das estratégias de manutenção, que podem ser direcionadores da definição de critérios para a avaliação de criticidade:

- Recomendações do fabricante: Fatores sobre o item como conservação, periodicidade de manutenção, ajustes e calibrações, procedimentos de correção de falhas, entre outros.
- Segurança de Trabalho e Meio Ambiente: Fator que analisa as exigências legais para manuseio de equipamentos que devem ser observadas, bem como sua interação com o meio ambiente, objetivando sempre a integração perfeita entre Homem - Máquina - Meio Ambiente.
- Característica do item: Fator que analisa as características da falha, tempo médio entre falhas, vida útil mínima e modalidade de falha. As características do reparo também

devem ser levadas em consideração, bem como o tempo médio de reparo e o tempo disponível após a pane, antes que a produção seja afetada.

- Fator econômico: Fator que analisa a composição dos custos de manutenção atrelados, sendo os custos de recursos humanos, de material, de interferência na produção e de perdas no processo.

2.8 MATRIZ DE CRITICIDADE

Para que a avaliação e classificação da criticidade de ativos seja possível, a matriz de criticidade é uma ferramenta amplamente utilizada. Essa matriz constitui-se como uma ferramenta visual que desempenha um papel fundamental na identificação e comparação das falhas de todos os itens de um subsistema ou sistema sob análise. A Matriz de Criticidade se baseia na avaliação da relação entre a probabilidade de ocorrência de uma falha e seu impacto em diferentes critérios de avaliação (IEC, 2006).

O JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) (1995) sugere a adoção da Classificação ABC como uma metodologia para avaliar a criticidade de itens em um contexto industrial. Essa metodologia é implementada com o auxílio da análise dos critérios escolhidos e do fluxograma orientado para a decisão da criticidade do item, ilustrado na Figura 9.

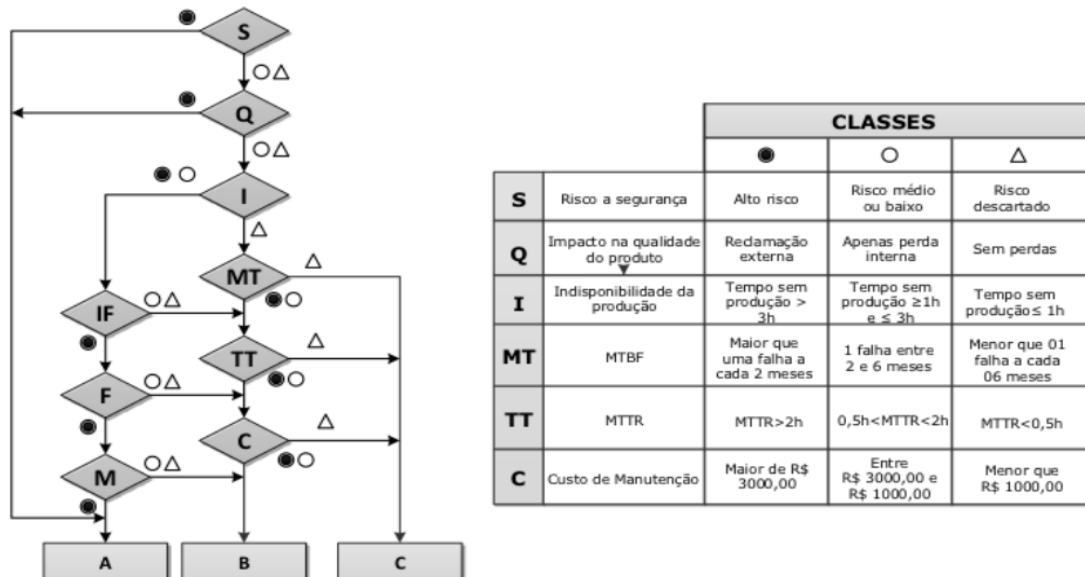
A classificação dos itens em A, B ou C deve ser feita em conjunto com as áreas estratégicas de cada empresa. Geralmente, envolvem Segurança, Meio Ambiente, Qualidade e Manufatura junto à Manutenção (Ribeiro, 2010).

Após a conclusão da análise, as atividades de manutenção são direcionadas para cada item de acordo com sua criticidade:

- **Nível de Criticidade A:** Engloba itens de alta criticidade para o processo, exigindo uma estratégia de manutenção abrangente, que inclui abordagens preventivas e preditivas, análise de falhas, manutenção e operação, equipes dedicadas à melhoria contínua, equipes focadas na redução de falhas e a aplicação de metodologias como MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) ou FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* - Análise de Modos de Falha e seus Efeitos).
- **Nível de Criticidade B:** Compreende itens de importância significativa para o processo, permitindo a aplicação de técnicas como manutenção preventiva ou preditiva. Também, é apropriado envolver equipes e grupos de melhoria na análise de falhas e manutenção desses itens.

- **Nível de Criticidade C:** Inclui itens com baixo impacto no processo, para os quais são aplicadas estratégias de manutenção mais simples, como manutenção corretiva e, quando aplicável, manutenção preventiva e preditiva em equipamentos utilitários. O monitoramento de falhas é empregado para evitar recorrências.

Figura 9 - Classificação ABC (Critérios e Fluxo Decisional)



Fonte: JIPM (1995)

Como dito anteriormente, a Figura 9 apresenta um fluxograma para direcionar o fluxo de decisão sobre a criticidade do equipamento, sendo essa avaliação feita com o auxílio do quadro disposto à direita da mesma figura.

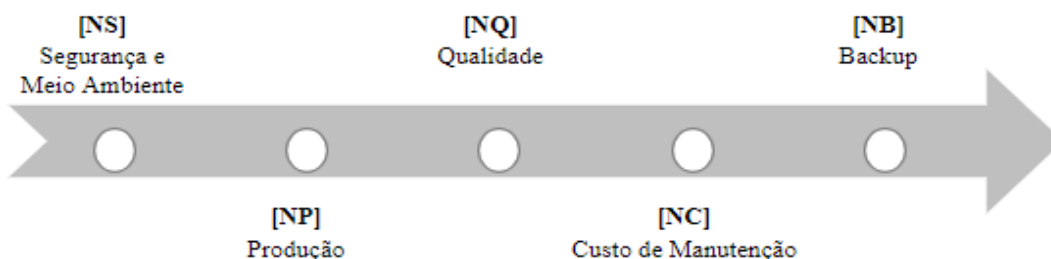
O referido quadro mostra os critérios selecionados para a avaliação da criticidade dos ativos, sendo eles: Risco a segurança (S), Impacto na qualidade do produto (Q), Indisponibilidade de produção (I), Tempo Médio entre Falhas (MT), Tempo Médio de Reparo (TT), Custo de Manutenção (C), Impacto no processo durante a Falha (IF), Frequência de Falhas (F) e Manutenibilidade (M). Cada critério é avaliado em três níveis de criticidade: Alto (representado pelo círculo totalmente preenchido), Médio (representado pelo círculo vazio) e Baixo (representado pelo triângulo vazio), tendo cada um deles uma descrição específica de acordo com o objetivo da avaliação do critério.

A título de exemplo, consideremos que um equipamento foi avaliado com nível de criticidade alto no critério de Risco a Segurança (S). Com base no fluxograma, vê-se que neste caso o fluxo decisional já o direciona como um equipamento A por meio de uma seta. Já um equipamento que foi avaliado com nível de criticidade médio ou baixo no critério de Risco a

Segurança (S), seguindo o fluxo, esse prossegue para o segundo critério de avaliação, o Impacto na qualidade do produto (Q), e assim por diante, seguindo a mesma lógica.

Teles (2019) propõe outra abordagem para a construção de uma matriz de criticidade de ativos. A abordagem proposta por ele consiste em analisar os equipamentos sob o impacto de uma falha em cinco cenários, apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Cenários para análise de criticidade



Fonte: Teles (2019)

A avaliação de cada cenário é realizada atribuindo uma nota de 0 a 3 para cada item, conforme orientação apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios de avaliação da criticidade (continua)

Cenário	Nota	Critério
Segurança e Meio Ambiente	0	Caso o equipamento falhe, provoca risco de morte e/ou causa danos graves ao meio ambiente.
	1	Caso o equipamento falhe, causa lesões corporais não permanentes
	2	Caso o equipamento falhe, causa riscos controláveis a segurança e meio-ambiente
	3	Caso o equipamento falhe, não causa riscos à segurança e meio-ambiente
Produção	0	Caso o equipamento falhe, irá interromper o processo de produção, provocar lucro cessante e custos induzidos (multas)
	1	Caso o equipamento falhe, irá interromper o processo de produção de forma irreversível.
	2	Se o equipamento falhar, irá interromper a produção de forma recuperável.
	3	Se o equipamento falhar, não irá interromper o processo de produção
Qualidade	0	Caso o equipamento falhe, impactará de forma irreversível a experiência do cliente
	1	Caso o equipamento falhe, comprometerá a qualidade do produto de forma irreversível
	2	Se o equipamento falhar e comprometer a qualidade do produto de forma recuperável
	3	Se o equipamento falhar e não comprometer a qualidade do produto

Tabela 1 - Critérios de avaliação da criticidade (conclusão)

Cenário	Nota	Critério
Custo de Manutenção	0	Caso o equipamento falhe, o custo de manutenção se eleva em mais que 30% no ano
	1	Se o equipamento falhar, e o custo de manutenção corretiva for maior que 20% do custo total de manutenção
	2	Se o equipamento falhar e o custo de manutenção corretiva for entre 10% e 15% do custo total de manutenção
	3	Se o equipamento falhar e o custo de manutenção corretiva for menor que 10% do custo total de manutenção
Backup	0	Não há a possibilidade técnica e econômica de se ter e/ou instalar um back-up do equipamento.
	1	Não possui backup.
	2	Possui backup, mas não está instalado em paralelo.
	3	Possui backup instalado em paralelo.

Fonte: Teles (2019)

Após a avaliação e a atribuição de notas para cada um dos cenários, o procedimento envolve a multiplicação desses valores para a obtenção do valor referente à criticidade do equipamento, como apresentado pela Equação 10:

$$NS \times NP \times NQ \times NC \times NB = \text{CRITICIDADE} \quad (10)$$

Onde:

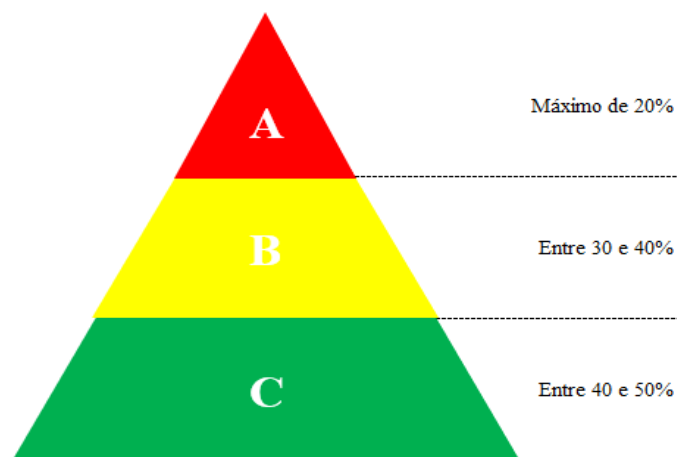
Nota 0 a 55 = A (Alta Criticidade)

Nota 56 a 161 = B (Média Criticidade)

Nota 162 a 243 = C (Baixa Criticidade)

Ao concluir a primeira versão da Matriz de Criticidade, é frequentemente observado um número elevado de equipamentos classificados como de criticidade A (Teles, 2019). Nesse contexto, é fundamental desenvolver estratégias para reduzir essa quantidade e alocar os equipamentos conforme as proporções recomendadas, ilustradas na Figura 11.

Figura 11 - Quantidade de equipamentos conforme o nível de criticidade



Fonte: Teles (2019)

O objetivo é garantir que a quantidade de equipamentos classificados como criticidade A seja inferior a 20% do número total de equipamentos da empresa, enquanto a criticidade B esteja entre 30% e 40%, e a criticidade C entre 40% e 50% (Teles, 2019).

2.9 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Diante da presente revisão bibliográfica, o trabalho adotará como base a estrutura conceitual apresentada pelo JIPM (1995) com incorporações de critérios apresentados pela abordagem de Teles (2019). O desenvolvimento do estudo está condicionado à compreensão de todos os indicadores de manutenção disponíveis na empresa estudada, bem como informações e análises qualitativas sobre os equipamentos que serão avaliados, de modo que se tornem suporte para o desenvolvimento de uma matriz de criticidade de ativos. Esta matriz estará alinhada com as prioridades e adaptações definidas pela alta direção, e em concordância com os objetivos estratégicos da indústria.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

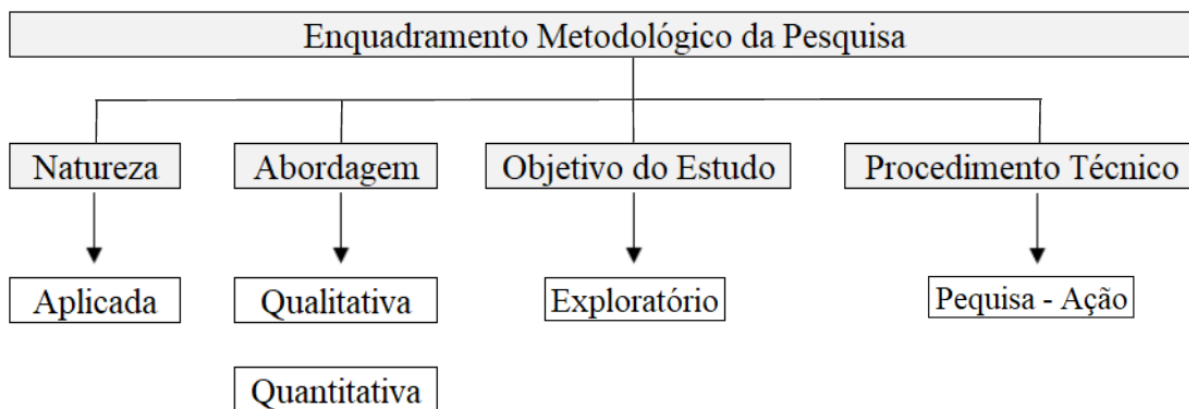
Neste capítulo será apresentado o método de pesquisa adotado. O método será enquadrado quanto à natureza, abordagem, objetivos e procedimentos. Em seguida, serão apresentadas as etapas realizadas para alcançar os objetivos do trabalho.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Para que um conhecimento seja classificado como científico, é essencial identificar as operações mentais e técnicas que viabilizam sua comprovação, ou seja, é preciso determinar o método que conduziu à obtenção desse conhecimento (Gil, 2008).

Com isso, a classificação de uma pesquisa científica pode ser feita em quatro principais perspectivas, sendo elas: do ponto de vista da natureza, do método (ou abordagem metodológica), dos objetivos e dos procedimentos técnicos (Nascimento, 2016). A Figura 12 apresenta o enquadramento metodológico da pesquisa.

Figura 12 - Enquadramento metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Quanto à natureza da pesquisa, esta classifica-se como aplicada. De acordo com Nascimento (2016), a pesquisa aplicada tem como objetivo a geração de conhecimento para solução de problemas específicos, sendo dirigida à busca da verdade para determinada aplicação prática e situação particular. Nesse contexto, a pesquisa visa propor uma matriz de criticidade de ativos voltada para uma indústria de plásticos de forma a orientar a definição de estratégias de manutenção apropriadas para cada nível crítico dos ativos considerados.

Em relação à sua abordagem metodológica, o presente trabalho classifica-se como predominantemente qualitativa, fazendo eventual uso da abordagem quantitativa, ou seja, uma

abordagem conjugada de ambas. Dado que a abordagem qualitativa se destaca pela ênfase na perspectiva do indivíduo que está sendo estudado, bem como pela interpretação do ambiente em que a problemática acontece (Nascimento, 2016). Além disso, a pesquisa busca desvendar o desenrolar de eventos que culminam em resultados, ou seja, o interesse não é só nos resultados, mas como se chegou até eles. Isso possibilita explicar o como e não somente o porquê. Tais fatos caracterizam uma análise qualitativa (Nascimento, 2016).

A classificação como abordagem quantitativa justifica-se pela mensuração de variáveis da pesquisa, facilitando a comparação e análise de medidas de dados (Nascimento, 2016). As variáveis consideradas na presente pesquisa são: segurança, ocupação do equipamento, Tempo Médio para Reparo (TMPR), custo da falha e frequência da falha. Para as análises quantitativas de tais variáveis denominadas critérios neste trabalho, foram utilizados dados reais da empresa.

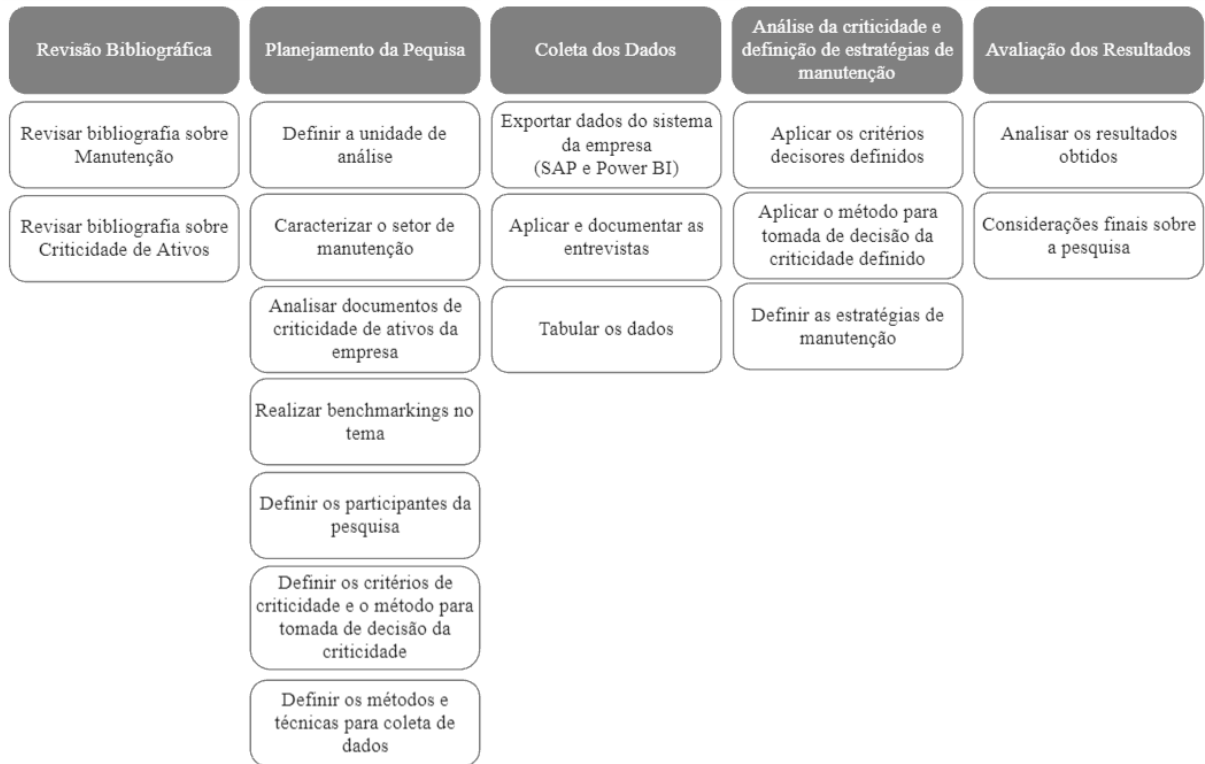
Quanto ao objetivo do estudo, a pesquisa caracteriza-se como exploratória. As pesquisas exploratórias têm o objetivo de facilitar a familiaridade do pesquisador com o problema objeto da pesquisa, para permitir a construção de hipóteses ou tornar a questão mais clara (Gil, 2002). O presente trabalho buscou compreender o problema por meio de estudos para aquisição de conhecimento técnico sobre o tema e entendimento do estado atual da empresa em particular.

Por fim, quanto ao procedimento técnico, este enquadra-se como pesquisa-ação, onde o pesquisador atua de maneira participativa no objetivo de estudo. De acordo com Gummesson (2000), a pesquisa-ação possui dois objetivos principais: resolver um problema prático e contribuir cientificamente. Além disso, esta metodologia exige a cooperação e interação entre pesquisadores e participantes, permitindo um entendimento holístico do problema. Thiollent (2007) ressalta que para uma pesquisa ser qualificada como pesquisa-ação é vital a implantação de uma ação por parte das pessoas ou grupos implicados no problema sob observação. No contexto deste trabalho, a pesquisa-ação foi aplicada para desenvolver e implementar uma análise de criticidade de ativos, adaptado às necessidades específicas da empresa estudada, de maneira que dê suporte a definição estratégias de manutenção a serem adotadas para os principais ativos da empresa, extrusoras e injetoras.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A fim de atender os objetivos da pesquisa, a Figura 14 mostra cada etapa do presente estudo, destacando suas atividades correspondentes.

Figura 14 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A seguir, cada etapa será detalhada.

3.2.1 Revisão Bibliográfica

A primeira etapa da pesquisa consiste no levantamento bibliográfico, realizado para adquirir familiaridade com o tema e compreender os conceitos relacionados.

O primeiro tema estudado se refere à Manutenção, na qual a autora buscou compreender a evolução que o setor de manutenção sofreu desde sua origem, os tipos de manutenção mais comuns encontrados na literatura e gestão estratégica no qual buscou se compreender a função estratégica que o setor de manutenção desempenha em uma organização.

O segundo tema estudado se refere aos indicadores em um setor de manutenção para identificar os potenciais impactos destes indicadores sob a criticidade dos ativos.

Ao fim desta etapa, a revisão bibliográfica teve foco em compreender os conceitos relacionados à Criticidade de Ativos. Essa abordagem visou fundamentar a importância do tema e examinar os tipos de matriz de criticidade disponíveis na literatura.

3.2.2 Planejamento da Pesquisa

A segunda etapa consistiu no planejamento da pesquisa para a análise da criticidade dos ativos considerados. Nesse momento da pesquisa, foi definida a unidade de análise do estudo, destacando a caracterização do setor de manutenção e ativos envolvidos e uma análise crítica da documentação contendo a matriz de criticidade anteriormente implementada na empresa.

Também, foi conduzida uma pesquisa de *benchmarking* com duas empresas parceiras para adquirir conhecimento sobre as melhores práticas relacionadas à aplicação de conceitos de criticidade de ativos. Por fim, após a definição dos participantes do estudo, desenvolveu-se a matriz de criticidade proposta, bem como os métodos e técnicas a serem utilizados para a etapa seguinte de coleta de dados.

A seguir, apresenta-se o detalhamento das sub etapas do Planejamento da pesquisa.

3.2.2.1 Definir a unidade de análise

A empresa da pesquisa é uma multinacional brasileira, líder em soluções para construção civil, tendo como foco principal do seu negócio a produção de tubos e conexões plásticas, a partir do processo de fabricação de injeção e extrusão de matéria prima.

Com um portfólio composto por mais de 15 mil itens, a empresa oferece produtos destinados à condução e conservação de água em construções e reformas residenciais e corporativas, projetos de infraestrutura, indústrias e sistemas de irrigação, sendo comercializados em mais de 90 mil pontos de venda no Brasil e no exterior, presente em cerca de 30 países.

No que tange à sua infraestrutura fabril, a empresa opera 17 plantas produtivas de tubos e conexões em 10 países da América, das quais 5 estão no Brasil e 3 nos EUA, sendo reconhecida como a 11ª empresa mais internacionalizada do Brasil, segundo estudo realizado pela Fundação Dom Cabral (Anamaco, 2022). Além da sua principal divisão, a empresa também opera uma planta para a produção de ferramentas para pintura, localizada na cidade de Castro, no Paraná.

No ano de 2022, apesar das condições de mercado terem sido desafiadoras para o segmento de materiais para construção e reforma, a empresa destacou-se com maior presença de mercado, com 35% de *market share*, e EBITDA (*Earning Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*) de R\$ 770 milhões nos primeiros nove meses do ano, um crescimento de 16% comparado ao mesmo período no ano anterior.

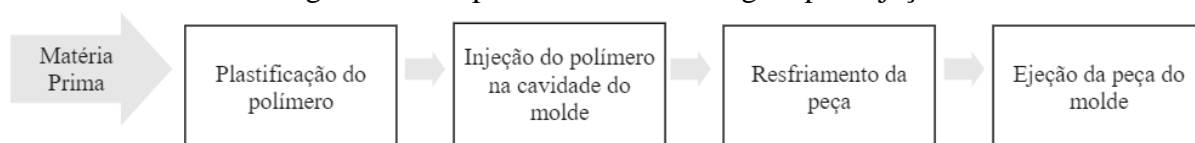
A unidade fabril objeto de estudo está localizada na cidade de Joinville, no norte do estado de Santa Catarina, onde conta com os processos de injeção e extrusão, centro de distribuição e um centro de desenvolvimento de moldes.

O volume de produção proveniente do processo de injeção da empresa é o mais representativo, representando cerca de 73% da capacidade total da planta. A moldagem por injeção é uma das mais importantes técnicas de processamento de polímeros para a produção de peças de custo mais baixo, em grande volume, de menor peso e de formas mais complexas.

O processo de moldagem por injeção inclui quatro etapas principais: plastificação do polímero, injeção do polímero na cavidade do molde, resfriamento da peça e ejeção da peça do molde (Matschulat, 2020), conforme mostrado na Figura 15.

O processo tem início com a introdução do material polimérico na máquina de moldagem por injeção. Os grânulos são fundidos pelo aquecimento dentro da máquina, por meio da condução do calor e a ação de cisalhamento é realizada. O fuso, também denominado rosca sem fim, gira e transporta o material fundido em direção à câmara de parafuso, localizada na extremidade do fuso. Após este estágio de plastificação, o polímero é injetado na cavidade do molde, que é moldada como negativo da peça a ser fabricada. A fase de enchimento do molde inclui a compressão da massa fundida na cavidade, seguida por uma etapa de recalque, na qual uma alta pressão de fusão é mantida para compensar o encolhimento à medida que mais é reforçado para dentro da cavidade. O processo é finalizado quando a peça ejetada é liberada do molde (Karchoud *et al.*, 2017).

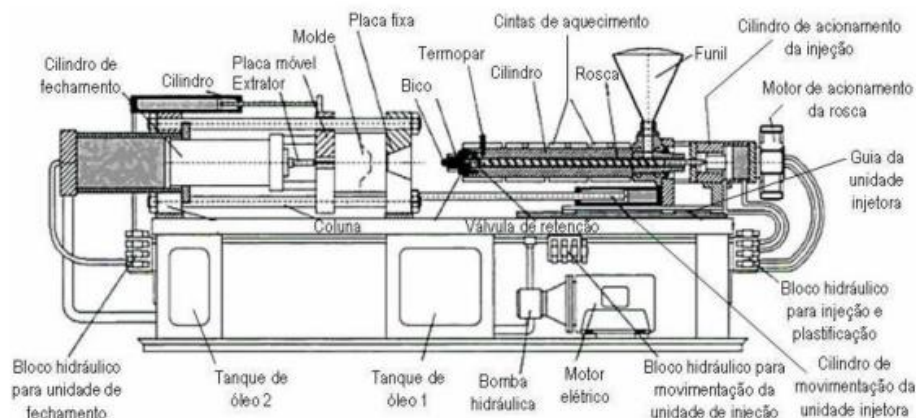
Figura 15 - Etapas básicas da moldagem por injeção



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

O equipamento principal do processo de moldagem por injeção é a máquina injetora. Na empresa estudada, utiliza-se de máquinas injetoras com configuração horizontal, nas quais o sistema de fechamento e os movimentos do molde ocorrem no eixo horizontal. A Figura 16 apresenta um esquema ilustrativo de máquina injetora horizontal com seus principais componentes.

Figura 16 - Máquina Injetora horizontal

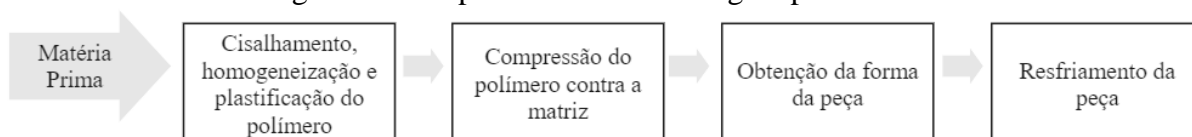


Fonte: Johannaber (2008)

O volume de produção proveniente do processo de extrusão da empresa representa 27% da capacidade total da unidade e destaca-se pela significativa contribuição para o valor agregado do portfólio da empresa, sendo os produtos de precificação mais alta.

Por sua vez, o processo de extrusão é o responsável pela fabricação do portfólio de tubos da empresa. Tal processo consiste em forçar a passagem do material, por dentro de um cilindro aquecido de maneira controlada, por meio da ação bombeadora de uma ou duas roscas sem fim, que promovem o cisalhamento e homogeneização do material, bem como sua plastificação. Na saída do cilindro, o material é comprimido contra uma matriz de perfil desejado, a qual dá forma à peça, sendo posteriormente resfriada. Ao final, a peça também pode ser cortada ou enrolada (Rodolfo *et al.*, 2006). A Figura 17 apresenta as principais etapas do processo de moldagem por extrusão.

Figura 17 - Etapas básicas da moldagem por extrusão

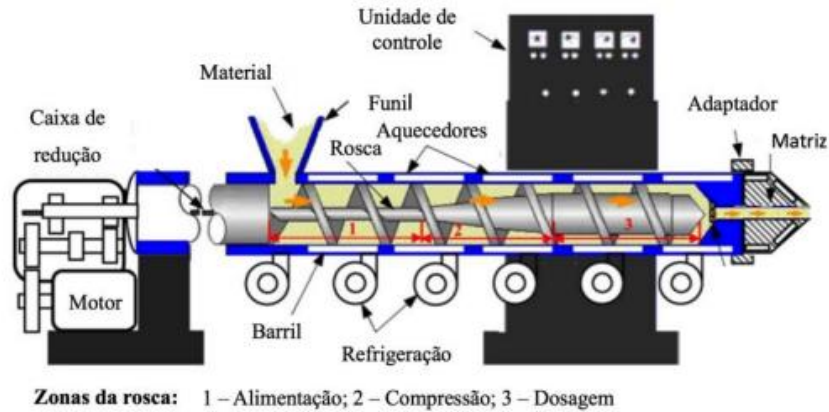


Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A extrusora é o principal equipamento utilizado no processo de moldagem por extrusão no qual, dependendo do material a ser processado, parafusos específicos do tipo mono ou dupla rosca são empregados. Quando a extrusora é do tipo mono rosca ela gera cerca de 80% da energia térmica e mecânica necessária para transformar os polímeros, já sistemas de dupla rosca normalmente geram menor cisalhamento (Wilcznski *et al.*, 2003). Na empresa tem - se ambas

as configurações. A Figura 18 apresenta esquematicamente os componentes básicos que constituem uma máquina extrusora de rosca simples

Figura 18 - Máquina extrusora de rosca simples



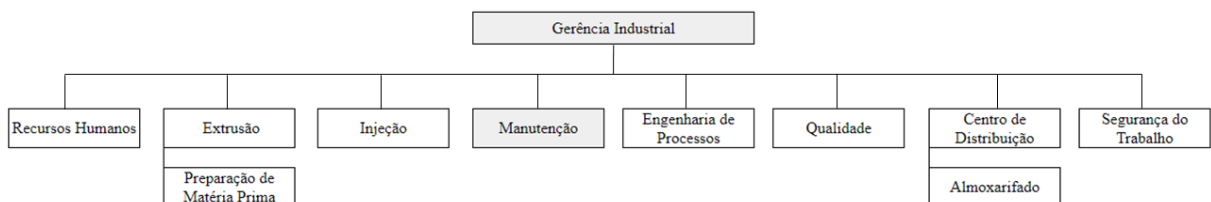
Fonte: Adaptado de Abeykoon *et al.* (2012)

A seguir, é apresentada a caracterização do setor de manutenção estudado.

3.2.2.2 Caracterizar o setor de manutenção

Contando com mais de 900 colaboradores, a unidade considerada está organizada em 10 setores, como apresentado no organograma exposto na Figura 19.

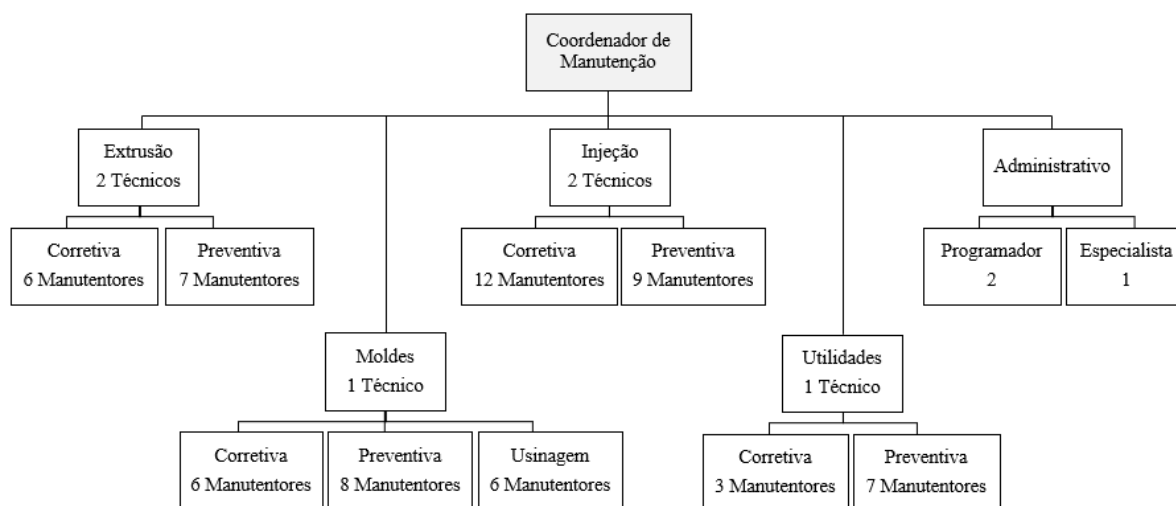
Figura 19 - Organograma da empresa



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

O setor de manutenção da empresa é responsável por atender todo o parque fabril da unidade de Joinville, sendo composto por 74 pessoas. A equipe está estruturada abaixo do coordenador geral do setor, organizados de acordo com cada área de produção da fábrica (Extrusão e Injeção) e administrativo. As áreas de Extrusão e Injeção estão estruturadas de acordo com as estratégias de manutenção corretiva ou preventiva, conforme ilustrado no organograma do setor de manutenção apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Organograma do setor de manutenção



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Conforme a Figura 20, é possível observar a presença dos técnicos de manutenção em todas as subdivisões das áreas que a manutenção atende. Esses profissionais desempenham uma função de supervisão sobre os mantenedores, atribuindo responsabilidades e orientando a realização de suas atividades, com o propósito de contribuir para a coordenação efetiva do setor de manutenção.

A equipe responsável pela manutenção da área de extrusão é composta por 13 manutentores, sendo 6 deles dedicados à manutenção corretiva e 7 dedicados à preventiva. Tais funcionários são encarregados de manter em funcionamento 21 extrusoras ativas na unidade.

Por sua vez, a equipe encarregada pela manutenção da área de injeção é constituída por 21 manutentores, também divididos entre manutenção corretiva e preventiva. Sua responsabilidade é garantir a disponibilidade de 115 injetoras para o processo produtivo.

Adicionalmente, há um time de 20 manutentores responsáveis pela reparação dos moldes, essenciais para a qualidade e funcionamento adequado das injetoras.

Além dessas equipes, existe um grupo dedicado às utilidades, que atende demandas relacionadas à água, energia e serviços gerais em toda a planta.

As principais atividades rotineiramente executadas pelos manutentores abrangem:

- Reparos e substituição de peças que podem envolver a substituição de peças defeituosas, como motores, válvulas, sensores, resistências, fusíveis, cabos, entre outros;

- Ajustes e calibrações de pressão, temperatura, velocidade de injeção ou extrusão, entre outros parâmetros, conforme as especificações do processo de produção;
- Limpeza e manutenção da área de trabalho, removendo resíduos ou detritos das máquinas e do ambiente circundante incluindo a limpeza de filtros, troca de óleo ou fluidos, e a manutenção da segurança, como a verificação das condições dos dispositivos de proteção;
- Suporte técnico aos operadores das injetoras e extrusoras, orientando-os sobre o uso correto das máquinas, solucionando dúvidas e auxiliando na resolução de problemas operacionais;
- Documentação das intervenções realizadas, como manutenções preventivas, reparos, substituições de peças, ajustes e calibrações, a fim de auxiliar no planejamento de futuras manutenções.

Ainda com relação ao organograma do setor de manutenção, no administrativo, a empresa possui 2 programadores e 1 especialista, responsáveis pela otimização dos processos de manutenção.

A posição de programador de manutenção destaca-se como uma função mais estratégica no setor, sendo ele o responsável pelas iniciativas de gestão de ativos da empresa, no qual inclui as atividades de definição e programação dos planos de manutenção semanal e acompanhamento e controle de indicadores de desempenho operacional dos ativos.

A atividade de definição de estratégias de manutenção dos ativos da empresa é realizada de forma empírica e informal. Não existe uma política de manutenção bem definida e sistemática visando a redução de falhas ou quebras dos itens. O Quadro 3 apresenta as estratégias de manutenção atualmente adotadas na empresa.

Quadro 3 - Estratégias de manutenção atuais da empresa (continua)

Estratégia de manutenção	Descrição da estratégia	Equipamentos selecionados
Manutenção Corretiva Não planejada	Manutenção após quebra ou falha do item, iniciada a partir da abertura de uma ordem de serviço solicitada pela equipe da produção.	Todos os equipamentos do parque fabril

Quadro 3 - Estratégias de manutenção atuais da empresa (conclusão)

Estratégia de manutenção	Descrição da estratégia	Equipamentos selecionados
Manutenção Corretiva Planejada	Manutenção previamente programada com objetivo de promover melhorias identificadas antes da quebra ou falha do item.	Todos os equipamentos do parque fabril
Manutenção Preventiva	Manutenção preventiva baseada no tempo de 6000 horas, controlada pela medição diária do horímetro. - Substituição de peças críticas; - Medição do fuso e cilindro; - Lubrificação.	Todos os equipamentos do parque fabril
Manutenção Preditiva	Manutenção preditiva que inclui as atividades de: - Monitoramento e análise de óleo; - Monitoramento e análise de vibrações; - Análise termogravimétrica	Equipamentos que produzem os maiores volumes de produção

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Atividades de inspeções sensitivas, que remetem a manutenções autônomas executadas pela produção, são inexistentes na empresa, e o monitoramento online de parâmetros de processo encontra-se em estágio inicial.

Dentro desse contexto, a empresa possui um projeto junto ao time de Engenharia de Processos para a introdução do MES (*Manufacturing Execution System*) em colaboração com uma empresa de tecnologia. A implementação do MES tem o objetivo de aprimorar a eficiência, a qualidade e o controle do processo de fabricação, fornecendo informações de produção em tempo real. Além disso, o projeto inclui a implementação de um sistema de apontamento automatizado, visando eliminar o uso de papel e os erros associados a essa prática. No momento, a empresa já conta com o protótipo de três totens distribuídos pela fábrica, sendo dois na área de injeção e um na área de extrusão. Esses totens desempenham a função de monitorar e exibir em tempo real a condição dos parâmetros de 51 equipamentos, representando um avanço significativo em direção à modernização e otimização dos processos fabris.

Quanto a definição da criticidade de ativos, atualmente essa não é realizada na empresa. Em 2017 foi realizado um estudo, elaboração e implementação de uma matriz de criticidade de ativos, todavia, as definições e resultados não foram incorporados na rotina do setor de manutenção, estando somente presente no cadastro do equipamento para fins de conhecimento.

De acordo com a opinião da equipe de manutenção, tal fato ocorreu devido a aplicação da matriz ter sido realizada de maneira pontual no âmbito do projeto, sua implementação se revelou efêmera, configurando-se mais como uma formalidade do que uma prática efetiva.

Adicionalmente, tal proposta para a definição de criticidade dos ativos foi considerada complexa, uma vez que o método qualitativo não era compreendido pelos colaboradores, não refletindo adequadamente a real criticidade dos equipamentos da empresa.

Com o propósito de aprofundar o entendimento acerca do contexto atual do setor de manutenção, realizou-se uma entrevista com o coordenador responsável para coletar informações sobre o objetivo estratégico definido para o ano de 2023. As informações fornecidas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Objetivo estratégico do setor de manutenção

Objetivo	Indicador	Meta
Aumentar a ocorrência de manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva	Indisponibilidade das máquinas	6,6 % / mês
	Tempo Médio para Reparo [TMPR]	21 hrs
	Tempo Médio entre Falhas [TMEF]	29 dias
	Custo	1.1 M / mês

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

De acordo com o coordenador de manutenção da empresa, ao longo do ano foi constatado que à medida que os níveis de indisponibilidade atingiam seus valores mais baixos, os custos de manutenção apresentavam aumento. Diante desta análise, conclui-se que a eficiência operacional da empresa, associada a menores períodos de inatividade de suas máquinas, acarreta desafios financeiros no que tange aos gastos com manutenção.

Além disso, ao relacionar os objetivos estratégicos do setor com o diagnóstico obtido nas práticas de Plano Estratégico de Gestão de Ativos, exposto no Capítulo 1, conclui-se que o acompanhamento, controle e alcance de metas do setor não tem sido desdobrado no dia a dia em termos de atividades e tarefas no setor de manutenção.

Essa compreensão ressalta a necessidade de uma abordagem estratégica da gestão dos ativos da empresa que seja eficaz, fundamentada em indicadores acompanhados pelo setor e nas suas inter-relações.

É essencial também abordar a caracterização dos ativos da empresa, cujo estudo será direcionado. Atualmente, a empresa dispõe de um total de 2.156 ativos, sendo que para este estudo serão considerados 136 ativos, como dito anteriormente. A Tabela 3 apresenta a categorização e a quantidade dos equipamentos considerados no estudo.

Tabela 3 - Equipamentos considerados no estudo

Tipo de equipamento	Quantidade
Extrusoras	21
Injetoras	115
Total Geral	136

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3.2.2.3 Analisar documentos de criticidade de ativos da empresa

Devido à proximidade da pesquisadora com a empresa, o acesso aos documentos relevantes, materiais de apoio e fontes foi assegurado.

De acordo com o documento disposto pela empresa, a matriz de criticidade elaborada teve a finalidade de classificar os ativos industriais de acordo com sua criticidade e determinar a estratégia de manutenção a ser aplicada em cada um. O Quadro 4 mostra os critérios definidos na matriz de criticidade anteriormente implementada na empresa.

Quadro 4 - Critérios de criticidade da empresa (continua)

Critério	Definição
Impacto no processo	Efeito da falha ou mau funcionamento do equipamento no processo ao qual ele atende.
Qualidade, Segurança e Meio Ambiente	Efeito da falha ou mau funcionamento do equipamento na qualidade do produto, segurança e meio ambiente.

Quadro 4 - Critérios de criticidade da empresa (conclusão)

Critério	Definição
Utilização do equipamento ³	Porcentagem de utilização do equipamento em relação ao tempo disponível para operação previsto para o próximo período.
Indisponibilidade do equipamento	Indicador de indisponibilidade do equipamento no último ano.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A avaliação destes critérios é feita por meio de 3 possíveis classificações. Todavia, a descrição de cada classificação, visando oferecer maior orientação à avaliação, demonstra-se bastante genérica e aberta a diversas interpretações. Conforme a opinião da equipe de manutenção da empresa, essa abertura gera questionamentos quanto à confiabilidade do resultado atual da criticidade dos equipamentos. A Tabela 4 apresenta as classificações para avaliação de cada critério.

Tabela 4 - Classificações para avaliação dos critérios

Critério	Classificação		
Impacto no processo	Parada total	Parada parcial	Sem efeito
Qualidade, Segurança e Meio Ambiente	Forte efeito	Efeito normal	Sem efeito
Utilização do equipamento	> 85%	> 50% e ≤ 85%	≤ 50%
Indisponibilidade do equipamento	> 15%	> 5% e ≤ 15%	≤ 5%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Os parâmetros quantitativos estabelecidos para as três possíveis classificações do critério de utilização do equipamento foram definidos de acordo com padrões Classe Mundial. Já para o critério de indisponibilidade do equipamento, os parâmetros definidos fundamentam-se em dados históricos da empresa.

A fim de calcular a criticidade do equipamento, definiu-se pesos específicos para cada um destes critérios, acompanhado pela atribuição de notas correspondentes a cada classificação. Para realizar estas definições recorreu-se ao método AHP (*Analytic Hierarchy Process*),

³ Critério referente a projeção de produção para o ano vigente feita pela área de planejamento da empresa, indicando a expectativa de utilização do equipamento para o próximo ano.

amplamente empregado na avaliação de objetivos e critérios múltiplos. Contudo, os passos executados durante a aplicação do método AHP não foram devidamente documentados, privando o acesso a dados suficientes para uma análise crítica.

A Tabela 5 apresenta de forma integrada os critérios e classificações para avaliação, juntamente com seus respectivos pesos e notas.

Tabela 5 - Critérios e classificação para criticidade

Critério	Peso	Classificação e Nota		
		Parada total	Parada parcial	Sem efeito
Impacto no processo	48,3%	60,0%	30,0%	10,0%
Qualidade, Segurança e Meio Ambiente	27,2%	60,3%	31,5%	8,2%
Utilização do equipamento	15,7%	> 85%	> 50% e ≤ 85%	≤ 50%
Indisponibilidade do equipamento	8,8%	> 15%	> 5% e ≤ 15%	≤ 5%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Por fim, após avaliação do equipamento conforme cada critério e conhecimento dos pesos e notas a serem atribuídos, é realizada a somatória da relação entre o peso e nota de cada critério, conforme Equação 11.

$$\text{Criticidade do equipamento} = \sum_{n=1}^4 (\text{Peso} \times \text{Nota}) \quad (11)$$

Sendo que:

Tabela 6 - Criticidade em relação ao resultado quantitativo na avaliação

Criticidade do equipamento	Resultado quantitativo na avaliação
A	> 30,5%
B	> 21,6% e ≤ 30,5%
C	≤ 21,6%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Com base no resultado da criticidade do equipamento, é proposta a implementação de estratégias de manutenção, conforme descritas no Quadro 5. No entanto, na prática, a organização não incorpora essas orientações a partir da avaliação da criticidade dos equipamentos, sendo definidas de forma empírica.

Quadro 5 - Estratégia de manutenção por criticidade

Criticidade	Estratégia
A Alta	Tais equipamentos devem ser tratados com manutenção preventiva, preditiva total, plano de contingência e mapeamento de peças críticas.
B Média	Tais equipamentos devem ser tratados com manutenção preventiva, inspeções e manutenção corretiva planejada.
C Baixa	Tais equipamentos devem ser tratados com inspeções e manutenção corretiva planejada

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.2.4 Realizar benchmarkings no tema

Para maior compreensão do tema e conceitos relacionados à criticidade de ativos, foram realizadas duas sessões de *benchmarking* com duas empresas distintas, sendo uma localizada em Santa Catarina e a outra em São Paulo. Por motivos de confidencialidade das informações, o presente estudo descreverá somente o princípio de funcionamento das matrizes de criticidade, não sendo expostos os critérios adotados por tais empresas.

A empresa localizada em Santa Catarina, trata-se de uma multinacional brasileira de grande destaque no cenário global, com foco no segmento de motores elétricos, transformadores, automação industrial, além de atuar em diversos segmentos da indústria de energia elétrica. O *benchmarking* foi realizado por meio de visita presencial, sendo conduzido pelo chefe do departamento da manutenção, um engenheiro de manutenção e um engenheiro de melhoria contínua, com posterior acesso aos documentos da empresa, referente ao tema. Na visita estiveram presentes a pesquisadora, o coordenador de manutenção, o engenheiro de manutenção e o analista de processos sênior.

O setor de manutenção desta empresa possui uma metodologia consolidada de criticidade de ativos. Sua avaliação é feita sob a perspectiva de impacto na produção, qualidade e manutenção, sendo estas perspectivas desdobradas em 9 diferentes critérios. Para cada critério

é atribuída uma pontuação de 1 à 3, e a criticidade do equipamento é resultado da multiplicação das pontuações.

Por sua vez, a empresa localizada em São Paulo, também se trata de uma multinacional brasileira, com uma história significativa na indústria de calçados e artigos esportivos. O *benchmarking* foi realizado por meio de reunião virtual com o coordenador de manutenção da empresa, com posterior acesso aos documentos da empresa, referente ao tema. Na reunião estiveram presentes a pesquisadora, o engenheiro de manutenção, a especialista de processos e o analista de processos sênior.

De maneira ainda mais consolidada, em comparação com a primeira empresa contatada, esta possui um procedimento padrão e oficial que define a aplicação da criticidade ABC de equipamentos em todas as fábricas da companhia. A matriz de criticidade desta empresa consiste em um modelo de perguntas e respostas, sendo estas subdivididas em 5 faces, as quais são:

- Manutenção ou Manutenibilidade;
- Segurança, Saúde e Meio Ambiente;
- Utilização;
- Qualidade e Reprocesso;
- Operacional.

Cada face é composta por diferentes critérios que devem ser avaliados. Cada critério é composto por três perguntas, sendo que somente uma pergunta das três pode receber uma resposta.

- A 1ª pergunta se refere ao cenário mais crítico do critério em questão, e caso esta seja a situação verdadeira, a resposta deverá ser pontuada com o valor 5.
- A 2ª pergunta se refere ao cenário intermediário do critério em questão, e caso esta seja a situação verdadeira, a resposta deverá ser pontuada com o valor 3.
- A 3ª pergunta se refere ao cenário com baixo ou nenhum impacto do critério em questão, e caso esta seja a situação verdadeira, a resposta deverá ser pontuada com o valor 1.

Para melhor compreensão do princípio de funcionamento da matriz desta empresa, é dado o exemplo do critério "Custos e Tempo de Reparo" da face "Manutenção e Manutenibilidade"

Tabela 7 - Exemplo de aplicação da Matriz de Criticidade

Critério	Peso do critério	Perguntas	Peso das perguntas
Custos e Tempo de Reparo	3	1º - O tempo de reparo supera as 3 horas e/ou o custo está acima de R\$ 3.500,00/mês?	5
		2º - O tempo de reparo está entre 1/2 e 3 horas e/ou o custo fica entre R\$ 1.000,00 R\$ 3.499,99/mês?	3
		3º - O tempo de reparo fica abaixo de 30 minutos e/ou o custo abaixo de R\$ 1.000,00/mês?	1

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Um mesmo critério nunca pode ter mais de uma resposta verdadeira, sendo que o cenário mais crítico sempre prevalecerá.

Devido ao grau de impacto de cada pergunta existente dentro da matriz de criticidade ABC, cada pergunta recebeu um peso diferente a fim de exercer maior ou menor impacto na pontuação final. Diante disso, a pontuação final da criticidade é dada da seguinte forma:

- A resposta de cada critério será multiplicada pelo seu peso;
- A pontuação de cada face será a somatória das respostas dos critérios;
- A pontuação final será a somatória das faces.

Os insumos discutidos e posteriormente coletados, em formato de documentos, em ambos os *benchmarkings* apresentam o detalhamento minucioso do procedimento de avaliação da criticidade de ativos, sendo utilizados para análises e estudos do que poderia ser adaptado para a aplicação na empresa estudada nesta pesquisa.

3.2.2.5 Definir os participantes da pesquisa

A etapa de definição dos profissionais participantes da presente pesquisa foi feita logo após o entendimento e identificação das áreas e processos que exerceriam influência ou teriam impacto com a implementação da matriz de criticidade.

Sendo assim, baseado no cargo, na função que eles exercem e no tempo de atuação no cargo, a equipe foi formada por 8 colaboradores da empresa. O Quadro 6 apresenta o perfil de cada um deles.

Quadro 6 - Participantes do estudo (continua)

Cargo	Função	Tempo
Coordenador de Manutenção	Responsável por liderar e supervisionar as atividades de manutenção exercidas por seu time, garantindo a eficiência operacional e a integridade dos equipamentos na organização.	2 anos e 4 meses
Programador de Manutenção	Responsável por elaborar, programar e gerenciar os planos de manutenção preventiva, monitorar o cumprimento dos cronogramas, ajustar as programações conforme necessário e fazer o acompanhamento dos indicadores da área.	1 ano e 3 meses
Engenheiro de Manutenção	Responsável por desenvolver estratégias para otimizar processos, reduzir falhas e assegurar a conformidade com padrões técnicos e de segurança.	11 meses
Especialista de Processos I	Responsável por analisar e otimizar procedimentos operacionais, identificando oportunidades de melhoria e implementando práticas eficientes para aumentar a produtividade e a qualidade nos processos organizacionais.	1 ano e 3 meses
Especialista de Processos II	Responsável pelo refinamento de operações organizacionais, conduzindo análises aprofundadas para identificar oportunidades de eficiência e implementando melhorias nos processos específicos de injeção e extrusão.	3 anos

Quadro 6 - Participantes do estudo (conclusão)

Cargo	Função	Tempo
Analista de Processos Sênior	Responsável por conduzir iniciativas de análise e otimização de processos, identificando oportunidades de eficiência e promovendo melhorias.	1 ano e 3 meses
Engenheiro de Segurança do Trabalho	Responsável por desenvolver e implementar medidas de prevenção de acidentes, assegurando a conformidade com normas regulamentares. Ele avalia riscos, realiza treinamentos de segurança e colabora na criação de ambientes laborais mais seguros.	2 anos
Analista da Qualidade e Meio Ambiente Jr	Responsável por apoiar a implementação de sistemas de gestão de qualidade e ambiental, realizando análises e monitoramento de conformidade com normas e regulamentos.	5 meses

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Com o objetivo de orientar os participantes e mantê-los a par do objeto de estudo, foram conduzidas reuniões individuais, com duração de aproximadamente 1h30 cada uma, para explicar o problema da pesquisa, o objetivo geral e específico.

A condução destas reuniões foi realizada pela pesquisadora, com o apoio de uma apresentação em Power Point para facilitação do momento.

3.2.2.6 Definir os critérios de criticidade e o método para tomada de decisão da criticidade

Para definição dos critérios para a análise de criticidade, foram realizadas duas reuniões de *brainstormings*, método empregado para coletar informações e opiniões dos participantes, visando aprofundar o entendimento do contexto do problema.

Em tais reuniões participaram os colaboradores que exercem função corporativa na empresa, sendo eles: o engenheiro de manutenção, a especialista de processos I e o analista de processos sênior.

Previamente à ocorrência das reuniões, a pesquisadora tinha como função o preparo de material oriundos da revisão bibliográfica, análise documental e coleta dos objetivos estratégicos da manutenção e *benchmarks*, para facilitar a discussão e proporcionar uma base sólida para a análise dos participantes.

A primeira reunião, conduzida pela pesquisadora, iniciou com a apresentação sucinta do material sobre criticidade de ativos, abordando sua importância e coletas a partir dos documentos da empresa e *benchmarks* realizados, previamente enviado para os participantes. Após a realização da apresentação, o foco foi direcionado para os participantes expressarem suas opiniões acerca das referências apresentadas, podendo abordar os pontos positivos e negativos identificados, sugestões de critérios que se alinham a necessidade da empresa e tipologia de seus ativos e possíveis riscos que poderíamos ter na avaliação de cada critério.

A etapa subsequente consistia na definição concreta dos critérios para a avaliação da criticidade dos ativos. Para isso, proporcionou-se uma discussão entre os participantes, permitindo que divergissem e convergissem sobre as opiniões levantadas na primeira etapa, visando alcançar um consenso sobre quais critérios a empresa adotaria em sua matriz de criticidade.

A segunda reunião teve como foco a definição do método que seria adotado para a avaliação de cada um dos critérios, definidos na primeira reunião, e como esta avaliação resultaria na criticidade final do ativo. O momento foi conduzido de forma semelhante ao descrito para a primeira reunião e, ao final, foi definido que para cada critério, seria elaborada uma descrição específica para os cenários de alta, média ou baixa classificação. Além disso, definiu-se que seria adotado o método da Classificação ABC, conforme sugerido pelo JIPM (1995), onde a criticidade resultante dos ativos da empresa seria orientada por um fluxograma direcionado para a tomada de decisão.

O detalhamento dos critérios decisores e fluxograma orientado para a tomada de decisão serão apresentados no Capítulo 4.

3.2.2.7 Definir os métodos e técnicas para a coleta de dados

Segundo Thiollent (2007), as principais técnicas utilizadas são a entrevista coletiva nos locais de trabalho e a entrevista individual aplicada de modo aprofundado. No que diz respeito à informação já existente, diversas técnicas documentais permitem resgatar e analisar o conteúdo de arquivos internos da organização estudada.

Nesta pesquisa, foram adotados os seguintes métodos:

- a) Entrevistas semiestruturadas: Utilizou-se de um modelo de entrevista flexível, no qual a pesquisadora conduzia as entrevistas com um roteiro prévio, permitindo que os entrevistados expressassem suas percepções e análises além do planejado. Este método deu suporte às avaliações dos critérios qualitativos da matriz de criticidade.
- b) Exportação de dados dos sistemas da empresa (SAP e Power BI): Foram coletados dados disponíveis nos sistemas da empresa, relacionados aos indicadores de cada um dos ativos avaliados. Este método deu suporte às avaliações dos critérios quantitativos da matriz de criticidade.

3.2.3 Coleta de Dados

Com base nas definições resultantes das fases anteriores, deu-se início à fase de coleta de dados para gerar os insumos necessários para a aplicação da matriz de criticidade.

3.2.3.1 Exportar dados do sistema da empresa

Como parte da estratégia de coleta de dados adotada, realizou-se a exportação de informações oriundas dos sistemas SAP e Power BI, representando uma etapa fundamental para a análise dos ativos da empresa em questão.

A obtenção da lista completa de todos os ativos que seriam objeto de estudo revelou-se fundamental para estabelecer uma base sólida de compreensão da magnitude da amostra que tomaríamos para esta pesquisa. Adicionalmente, a extração de informações referentes ao tempo médio de falhas dos ativos em estudo, considerando um período de um ano anterior à pesquisa, proporcionou observações valiosas sobre a confiabilidade operacional desses recursos ao longo do tempo. A avaliação da quantidade de ordens de serviço de manutenção corretiva direcionada a cada equipamento, também no período de um ano anterior à pesquisa, foi enriquecida com a inclusão do relatório de custos associados a essas falhas corretivas, adicionando uma dimensão financeira à análise.

A pesquisa também teve acesso à lista dos roteiros das máquinas produtivas da empresa, oferecendo uma visão aprofundada dos processos de produção. No caso da empresa estudada, estes roteiros consistem em apenas uma base de dados no SAP (Software Applications and Products), com informações referentes a quais produtos são fabricados em cada máquina do parque fabril.

O indicador do grau de risco presente no inventário de segurança dos ativos trouxe à tona considerações para a avaliação da segurança dos equipamentos em caso de falhas. Adicionalmente, a projeção da ocupação dos equipamentos para o próximo ano constituiu um componente prospectivo, fornecendo conclusões valiosas para o planejamento das estratégias a serem adotadas para cada nível crítico e otimização dos recursos empresariais.

O processo de exportação e análise desses dados representa um alicerce robusto para os resultados, conclusões e recomendações que serão apresentadas no desdobramento deste trabalho.

3.2.3.2 Aplicar e documentar as entrevistas

Dado que as entrevistas realizadas foram do tipo semiestruturadas, com um modelo flexível, a elaboração de seu protocolo é de natureza simples. A pesquisadora estabeleceu perguntas padronizadas para a introdução da conversa, direcionando-as ao critério de avaliação. Em linhas gerais, a estrutura das perguntas padronizadas adotou o seguinte formato: "Considerando o equipamento x, em caso de falha, qual seria o impacto no critério x?". Esse procedimento foi aplicado uniformemente para todos os critérios avaliados por esse método.

As entrevistas foram conduzidas para avaliar os critérios qualitativos da matriz de criticidade, e os colaboradores entrevistados incluíram o engenheiro de segurança do trabalho, a analista de qualidade e meio ambiente e o especialista de processos II. A pesquisadora liderou as entrevistas, e a avaliação dos critérios foi realizada individualmente para cada equipamento.

As informações obtidas nas entrevistas foram documentadas em um arquivo de um editor de texto, enquanto a avaliação dos critérios foi registrada diretamente na matriz de criticidade proposta, elaborada em formato de planilha eletrônica.

3.2.3.3 Tabular os dados

Após a realização de aproximadamente 8 entrevistas, e exportação de 7 bases de dados distintas, os dados foram tabulados em formato Excel.

O dado referente ao critério de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente, representado pelo grau de risco do equipamento, foi associado aos 3 cenários de criticidade definidos na matriz. Esse procedimento foi adotado considerando que o Grau de Risco de um equipamento é composto por seis notas distintas, as quais podem ser agrupadas em três categorias.

Os dados referentes à Utilização do Equipamento, Tempo Médio de Reparo da Falha, Custo Médio de Reparo de Falha e Frequência de Falha foram submetidos à análise de seus quartis 1 e 3 (valor correspondente à mediana da metade inferior dos dados, 25% dos dados e valor correspondente à mediana da metade superior dos dados, 75% dos dados) e seus valores de mínimo e máximo, para a obtenção do resultado da relação do indicador com o critério.

Após o preenchimento da matriz com todos os dados necessários, a classificação de criticidade de cada equipamento foi gerada, e tabelas e gráficos dinâmicos foram criados para indicar o consolidado do resultado obtido.

Estes resultados são apresentados no Capítulo 4, a seguir.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são descritos os critérios de criticidade, evidenciando as classificações possíveis para cada critério, o fluxograma orientado para a tomada de decisão sobre a criticidade final do equipamento, o resultado global de criticidade e as estratégias de manutenção propostas para os equipamentos considerados

4.1 CRITÉRIOS DECISORES

De acordo com Baran (2015), a definição dos critérios faz parte da composição do sistema de análise da criticidade dos ativos, sendo que sua seleção corresponderá à forma com que os equipamentos serão devidamente avaliados.

O Quadro 7 apresenta os critérios decisores estabelecidos para a avaliação de criticidade de ativos da empresa estudada. Estes critérios estão alinhados com o método de avaliação de criticidade recomendado pela JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) e com o uso da Classificação ABC.

Quadro 7 - Critérios decisores

Sigla	Critérios decisores
STMA	Segurança do Trabalho e Meio Ambiente
IPQ	Impacto na Produção e Qualidade
UE	Utilização do Equipamento
TMRF	Tempo Médio de Reparo da Falha
CMRF	Custo Médio de Reparo da Falha
FF	Frequência de Falhas

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Estes critérios decisores estabelecem o princípio analítico da avaliação da criticidade dos equipamentos da empresa, sendo estes detalhados no tópico a seguir.

4.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES

Nesta etapa, tem-se a descrição dos critérios decisores e a classificação a ser utilizada para avaliar e determinar a criticidade do equipamento de acordo com cada critério.

Como dito anteriormente, a classificação proposta está alinhada com o método recomendado pela JIPM (1995), com base na Classificação ABC.

O nível A representa o cenário mais crítico de impacto do equipamento sob a perspectiva do critério avaliado, ou seja, alta criticidade, causando consequências expressivas para a empresa. Já, o nível B corresponde ao cenário de criticidade média sob a perspectiva do critério considerado, onde ainda existem consequências para a empresa, mas com a possibilidade de implementar ações para mitigá-las. Por fim, o nível C refere-se ao cenário de menor nível de criticidade sob o critério em análise, gerando pouca ou nenhuma consequência para a empresa.

A caracterização de cada critério é apresentada a seguir.

4.2.1 Segurança do Trabalho e Meio Ambiente

O critério de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente (STMA) tem o objetivo de identificar o impacto de uma eventual quebra ou falha no equipamento analisado do ponto de vista da segurança do trabalho e meio ambiente, evidenciando os potenciais riscos existentes que impactam de forma direta e indireta os colaboradores da empresa e a região na qual a empresa está localizada. O Quadro 8 apresenta de forma detalhada as classificações do critério de STMA.

Quadro 8 - Critério de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente

Critério decisor	Classificação	Descrição da classificação
Segurança do Trabalho e Meio Ambiente (STMA)	A	A falha ou quebra do equipamento provoca graves efeitos sobre o homem (morte/ou invalidez) e/ou contaminação irreversível ao meio ambiente.
	B	A falha ou quebra do equipamento provoca efeitos sobre o homem (lesão e/ou afastamento) e/ou contaminação reversível ao meio ambiente.
	C	A falha ou quebra do equipamento não gera riscos ao homem ou meio ambiente.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A avaliação desse critério é realizada por meio de uma abordagem tanto quantitativa quanto qualitativa. A abordagem quantitativa é empregada para avaliar o critério sob a perspectiva da segurança do trabalho, utilizando o valor correspondente ao Grau de Risco do equipamento, conforme estabelecido pela NR 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos (2022).

Por outro lado, a abordagem qualitativa é empregada na avaliação do critério em relação aos riscos ambientais, junto aos analistas ambientais da empresa, sendo formulada uma pergunta orientadora para análise tendo como base a Política Nacional do Meio Ambiente (1981).

- a) O equipamento já possui alguma estratégia contra potencial risco ao meio ambiente (calha, kit emergencial de meio ambiente, sensores, análises periódicas, entre outros)? Se sim, considere um nível menor de criticidade, se enquadrando na classificação B ou C.

A título de exemplo, toma-se o caso das injetoras e extrusoras avaliadas. Todos os equipamentos do parque fabril da empresa já possuem um kit emergencial de meio ambiente e na estrutura dos equipamentos já possuem calhas para possíveis vazamentos de óleo. Segundo a avaliação junto ao analista de meio ambiente da empresa, tem-se um potencial de risco ao meio ambiente nulo.

Todavia, as extrusoras e injetoras possuem um sistema de abertura e fechamento de seus moldes que possibilitam lesões aos operadores que trabalham nestes equipamentos. Esse sistema é avaliado como um potencial risco à segurança do trabalho com criticidade B, sendo necessárias recorrentes ações de manutenção para garantir o pleno funcionamento da máquina.

4.2.2 Impacto na Produção e Qualidade

O critério de Impacto na Produção e Qualidade (IPQ) tem o objetivo de identificar o impacto de uma eventual quebra ou falha no equipamento analisado na visão da capacidade produtiva e qualidade do produto final, evidenciando os potenciais riscos existentes que impactam de forma direta ou indireta os clientes da empresa. O Quadro 9 apresenta de forma detalhada as classificações do critério de IPQ.

Quadro 9 - Critério de Impacto na Produção e Qualidade

Critério decisor	Classificação	Descrição da classificação
Impacto na Produção e Qualidade (IPQ)	A	A falha ou quebra no equipamento provoca parada total da produção sem nenhuma alternativa de solução a curto prazo e/ou afeta as operações de injeção e extrusão, afetando a qualidade do produto (fora de especificação).
	B	A falha ou quebra no equipamento pode provocar parada parcial da produção, porém com alternativas de solução imediatas e/ou afeta a qualidade (produto fora de especificação) de uma célula e/ou linha das operações de injeção e extrusão.
	C	A falha ou quebra no equipamento não gera efeitos sobre a produção, pois há outros equipamentos que o substitua, e/ou não afeta a qualidade do produto.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A avaliação do critério de Impacto na Produção e Qualidade deve ser feita junto aos especialistas e/ou técnicos de processos da unidade, por meio da análise qualitativa de impacto.

Para esta avaliação foram definidas as seguintes perguntas direcionadoras:

- a) O equipamento possui roteiro de produção exclusivo, no qual um ou mais produtos fabricados por ele não podem ser fabricados em nenhum outro equipamento do parque fabril? Se sim, considere um nível maior de criticidade, se enquadrando na classificação A ou B, com base no impacto dos produtos na capacidade de atender à demanda.
- b) Caso haja uma parada do equipamento e os produtos fabricados por ele fossem produzidos em outro equipamento, há riscos à qualidade do produto final, por exemplo, presença de rebarba, coloração ou dimensão fora de especificação? Se sim, considere um nível maior de criticidade, se enquadrando na classificação A ou B, com base no impacto dos produtos na capacidade de atender à demanda.

Como exemplo, tomamos o caso da avaliação das injetoras, que tiveram o mesmo resultado na avaliação. O portfólio de produtos fabricados nas injetoras possuem alta

flexibilidade para serem fabricados em outras injetoras, tanto pela dimensão pequena desses produtos, quanto pela quantidade de moldes disponíveis para sua fabricação. Porém, no aspecto da qualidade, temos um médio potencial de gerar rebarbas ou contaminação na coloração dos produtos. Sendo assim, para esses casos, deu-se a classificação de criticidade B.

Todavia, na área de extrusão tem-se situações mais críticas, como o caso da avaliação da extrusora 1, apresentado na Apêndice A. O produto fabricado nessa extrusora é um produto de linha exclusiva, fabricado unicamente por esta máquina, não havendo outra capaz de produzi-lo. Esta máquina é caracterizada pela empresa como máquina de roteiro exclusivo, no qual não há alternativas de solução em caso de quebra ou falha da máquina, sendo classificada como criticidade A no critério de IPQ.

4.2.3 Utilização do Equipamento

O critério de Utilização do Equipamento (UE) tem o objetivo de identificar o impacto de uma eventual quebra ou falha na visão do nível de utilização do equipamento prevista para o próximo ano, evidenciando os potenciais riscos existentes que impactam de forma direta ou indireta a produção dos produtos da empresa. O Quadro 10 apresenta de forma detalhada as classificações do critério de UE

Quadro 10 - Critério de Utilização do Equipamento

Critério decisor	Classificação	Descrição da classificação
Utilização do Equipamento (UE)	A	A Utilização do equipamento (% projeção de ocupação) é $\geq 75\%$
	B	Utilização do equipamento (% projeção de ocupação) está entre 25% e 75%
	C	Utilização do equipamento (% projeção de ocupação) é $\leq 25\%$

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A avaliação desse critério é realizada por meio da análise quantitativa do valor de ocupação do equipamento, projetado para o próximo ano. Para o cálculo desse valor sugere-se considerar a projeção da produção para o ano seguinte. Na empresa da pesquisadora, esse valor é definido pela área S&OP (*Sales and Operations Planning*).

4.2.4 Tempo Médio de Reparo da Falha

O critério de Tempo Médio de Reparo da Falha (TMRF) tem o objetivo de identificar o impacto de uma eventual quebra ou falha na visão do tempo e complexidade de reparo do equipamento, evidenciando os potenciais riscos existentes que impactam de forma direta ou indireta o indicador de Tempo Médio de Reparo da Falha (TMRF) da empresa. O Quadro 11 apresenta de forma detalhada as classificações do critério de TMRF.

Quadro 11 - Critério de Tempo Médio para Reparo da Falha

Critério decisor	Classificação	Descrição da classificação
Tempo Médio de Reparo da Falha (TMRF)	A	O TMRF do equipamento é $\geq 75\%$ em relação ao valor médio e/ou a empresa não possui equipe capacitada ou fornecedores homologados, com prazo de reparo >10 dias.
	B	O TMRF do equipamento está entre 25% e 75% em relação ao valor médio e/ou a empresa possui equipe capacitada ou fornecedores homologados, com prazo de reparo < 10 dias.
	C	O TMRF do equipamento é $\leq 25\%$ em relação ao valor médio e/ou a empresa possui recursos na unidade ou fornecedores homologados com prazo de reparo imediato.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A avaliação desse critério é realizada por meio da análise quantitativa e qualitativa. Na análise quantitativa, recomenda-se utilizar dados históricos do indicador de Tempo Médio de Reparo da Falha (TMRF) de cada equipamento. Em complemento, a análise qualitativa é incorporada para avaliar o tempo de reparo de um fornecedor externo, caso seja necessário, conforme estipulado nos contratos de prestação de serviços mantidos pela empresa.

4.2.5 Custo Médio de Reparo da Falha

O critério de Custo Médio de Reparo da Falha (CMRF) tem o objetivo de identificar o impacto de uma eventual quebra ou falha na visão do custo atrelado ao reparo da falha do equipamento, evidenciando os potenciais riscos existentes que impactam de forma direta ou

indireta o indicador de Custo de Manutenção da empresa. O Quadro 12 apresenta de forma detalhada as classificações do critério de CMRF.

Quadro 12 - Critério de Custo Médio de Reparo da Falha

Critério decisor	Classificação	Descrição da classificação
Custo Médio de Reparo da Falha (CMRF)	A	O custo de peças + serviço do reparo é $\geq 75\%$ em relação ao seu valor médio.
	B	O custo de peças + serviço do reparo está entre 25% e 75% em relação ao seu valor médio.
	C	O custo de peças + serviço do reparo é $\leq 25\%$ em relação ao seu valor médio.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para a avaliação do critério de Custo Médio de Reparo da Falha, recomenda-se utilizar os registros dos dados históricos dos custos de reparo de cada equipamento, avaliando os valores associados às peças substituídas e à mão de obra empregada no reparo.

4.2.6 Frequência de Falhas

O critério de Frequência de Falhas (FF) tem o objetivo de identificar a taxa ou a periodicidade com que ocorrem falhas nos equipamentos, evidenciando os potenciais riscos existentes que impactam de forma direta o indicador de Tempo Médio entre Falhas (TMEF) da empresa. O Quadro 13 apresenta de forma detalhada as classificações do critério de FF.

Quadro 13 - Critério de Frequência de Falhas

Critério decisor	Classificação	Descrição da classificação
Frequência de falhas (FF)	A	O TMEF do equipamento é $\leq 25\%$ em relação ao valor médio
	B	O TMEF do equipamento está entre 25% e 75% em relação ao valor médio
	C	O TMEF do equipamento é $\geq 75\%$ em relação ao valor médio

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A avaliação desse critério é realizada por meio da análise quantitativa do indicador de Tempo Médio entre Falhas (TMEF) de cada equipamento. Esse processo envolve a comparação do indicador específico de cada equipamento com o valor médio entre todos os equipamentos de mesma tipologia.

No Quadro 14, todas as classificações dos critérios mencionados anteriormente são apresentadas de maneira concisa e organizada, proporcionando uma visualização clara e facilitada. Essa disposição lado a lado dos critérios e suas respectivas classificações permite uma visualização mais eficaz e uma análise abrangente das informações apresentadas.

Quadro 14 - Critérios decisores e suas classificações

Critério decisor	A	B	C
Segurança do Trabalho e Meio Ambiente STMA	A falha ou quebra do equipamento provoca graves efeitos sobre o homem (morte/ou invalidez) e/ou contaminação irreversível ao meio ambiente	A falha ou quebra do equipamento provoca efeitos sobre o homem (lesão e/ou afastamento) e/ou contaminação reversível ao meio ambiente	A falha ou quebra do equipamento não gera riscos ao homem ou meio ambiente
Impacto na Produção e Qualidade IPQ	A falha ou quebra no equipamento provoca parada total da produção sem nenhuma alternativa de solução a curto prazo e/ou afeta as operações de injeção e extrusão, afetando a qualidade do produto (fora de especificação).	A falha ou quebra no equipamento pode provocar parada parcial da produção, porém com alternativas de solução imediatas e/ou afeta a qualidade (produto fora de especificação) de uma célula e/ou linha das operações de injeção e extrusão.	A falha ou quebra no equipamento não gera efeitos sobre a produção, pois há outros equipamentos que o substitua, e/ou não afeta a qualidade do produto.
Utilização do Equipamento UE	A utilização do equipamento (% projeção de ocupação) é $\geq 75\%$	A utilização do equipamento (% projeção de ocupação) está entre 25% e 75%	A utilização do equipamento (% projeção de ocupação) é $\leq 25\%$
Tempo Médio de Reparo da Falha TMRF	O TMRF do equipamento é $\geq 75\%$ em relação ao valor médio e/ou a empresa não possui equipe capacitada ou fornecedores homologados, com prazo de reparo >10 dias.	O TMRF do equipamento está entre 25% e 75% em relação ao valor médio e/ou a empresa possui equipe capacitada ou fornecedores homologados, com prazo de reparo < 10 dias.	O TMRF do equipamento é $\leq 25\%$ em relação ao valor médio e/ou a empresa possui recursos na unidade ou fornecedores homologados com prazo de reparo imediato.
Custo Médio de Reparo da Falha CMRF	O custo de peças + serviço do reparo é $\geq 75\%$ em relação ao seu valor médio	O custo de peças + serviço do reparo está entre 25% e 75% em relação ao seu valor médio	O custo de peças e/ou serviço do reparo é $\leq 25\%$ em relação ao seu valor médio
Frequência da Falhas FF	O TMEF do equipamento é $\geq 75\%$ em relação ao valor médio	O TMEF do equipamento está entre 25% e 75% em relação ao valor médio	O TMEF do equipamento é $\leq 25\%$ em relação ao valor médio

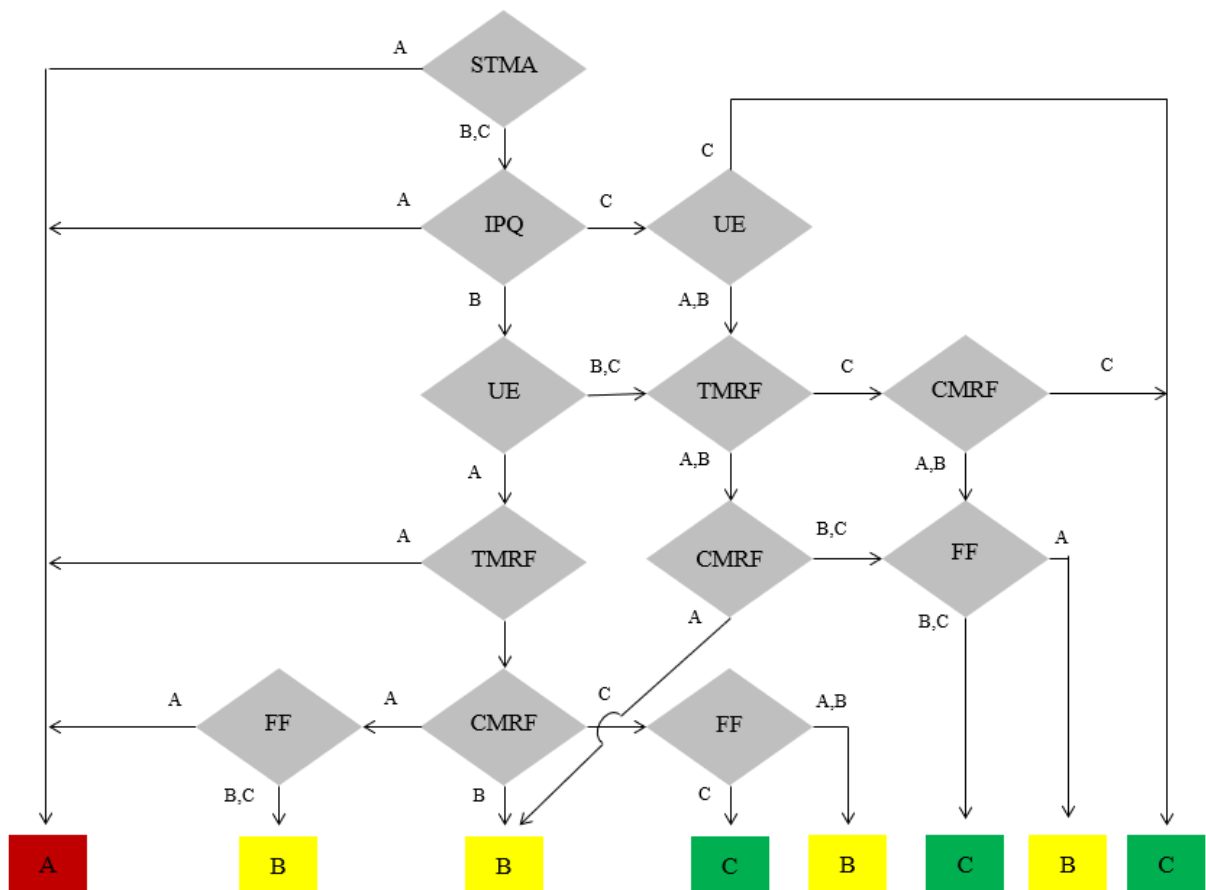
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

4.3 FLUXOGRAMA ORIENTADO À DECISÃO DA CRITICIDADE

A fim de possibilitar que as informações obtidas durante a avaliação dos critérios pudessem determinar a criticidade do equipamento, foi definido como método para tomada de decisão o uso de um fluxograma orientado à criticidade.

Dessa forma, por meio da correlação dos resultados provenientes da avaliação dos critérios decisores, é possível obter a criticidade do equipamento, conforme esquematizado na Figura 21.

Figura 21- Fluxograma orientado à decisão de criticidade



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

O fluxograma apresentado na Figura 21 é resultante de uma adaptação do método de avaliação de criticidade recomendado pela JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) com o uso da Classificação ABC.

À medida que cada critério é minuciosamente avaliado, o fluxograma delinea os encaminhamentos para a próxima etapa de avaliação, destacando os diferentes caminhos que as

classificações determinadas podem conduzir até a determinação da criticidade final do equipamento.

No fluxograma da Figura 21, os losangos representam os critérios decisores, as setas representam o sentido na qual cada classificação (A, B ou C) poderá ser encaminhada e os quadrados representam as criticidades finais atribuídas aos equipamentos (A, B ou C).

Como exemplo ilustrativo, considere-se a avaliação de uma injetora genérica. O processo de avaliação se inicia com a classificação do seu impacto em relação à Segurança do Trabalho e Meio Ambiente (STMA). Se o equipamento for categorizado com criticidade A em STMA, conforme orientado pelo fluxograma, sua criticidade final é automaticamente estabelecida como equipamento de criticidade A. Nesse contexto, não é necessário prosseguir com a avaliação dos demais critérios, uma vez que a empresa definiu o critério de STMA como critério primário e altamente crítico em casos de potenciais riscos.

No cenário em que o equipamento não alcance a classificação A no primeiro critério, mas sim B ou C, a avaliação avança para o segundo nível. Nesse estágio, o equipamento é submetido à avaliação no critério de Impacto na Produção e Qualidade (IPQ). Nessa avaliação, tem-se dois caminhos possíveis. No caso de o equipamento ser avaliado com criticidade A, assim como no critério de STMA, sua criticidade final já é automaticamente estabelecida como equipamento de criticidade A, não sendo necessário prosseguir com a avaliação dos demais critérios. Mas se tal equipamento for avaliado com criticidade B ou C neste critério, avança-se para o terceiro nível de avaliação, sob a ótica do critério de Utilização do Equipamento (UE).

A partir desse ponto, as relações se tornam mais detalhadas. Dois caminhos principais podem ser identificados com base nas classificações obtidas em sequência nos critérios. Se a combinação dos resultados de dois critérios consecutivos resultar em ambos sendo classificados como crítico C (por exemplo, a injetora foi categorizada como criticidade C no critério de STMA, e ao avançar para o critério de Utilização do Equipamento (UE), também recebeu uma avaliação de criticidade C), então sua criticidade final é automaticamente direcionada como equipamento de criticidade C.

Entretanto, se a combinação dos resultados de dois critérios consecutivos incluir classificações de criticidade A ou B, o equipamento seguirá um caminho de avaliação em todos os demais critérios. Isso demonstra uma inter-relação mais significativa entre os critérios, exigindo uma análise mais minuciosa e abrangente para determinar a criticidade do equipamento.

Essa abordagem estruturada e orientada pelo fluxograma não apenas garante uma avaliação sistemática, mas também oferece uma visão clara dos processos envolvidos na

determinação da criticidade, contribuindo significativamente para a eficácia e confiabilidade do resultado final.

4.4 APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES E FLUXOGRAMA ORIENTADO À DECISÃO DA CRITICIDADE

Com o objetivo de analisarmos a eficácia da matriz de criticidade desenvolvida, realizou-se sua aplicação prática, com a avaliação de 136 equipamentos da empresa, sob a ótica dos critérios decisores definidos junto ao fluxograma orientado à decisão da criticidade. A aplicação prática foi feita em conjunto com os participantes envolvidos no estudo, conforme apresentado no Quadro 6.

Este procedimento teve por desígnio não somente analisar as definições feitas para a matriz de criticidade, mas também verificar a viabilidade operacional do formato de execução desta avaliação. Os Apêndices A e B apresentam o resultado da matriz de criticidade das extrusoras e a matriz de criticidade das injetoras, respectivamente.

O resultado quantitativo da aplicação da matriz de criticidade evidenciando a distribuição da quantidade das extrusoras e das injetoras classificadas em cada nível de criticidade, é exibida por meio nas Tabela 8 e 9, respectivamente. A Tabela 10 apresenta os valores consolidados dos resultados obtidos de forma individual para as injetoras e extrusoras, mostrando a quantidade e o percentual total destes equipamentos classificados em cada nível de criticidade.

Tabela 8 - Quantidade e percentual de extrusoras classificadas em cada nível de criticidade

Criticidade	Quantidade de equipamentos	% percentual
A	7	33,33%
B	4	19,05%
C	10	47,62%
Total Geral	21	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Tabela 9 - Quantidade e percentual de injetoras classificadas em cada nível de criticidade

Criticidade	Quantidade de equipamentos	% percentual
A	12	10,43%
B	43	37,39%
C	60	52,17%
Total Geral	115	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Tabela 10 - Quantidade e percentual total dos equipamentos classificados em cada nível de criticidade

Criticidade	Quantidade de equipamentos	% percentual
A	19	13,97%
B	47	34,56%
C	70	51,47%
Total Geral	21	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A interpretação destes resultados servirá como base para direcionar as estratégias de manutenção a serem aplicadas em cada equipamento, alocação de recursos e tomada de decisões voltadas à gestão eficiente de ativos da empresa.

4.5 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Após o desenvolvimento e aplicação da matriz de criticidade dos equipamentos, procede-se à definição das estratégias de manutenção a serem adotadas para cada equipamento, de acordo com o seu respectivo nível de criticidade.

A seguir, apresenta-se as estratégias de manutenção definidas para cada nível crítico, divididas nas seguintes categorias:

- **Tipos de Manutenção:** Constitui-se no tipo de manutenção aplicado baseado na condição do equipamento, parado ou em operação.
- **Política de Sobressalentes:** Diretriz dada para a gestão do estoque de peças de reposição e componentes necessários para a manutenção de equipamentos. Essa política

é desenvolvida com o objetivo de garantir a disponibilidade de peças sobressalentes essenciais para a execução do reparo da falha.

- **Política de Investimentos:** Diretriz dada à alocação de recursos financeiros para projetos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva e, bem como para aquisição de novos equipamentos, tecnologias e sistemas. Essa política é desenvolvida com o objetivo de otimizar o uso dos recursos financeiros da área de manutenção, garantir a confiabilidade operacional dos equipamentos, e maximizar o retorno sobre o investimento a longo prazo.
- **Custos:** Diretriz dada para controle dos gastos de manutenção com os equipamentos, incluindo o controle de despesas com mão de obra, materiais, serviços contratados, equipamentos e ferramentas necessárias para a execução das atividades de manutenção.
- **Atendimento:** Determina a prioridade no atendimento das demandas de manutenção dos equipamentos.
- **Engenharia de Manutenção:** Define a atuação da equipe de engenharia de manutenção da empresa a nível estratégico, análise de dados de desempenho e implementação de estratégias e projetos de melhoria contínua.

A seguir, serão descritas as estratégias de manutenção propostas, de acordo com nível de criticidade do equipamento.

4.5.1 Equipamentos A

Os equipamentos classificados como criticidade A são aqueles considerados de alto impacto na planta e neles devem ser usados todos os recursos disponíveis, para que evitem a perda da sua funcionalidade. Se paralisados, são capazes de interromper o processo de produção ou causar transtornos ao mesmo, reduzindo a capacidade produtiva e impactando a qualidade, segurança do trabalho e meio ambiente. Logo, são caracterizados como equipamentos de alto risco operacional.

Para os equipamentos com criticidade A, as seguintes estratégias de manutenção são propostas, conforme mostradas no Quadro 16.

Quadro 16 - Estratégias de manutenção para equipamentos A (continua)

Estratégias	Descrição das estratégias
Foco da Manutenção	Garantir máxima confiabilidade
Objetivo da Manutenção	Eliminar intervenções não planejadas ou emergenciais.
Tipos de Manutenção	<p>1. Manutenção Preditiva Total</p> <p>O quê: Processo sistemático de monitoramento e análise de parâmetros de processo, com utilização de tecnologias avançadas de monitoramento executado de acordo com uma periodicidade definida e adaptada às características específicas de cada tipo de equipamento.</p> <p>Atividades: Realização de atividades como Análise de Óleo, Análise Termogravimétrica, Análise de Vibrações, Medição do Desgaste de Fuso e Cilindro, quando aplicável, e Inspeção Sensitiva para detectar possíveis falhas potenciais e prevenir a ocorrência de danos maiores.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada in loco, nos equipamentos parados ou em operação.</p> <p>Como: É feito por meio de monitoramento remoto e em tempo real de parâmetros com utilização de software e verificações de maior complexidade realizadas in loco com instrumentos adequados.</p> <p>2. Manutenção Preventiva</p> <p>2.1 Substituição de peças críticas</p> <p>O quê: Conjunto de atividades de manutenção planejadas e executadas antes da ocorrência de falhas, conforme intervalos de tempo estabelecidos com base nas recomendações do fabricante e/ou especialistas da empresa.</p> <p>Atividades: Substituição de peças/componentes críticos do equipamento, realização de ajustes e verificações de acordo com os padrões e diretrizes estabelecidos.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p>

Quadro 16 - Estratégias de manutenção para equipamentos A (continuação)

Estratégias	Descrição das estratégias
Tipos de Manutenção	<p>Onde: Realizada in loco, nos equipamentos parados ou em operação.</p> <p>Como: É feito por meio da utilização de listas de verificação indicando quais peças/componentes devem ser substituídas.</p> <p>2.2 Inspeção Técnica</p> <p>O quê: Processo de inspeção técnica realizado em pontos críticos do equipamento, podendo envolver o uso de ferramentas e instrumentos especializados, conforme uma periodicidade definida, adaptada às necessidades e características de cada tipo de equipamento.</p> <p>Atividades: Inspeções detalhadas em pontos críticos do equipamento e componentes.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada in loco, nas áreas e equipamentos sujeitos a inspeção.</p> <p>Como: É feito por meio da utilização de lista de verificação indicando quais pontos críticos do equipamento devem ser inspecionados.</p> <p>2.3 Lubrificação</p> <p>O quê: Procedimento que envolve a aplicação adequada de lubrificante em pontos específicos dos equipamentos, de acordo com a periodicidade definida para cada componente.</p> <p>Atividades: Aplicação de lubrificante nos pontos designados, seguindo as recomendações do fabricante e os padrões de lubrificação estabelecidos pela empresa.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção</p> <p>Onde: Locais específicos nos equipamentos, onde a lubrificação é necessária, realizada no local de operação (in loco).</p> <p>Como: É feito por meio da utilização do manual do fabricante, indicando quais pontos do equipamento devem ser lubrificados.</p>

Quadro 16 - Estratégias de manutenção para equipamentos A (conclusão)

Estratégias	Descrição das estratégias
Tipos de Manutenção	<p>3. Manutenção Corretiva Planejada</p> <p>O quê: Conjunto de ações planejadas destinadas a corrigir falhas identificadas nos equipamentos de forma planejada</p> <p>Atividades: Diagnóstico e reparo de falhas identificadas durante as inspeções ou durante a operação normal dos equipamentos.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada no local (in loco) ou, quando necessário, em ambientes externos em parceria com fornecedores da empresa.</p> <p>Como: É feito por meio de um cronograma elaborado pelo programador de manutenção, indicando em quais máquinas devem ocorrer reparos planejados.</p>
Política de Sobressalentes	<p>Garantir disponibilidade plena de peças críticas em estoque.</p> <p>Atividade: Mapeamento de peças críticas para estoque com fornecedores cadastrados e desenvolvimento de fornecedores alternativos, podendo ter estoque para cada equipamento a depender do componente e <i>lead time</i>.</p>
Política de Investimentos	Alta prioridade aos que visam aumento de confiabilidade.
Custos	Permite-se gastos mais significativos a ser avaliado conjuntamente com o aumento da confiabilidade do equipamento.
Atendimento	Prioridade máxima em atendimento emergencial.
Engenharia de Manutenção	<p>1. Análise diária dos dados de desempenho operacional dos equipamentos com base em indicadores específicos.</p> <p>2. Análise de falhas.</p> <p>3. Desenvolvimento e revisão de padrões específicos de manutenção individualizados para cada equipamento.</p> <p>4. Implementação de melhorias nos processos relacionados às atividades do setor de manutenção.</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

4.5.2 Equipamentos B

Os equipamentos classificados como criticidade B são aqueles considerados de médio impacto para a planta, porém importantes para o processo produtivo. Se paralisados, podem interromper o processo produtivo, reduzindo-o parcialmente, mas a empresa possui soluções imediatas para absorver esse impacto. Além de poderem impactar na segurança, meio ambiente, qualidade do produto e/ou custos operacionais.

Para estes equipamentos, foram propostas as seguintes estratégias de manutenção, conforme mostradas no Quadro 17.

Quadro 17 - Estratégias de manutenção para equipamentos B (continua)

Estratégias	Descrição das estratégias
Foco da Manutenção	Garantir balanço entre disponibilidade e custos
Objetivo da Manutenção	Minimizar as intervenções não planejadas ou emergenciais.
Tipos de Manutenção	<p>1. Manutenção Preditiva (Parcial)</p> <p>O quê: Processo sistemático de monitoramento e análise de parâmetros de processo, executado de acordo com uma periodicidade definida e adaptada às características específicas de cada tipo de equipamento. Para equipamentos classificados como B este processo não ocorre em tempo real, mas é realizado apenas por meio de instrumentação adequada.</p> <p>Atividades: Realização de atividades como Análise de Óleo, Análise Termogravimétrica, Análise de Vibrações, Medição do Desgaste de Fuso e Cilindro, quando aplicável, e Inspeção Sensitiva para detectar possíveis falhas potenciais e prevenir a ocorrência de danos maiores.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada in loco, nos equipamentos parados ou em operação.</p> <p>Como: É feito por meio de verificações instrumentadas realizadas in loco com instrumentos adequados.</p>

Quadro 17 - Estratégias de manutenção para equipamentos B (continua)

Estratégias	Descrição das estratégias
Tipos de Manutenção	<p>2. Manutenção Preventiva</p> <p>2.1 Substituição de peças críticas</p> <p>O quê: Conjunto de atividades de manutenção planejadas e executadas antes da ocorrência de falhas, conforme intervalos de tempo estabelecidos com base nas recomendações do fabricante e/ou especialistas da empresa.</p> <p>Atividades: Substituição de peças/componentes críticos do equipamento, realização de ajustes e verificações de acordo com os padrões e diretrizes estabelecidos.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada in loco, nos equipamentos parados ou em operação.</p> <p>Como: É feito por meio da utilização de listas de verificação indicando quais peças/componentes devem ser substituídas.</p> <p>2.2 Inspeção Técnica</p> <p>O quê: Processo de inspeção técnica realizado em pontos críticos do equipamento, podendo envolver o uso de ferramentas e instrumentos especializados, conforme uma periodicidade definida, adaptada às necessidades e características de cada tipo de equipamento.</p> <p>Atividades: Inspeções detalhadas em pontos críticos do equipamento e componentes.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada in loco, nas áreas e equipamentos sujeitos a inspeção.</p> <p>Como: É feito por meio da utilização de lista de verificação indicando quais pontos críticos do equipamento devem ser inspecionados.</p>

Quadro 17 - Estratégias de manutenção para equipamentos B (continuação)

Estratégias	Descrição das estratégias
Tipos de Manutenção	<p>2.3 Lubrificação</p> <p>O quê: Procedimento que envolve a aplicação adequada de lubrificante em pontos específicos dos equipamentos, de acordo com a periodicidade definida para cada componente.</p> <p>Atividades: Aplicação de lubrificante nos pontos designados, seguindo as recomendações do fabricante e os padrões de lubrificação estabelecidos pela empresa.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção</p> <p>Onde: Locais específicos nos equipamentos, onde a lubrificação é necessária, realizada no local de operação (in loco).</p> <p>Como: É feito por meio da utilização do manual do fabricante, indicando quais pontos do equipamento devem ser lubrificados.</p> <p>3. Manutenção Corretiva Planejada</p> <p>O quê: Conjunto de ações planejadas destinadas a corrigir falhas identificadas nos equipamentos de forma planejada</p> <p>Atividades: Diagnóstico e reparo de falhas identificadas durante as inspeções ou durante a operação normal dos equipamentos.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada no local (in loco) ou, quando necessário, em ambientes externos em parceria com fornecedores da empresa.</p> <p>Como: É feito por meio de um cronograma elaborado pelo programador de manutenção, indicando em quais máquinas devem ocorrer reparos planejados.</p>
Política de Sobressalentes	<p>Garantir disponibilidade de peças críticas para programação das ações de manutenção.</p> <p>Atividade: Mapeamento de peças críticas para programação com fornecedores cadastrados, podendo ter estoque por família de equipamento a depender do componente e <i>lead time</i>.</p>
Política de Investimentos	Prioridade aos equipamentos com maior taxa de falha.
Custos	Avaliado conjuntamente com a disponibilidade do equipamento.

Quadro 17 - Estratégias de manutenção para equipamentos B (conclusão)

Estratégias	Descrição das estratégias
Atendimento	Prioridade média em atendimento emergencial.
Engenharia de Manutenção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise periódica dos dados de desempenho operacional realizada com base em indicadores. 2. Desenvolvimento e revisão de procedimentos de manutenção por família de equipamentos. 3. Implementação de melhorias nos processos relacionados às atividades do setor de manutenção.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

4.5.3 Equipamentos C

Os equipamentos classificados como criticidade C são aqueles considerados de baixo impacto para a empresa. Se paralisados, não provocam consequências imediatas ao processo produtivo, normalmente sendo de fácil substituição, com baixo riscos à segurança, meio ambiente e qualidade do produto. Em termos de custo, a troca do ativo por um novo é mais barato do que manter uma técnica de manutenção constante.

Para estes equipamentos, definiu-se as seguintes estratégias de manutenção, conforme mostradas no Quadro 18.

Quadro 18 - Estratégias de manutenção para equipamentos C (continua)

Estratégias	Descrição das estratégias
Foco da Manutenção	Vida útil máxima com custo mínimo.
Objetivo da Manutenção	Minimizar o aporte de recursos de pessoal, materiais, serviços e equipamentos.
Tipos de Manutenção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Manutenção Preditiva Básica (Inspeção Sensitiva) <p>O quê: Processo simplificado de monitoramento e análise de parâmetros de processo, envolvendo técnicas de inspeções sensitivas executado de acordo com uma periodicidade definida e adaptada às características específicas de cada tipo de equipamento.</p>

Quadro 18 - Estratégias de manutenção para equipamentos C (continuação)

Estratégias	Descrição das estratégias
Tipos de Manutenção	<p>Atividades: Realização de inspeções regulares em pontos críticos do equipamento e seus componentes, seguindo um checklist predefinido para identificar sinais de desgaste, danos ou sujidades que possam afetar o desempenho.</p> <p>Quem: Operadores dos equipamentos.</p> <p>Onde: Realizada in loco, diretamente nos equipamentos e áreas de operação.</p> <p>Como: É feito por meio da utilização de checklist manual indicando quais pontos críticos do equipamento devem ser inspecionados.</p> <p>2. Manutenção Preventiva</p> <p>2.1 Inspeção Técnica</p> <p>O quê: Processo de inspeção técnica realizado em pontos críticos do equipamento, podendo envolver o uso de ferramentas e instrumentos especializados, conforme uma periodicidade definida, adaptada às necessidades e características de cada tipo de equipamento.</p> <p>Atividades: Inspeções detalhadas em pontos críticos do equipamento e componentes.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada in loco, nas áreas e equipamentos sujeitos a inspeção.</p> <p>Como: É feito por meio da utilização de lista de verificação indicando quais pontos críticos do equipamento devem ser inspecionados.</p> <p>2.2 Lubrificação</p> <p>O quê: Procedimento que envolve a aplicação adequada de lubrificante em pontos específicos dos equipamentos, de acordo com a periodicidade definida para cada componente.</p>

Quadro 18 - Estratégias de manutenção para equipamentos C (conclusão)

Estratégias	Descrição das estratégias
Tipos de Manutenção	<p>Atividades: Aplicação de lubrificante nos pontos designados, seguindo as recomendações do fabricante e os padrões de lubrificação estabelecidos pela empresa.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção</p> <p>Onde: Locais específicos nos equipamentos, onde a lubrificação é necessária, realizada no local de operação (in loco).</p> <p>Como: É feito por meio da utilização do manual do fabricante, indicando quais pontos do equipamento devem ser lubrificados.</p> <p>3. Manutenção Corretiva Planejada</p> <p>O quê: Conjunto de ações planejadas destinadas a corrigir falhas identificadas nos equipamentos de forma planejada</p> <p>Atividades: Diagnóstico e reparo de falhas identificadas durante as inspeções ou durante a operação normal dos equipamentos.</p> <p>Quem: Equipe do setor de manutenção.</p> <p>Onde: Realizada no local (in loco) ou, quando necessário, em ambientes externos em parceria com fornecedores da empresa.</p> <p>Como: É feito por meio de um cronograma elaborado pelo programador de manutenção, indicando em quais máquinas devem ocorrer reparos planejados.</p>
Política de Sobressalentes	<p>Plano de aquisição de componentes</p> <p>Atividade: Possuir um plano de aquisição de componentes para caso seja necessário</p>
Política de Investimentos	<p>Prioridade na redução do esforço da manutenção e segurança, se ainda viável</p>
Custos	<p>Determinante na definição de estratégias de manutenção</p>
Atendimento	<p>Prioridade baixa em atendimento emergencial</p>
Engenharia de Manutenção	<p>1. Análise de equipamentos com taxas de falhas elevadas com base em indicadores</p> <p>2. Implementação de melhorias nos processos relacionados às atividades do setor de manutenção.</p>

5 DISCUSSÕES

5.1 CRITÉRIOS DECISORES

No âmbito da pesquisa, os critérios decisores definidos nesta fase demonstraram uma robustez satisfatória para a avaliação da criticidade de cada equipamento, de acordo com a expectativa da empresa.

Tomando como base os critérios decisores propostos, especialmente com a inclusão dos indicadores cruciais do setor de manutenção da empresa em análise, observa-se que a matriz de criticidade proposta apresenta uma abordagem sistemática, com critérios que avaliam o equipamento em perspectivas mais abrangentes, em comparação com a matriz anteriormente desenvolvida pela empresa. Esse aprimoramento na estrutura de critérios proporciona um direcionamento para a tomada de decisões que visem a definição de quais estratégias de manutenção devem ser tomadas para cada equipamento do parque fabril.

Ao priorizar o critério de **Segurança do Trabalho e Meio Ambiente**, a empresa evidencia seu comprometimento com as políticas de segurança e sustentabilidade ambiental. Esta abordagem não apenas resguarda o bem-estar dos funcionários, mas também contribui para a preservação ambiental, alinhando-se a padrões éticos e legais.

Isso, por sua vez, pode resultar em um ambiente de trabalho mais seguro, uma reputação corporativa mais sólida e uma relação positiva com as partes interessadas. Portanto, a inclusão desse critério não apenas fortalece a avaliação em si, mas também contribui para a construção de uma empresa responsável e sustentável.

A definição do critério de **Impacto na Produção e Qualidade** teve como princípio assegurar a fluidez na linha de produção, eliminando quaisquer obstáculos que possam comprometer a fabricação do produto, ao mesmo tempo em que garante os padrões estabelecidos de qualidade.

Durante a fase de definição deste critério, as discussões com os participantes do estudo revelaram uma perspectiva relevante que merece destaque. A escolha de avaliar simultaneamente o impacto na produção e na qualidade do produto é fundamentada na convicção de que a mera entrega do produto ao cliente não é suficiente, a menos que seja acompanhada pela garantia da qualidade. Essa discussão enfatiza a compreensão da empresa sobre a interdependência entre eficiência na produção e a entrega de um produto que atenda aos requisitos de qualidade com plena satisfação.

Dessa forma, a empresa demonstra sustentar a busca contínua pela excelência operacional alinhada a satisfação do cliente, priorizando não apenas a eficiência, mas também a excelência do produto final.

O critério de **Utilização do Equipamento** baseia-se na perspectiva de analisar o quanto o equipamento será utilizado na produção, alinhado à projeção de produção para o ano seguinte. Isso tem um impacto direto na necessidade do setor de manutenção de garantir a disponibilidade desses equipamentos para a fabricação dos produtos.

Além disso, a relação entre o critério Utilização do Equipamento e a projeção de produção destaca como a empresa busca equilibrar eficiência e capacidade para atender às expectativas do mercado. A garantia da disponibilidade dos equipamentos, conforme delineado por este critério, adiciona uma dimensão estratégica à gestão de ativos e manutenção, não apenas respaldando a produção eficiente, mas também impactando diretamente na capacidade da empresa de cumprir prazos de entrega, o que consequentemente fortalece sua posição competitiva.

O critério de **Tempo Médio de Reparo da Falha** na avaliação da criticidade dos equipamentos pode ser considerado um indicador estratégico medido pelo setor de manutenção. Em caso de parada do equipamento, tal critério impacta diretamente a disponibilidade do equipamento e, consequentemente, o seu nível de utilização avaliado no critério anterior. A rapidez e eficácia na execução dos reparos não apenas reduzem o impacto negativo na produção, mas também demonstra a capacidade da empresa em responder às falhas de seus equipamentos, mantendo a consistência na fabricação e entrega de seus produtos a seus clientes.

O critério de **Custo Médio de Reparo da Falha** desconsiderado na avaliação de criticidade de equipamentos anterior, contribuiu para uma análise alinhada aos indicadores estratégicos acompanhados pela área de manutenção da empresa. Ao considerar os custos associados ao reparo da falha de um equipamento, é possível obter uma visão abrangente dos impactos financeiros que uma eventual quebra pode acarretar. Essa abordagem permite uma alocação mais eficiente dos recursos, direcionando investimentos para a manutenção de equipamentos. Vale destacar que a avaliação deste critério contribui para enfrentar o desafio financeiro já identificado no setor, visando atingir um índice reduzido de indisponibilidade de equipamentos, ao mesmo tempo em que se busca equilibrar os custos com manutenção.

O último critério avaliado, o critério de **Frequência de Falhas**, foi definido com o objetivo de concluir a análise de criticidade dos equipamentos com uma abordagem que possui uma inter-relação com a maioria dos critérios anteriormente avaliados. Tal critério, tende a

afetar negativamente a disponibilidade dos equipamentos para a produção dos produtos da empresa, especialmente os de alta criticidade no critério de Impacto na Produção e Qualidade.

Dessa forma, considera-se que a definição destes seis critérios na matriz de criticidade da empresa desempenha um papel crucial na ampliação da perspectiva de avaliação do equipamento. Ao adotar esses critérios, é possível realizar uma análise mais abrangente, considerando variáveis anteriormente subestimadas ou negligenciadas, e proporcionar uma melhor fundamentação para a tomada de decisões estratégicas relacionadas à gestão dos ativos.

5.2 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DECISORES

A avaliação dos critérios decisores busca assegurar a confiabilidade e legitimidade dos dados e análises, tanto qualitativos quanto quantitativos. Uma preocupação adicional era garantir uma avaliação clara e uniforme dos critérios, minimizando interpretações variadas e assegurando consistência ao longo do processo de avaliação de criticidade.

Assim, para os critérios que apresentam dados quantitativos a avaliação foi realizada com base nesses dados. Já para os critérios que não dispunham de dados quantitativos, foram propostas perguntas direcionadoras para a sua avaliação.

Todavia, com relação ao critério de Impacto na Produção e Qualidade, avaliado nesta pesquisa por meio de análise qualitativa, sugere-se a utilização e análise complementar da lista detalhada dos produtos fabricados por cada máquina. Isso permitirá identificar quais máquinas produzem produtos similares entre si e quais são responsáveis pela fabricação de produtos exclusivos, ou seja, aqueles que não podem ser produzidos por nenhuma outra máquina na empresa. Essa abordagem visa proporcionar uma visão aprofundada dos processos de produção, permitindo a identificação dos equipamentos responsáveis pela fabricação dos produtos de maior relevância do ponto de vista de volume de demanda e/ou valor agregado. Dessa forma, complementando a análise qualitativa de tal critério junto aos especialistas de processo.

Os critérios que são avaliados considerando duas perspectivas distintas, mas que são inter-relacionadas dentro de um único critério, como o caso de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente, Impacto na Produção e Qualidade e Tempo de Reparo da Falha, propõem-se adotar o nível de criticidade mais alto identificado. A título de exemplo, tem-se o exemplo do equipamento em que em situação de falha, o impacto que ele causa para a segurança do trabalho é alto, mas do ponto de vista de meio ambiente, não possui qualquer risco. Neste cenário, a criticidade deste equipamento no critério de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente será alto,

e na etapa de definição da estratégia de manutenção haverá a diferenciação na forma com que o setor de manutenção irá atuar neste equipamento.

A utilização de uma quantidade significativa de dados quantitativos para essas classificações, tais como as relacionadas aos critérios de segurança do trabalho, utilização do equipamento, o tempo médio de reparo de falhas, custo e frequência de falhas, demonstrou a viabilidade de uma avaliação embasada e com maior objetividade do processo de análise da criticidade dos equipamentos da empresa.

5.3 FLUXOGRAMA ORIENTADO A DECISÃO DE CRITICIDADE

O fluxograma orientado à decisão de criticidade apresentada na Figura 21 mostra grande similaridade com o fluxograma recomendado pelo JIPM, sendo nele baseado. Por meio dele, é possível visualizar a interação entre os critérios decisores. Durante as entrevistas com a equipe do setor de manutenção, foi identificado que a falta de compreensão sobre a influência dos critérios de avaliação no resultado final da criticidade representava tanto um desafio quanto uma oportunidade de melhoria. Em resposta a isso, o fluxograma desenvolvido oferece uma visão clara e estruturada da matriz de criticidade proposta.

Conforme mencionado anteriormente, embora compartilhe significativa semelhança com o fluxograma recomendado pelo JIPM, nesta pesquisa fez-se adaptações na estrutura de relações entre os critérios. As adaptações se concentraram na inclusão de relações entre os critérios referentes aos indicadores acompanhados pelo setor, sendo o Tempo Médio de Reparo da Falha, Custo Médio da Falha e Frequência de Falhas na qual, no referencial teórico, é sugerido que em caso da avaliação de algum desses indicadores ser de baixa criticidade, o resultado final do equipamento já condiciona para criticidade C (baixa criticidade), não necessitando avaliá-lo nos critérios subsequentes.

No entanto, com base nos conhecimentos tácitos dos especialistas envolvidos e nas particularidades do contexto estratégico da empresa, observou-se que essa relação não se reflete de forma direta. Pelo contrário, é essencial uma análise precisa e minuciosa de cada relação entre esses indicadores. Diferentemente da abordagem teórica, onde a baixa criticidade de um indicador automaticamente leva à baixa criticidade global do equipamento, aqui considera-se a necessidade de uma avaliação mais detalhada e contextualizada com base nas especificidades de cada caso.

5.4 RESULTADO DA APLICAÇÃO DA MATRIZ DE CRITICIDADE

Após a efetiva avaliação dos equipamentos selecionados, obteve-se o resultado final da criticidade de cada equipamento, seguido de uma análise da distribuição dos níveis de criticidade para as extrusoras e injetoras.

A distribuição quantitativa dos resultados da avaliação das extrusoras, exposta na Tabela 8, revelou um padrão que se alinha com a tendência identificada por Teles (2019) quando na primeira versão de uma matriz de criticidade, tem-se uma quantidade significativa, além do sugerido, de equipamentos classificada como de alta criticidade (criticidade A), enquanto poucos equipamentos são designados como de criticidade intermediária (criticidade B). Em relação aos equipamentos do tipo C, embora apresentem um percentual elevado, 47,62%, esse resultado já é previsto pelo referencial teórico.

Nesta pesquisa, este comportamento pode ser explicado pelas características particulares da área de extrusão, como a menor quantidade de equipamentos disponíveis para a produção e a baixa flexibilidade do processo de fabricação. Como resultado, cada equipamento exerce um impacto considerável sobre o resultado geral, obtendo uma distribuição que se inclina para os níveis extremos de criticidade, alta ou baixa criticidade. Ainda que o resultado no nível de criticidade B tenha sido inferior ao esperado, entre 30% e 40%, obteve-se um resultado satisfatório para o nível de criticidade C de 47,62%, mantendo-os dentro do intervalo recomendado por Teles (2019).

Já ao analisarmos o resultado obtido para a distribuição de níveis de criticidade entre as injetoras da empresa, pode-se observar um resultado amplamente satisfatório. Os níveis de criticidade A e B, alcançaram resultados em conformidade com o indicado por Teles (2019), sendo recomendado um percentual de no máximo 20% para os equipamentos A, e 30% e 40% para os equipamentos B.

Ao relacionar as características do processo e dos equipamentos, nota-se que a maior quantidade de equipamentos disponíveis e a flexibilidade do processo, foram fatores de impacto para a obtenção de uma distribuição mais satisfatória entre os níveis de criticidade, cenário inverso ao observado na área de extrusão. O resultado obtido para o nível de criticidade C das injetoras se mostrou parcialmente satisfatório, uma vez que a diferença entre o percentual alcançado em comparação ao sugerido por Teles (2019) foi de somente 2,17%.

Ao analisar o resultado total da distribuição de criticidade dos equipamentos considerados no estudo conforme Tabela 10, nota-se que a distribuição obtida de cada nível crítico se mostrou amplamente satisfatória. Embora tenha havido um ligeiro desvio em relação

ao referencial teórico no nível de criticidade C, com um aumento de 1,47% em relação ao sugerido. Isso indica uma alocação adequada de criticidade dos equipamentos totais, com no máximo 20% classificados como criticidade A, entre 30% e 40% como criticidade B, e parcialmente entre 40% e 50% como criticidade C.

5.5 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Após a aplicação da matriz de criticidade proposta e análise dos resultados provenientes da avaliação dos equipamentos selecionados, a pesquisa seguiu para o objetivo final: orientar a definição das estratégias de manutenção com base na criticidade de seus equipamentos.

Ao analisar as estratégias de manutenção propostas para os equipamentos de criticidade A, cuja necessidade é garantir a máxima confiabilidade destes equipamentos, tem-se uma necessidade maior de alocação de recursos em comparação às demais criticidades.

Nesse sentido, é proposta a adoção integral dos tipos de manutenção, alocando recursos desde a Manutenção Corretiva Planejada, considerada mais “básica”, até a implementação de alta tecnologia para Manutenção Preditiva Total, com utilização de softwares avançados que permitam à empresa um monitoramento em tempo real dos parâmetros de seus equipamentos.

No que diz respeito às políticas de estoque de peças sobressalentes, para os equipamentos de criticidade A, propõe-se a garantia de que as peças críticas para seu funcionamento estarão disponíveis quando demandadas, eliminando a possibilidade de longas paradas devido à falta de peças para substituição em caso de falhas.

Quanto à política de investimentos, propõe-se alta prioridade para os equipamentos de criticidade A, com o fim de buscar aumento da confiabilidade, consequentemente permitindo gastos mais significativos com os equipamentos pertencentes a esta criticidade. Esta abordagem considera que maiores esforços da manutenção e tecnologias mais avançadas podem ser aplicadas, justificando gastos mais expressivos nessa categoria de criticidade.

Com prioridade máxima em casos de atendimento emergenciais de manutenção, manutenção corretiva não planejada, para os equipamentos de criticidade A também é proposta uma forte atuação da Engenharia de Manutenção. Para esses equipamentos, propõe-se monitoramento constante do seu desempenho e qualquer falha deve ser investigada minuciosamente, a fim de garantir a sua disponibilidade.

Ao observarmos as estratégias de manutenção propostas para os equipamentos de criticidade B, cujo foco da manutenção é o balanço entre disponibilidade e custos, propõem-se uma alocação de recursos mais enxuta em comparação à criticidade A.

Para tais equipamentos, é proposta a adoção parcial da Manutenção Preditiva, sem utilização, por exemplo, de tecnologias mais avançadas para monitoramento remoto, o que implicaria em maiores custos envolvidos. Neste caso, a Manutenção Preditiva ocorre somente de forma instrumentada, como exemplo da medição do desgaste do fuso e cilindro desses equipamentos e demais estratégias indicadas na Figura 17.

No que diz respeito às políticas de estoque de peças sobressalentes, para os equipamentos de criticidade B, a disponibilidade de peças críticas ocorrerá mediante programação, podendo ter estoque por família de equipamento a depender do componente e *lead time*. Ou seja, para que a disponibilidade se balanceie com o custo, neste caso propõe-se um alto rigor de planejamento de estoque de peças, com o objetivo de minimizar longas paradas.

Para estes equipamentos, a política de investimento tem como prioridade os equipamentos B que tiverem maior taxa de falha. Dessa forma, é possível equilibrar a disponibilidade operacional com um menor custo.

Com prioridade média em casos de atendimentos emergenciais de manutenção, manutenção corretiva não planejada, aos equipamentos de criticidade B é proposta uma atuação reduzida da Engenharia de Manutenção. Para esses equipamentos, sugere-se que a análise estratégica de desempenho seja conduzida periodicamente, não diariamente. Nestes casos, a equipe de Engenharia de Manutenção terá atenção maior em acompanhar e evidenciar equipamentos que estiverem tendo baixo desempenho operacional de forma recorrente e atuar em melhorias direcionadas a eles.

Por fim, tem-se as estratégias de manutenção definidas para os equipamentos de criticidade C, cujo objetivo do setor de manutenção se concentra em minimizar a demanda de recursos destinados a esses equipamentos.

Diante desse objetivo, para tais equipamentos é proposta a adoção de tipos de manutenção que demandam menor investimento financeiro e de recursos humanos. Nesse sentido, propõe-se a adoção de uma abordagem de manutenção preditiva centrada em inspeções sensitivas, as quais podem ser conduzidas pelos próprios operadores responsáveis pelo equipamento. Além disso, para tais equipamentos, a manutenção preventiva, que tradicionalmente envolve a substituição periódica de peças críticas, é eliminada em favor de uma abordagem em que a substituição de peças ocorre apenas mediante manutenção corretiva planejada. Com essa proposta, busca-se direcionar recursos somente em casos pontuais de evidências de possíveis falhas.

No que diz respeito às políticas de estoque de peças sobressalentes, para os equipamentos de criticidade C é sugerido que o setor de manutenção possua um plano de

aquisição destas peças, mas não necessariamente já possui fornecedores contratados, ou peças em estoque. Esta ação busca assegurar à empresa um planejamento prévio para reposição em casos de necessidade específica, mas que não afetem os custos relacionados à contratação ou armazenamento, direcionando seus recursos para áreas mais críticas da manutenção.

Para estes equipamentos, a política de investimento tem como prioridade atuar em equipamentos que estejam demandando consideráveis esforços de manutenção ou que representem riscos à segurança da empresa. Nesse sentido, é crucial avaliar se o investimento proposto realmente justifica-se em termos de eficiência operacional e mitigação de riscos.

Com prioridade baixa em casos de atendimentos emergenciais de manutenção, para os equipamentos de criticidade C é proposta uma atuação pontual da Engenharia de Manutenção. Para esses equipamentos, não ocorrerá demandas periódicas para análises estratégicas de desempenho, mas sim terá foco somente em equipamentos C que apresentarem altas taxas de falhas. Essa estratégia visa concentrar os recursos da equipe de Engenharia de Manutenção onde são mais necessários, otimizando a eficiência operacional e minimizando o risco de paradas não planejadas.

Com a adoção dessas estratégias de manutenção, busca-se otimizar a gestão dos ativos da empresa, maximizando a confiabilidade dos equipamentos de criticidade A, garantindo um equilíbrio entre disponibilidade e custos para os equipamentos de criticidade B, e minimizando a demanda de recursos destinados aos equipamentos de criticidade C.

6 CONCLUSÃO

A gestão eficaz dos ativos em uma empresa é crucial para garantir sua competitividade e sustentabilidade a longo prazo. Nesse sentido, o presente estudo buscou fornecer uma análise da criticidade dos principais ativos da empresa, extrusoras e injetoras, com o objetivo de direcionar as decisões estratégicas relacionadas à manutenção. Visando atender ao objetivo geral e aos objetivos específicos propostos, foram adotadas diversas etapas metodológicas para a condução da pesquisa. Inicialmente, desenvolveu-se um referencial teórico, fundamentado em conceitos da manutenção industrial, bem como sua importância estratégica, e a criticidade de ativos e seu papel na gestão da manutenção. Além disso, a compreensão dos principais indicadores no contexto do setor de manutenção, como Tempo Médio de Reparo da Falha, Custo Médio de Reparo da Falha e Frequência de Falhas, desempenhou um papel fundamental no embasamento teórico do estudo. Esses conceitos não apenas constituíram os pilares sobre os quais o estudo foi construído, mas também forneceram a orientação necessária para a definição dos critérios decisores para a avaliação da criticidade dos equipamentos. Desse modo, os critérios decisores definidos foram a Segurança do Trabalho e Meio Ambiente, Impacto na Produção e Qualidade, Utilização do Equipamento, Tempo Médio de Reparo da Falha, Custo Médio de Reparo da Falha e Frequência de Falhas.

A metodologia de pesquisa adotada, que se baseou na pesquisa-ação, proporcionou uma abordagem participativa e interativa, permitindo a coleta de dados relevantes e a realização de análises detalhadas da situação atual da empresa. Isso incluiu uma avaliação dos objetivos e indicadores estratégicos do setor de manutenção e sua integração na avaliação de criticidade e demais análises de desempenho dos equipamentos. Por meio de entrevistas e discussões com especialistas e análises qualitativas e quantitativas, foi possível desenvolver e implementar um método de análise de criticidade dos ativos da empresa.

O primeiro objetivo específico, relacionado à descrição dos objetivos estratégicos específicos do setor de manutenção, foi cumprido mediante uma análise das necessidades e metas do setor. Essa compreensão proporcionou uma base para o desenvolvimento da matriz de criticidade, garantindo que os critérios definidos estivessem alinhados com as estratégias de manutenção da empresa, que os indicadores acompanhados na rotina do setor estivessem devidamente contemplados e que as estratégias propostas fossem compatíveis com a estrutura organizacional e recursos humanos disponíveis para a execução das ações.

O segundo objetivo específico foi alcançado ao definir critérios decisores de criticidade de ativos para o processo produtivo da empresa. Mediante um processo de avaliação, foram

identificados e definidos os critérios chave que permitiram uma avaliação da criticidade dos equipamentos. Isso possibilitou uma abordagem estruturada na posterior definição de estratégias de manutenção, de forma que recursos sejam direcionados para os equipamentos mais críticos.

O terceiro objetivo específico, relacionado à definição do método para tomada de decisão da criticidade dos ativos da empresa, foi cumprido ao desenvolver um fluxograma orientado à decisão de criticidade. Adaptado a partir do modelo recomendado pelo JIPM e ajustado às necessidades específicas da empresa estudada, esse fluxograma permitiu uma visualização clara das interações entre os critérios decisórios, facilitando a compreensão do método de análise da criticidade dos ativos.

Por fim, o quarto objetivo específico foi atingido com a proposição das estratégias de manutenção específica para cada nível de criticidade, para serem posteriormente implementadas em cada um dos equipamentos considerados. Ao implementar as estratégias de manutenção propostas, é possível desenvolver um plano de manutenção direcionado às necessidades individuais das injetoras e extrusoras.

Os critérios decisores, fluxograma e estratégias de manutenção propostos para cada nível de criticidade, foram avaliados informalmente por lideranças e especialistas da empresa, que se mostraram satisfeitos com os resultados apresentados.

Portanto, conclui-se que o objetivo do presente estudo foi cumprido e proporcionou resultados positivos e significativos. A análise de criticidade de ativos desenvolvida se mostrou bem estruturada. Ela é composta por critérios decisores fundamentados segundo o referencial teórico e *benchmarks* realizados, os quais levam em consideração variáveis que anteriormente poderiam ter sido subestimadas ou negligenciadas. Além disso, ela proporciona uma forma clara e uniforme de avaliar todos esses critérios. Um fluxograma direcionado para a decisão de criticidade também foi elaborado, o qual integra de maneira sistemática todos os critérios estabelecidos.

As estratégias de manutenção, alinhadas com a criticidade dos equipamentos proporcionam benefícios cruciais para a empresa. Ao priorizar a manutenção e alocação de recursos conforme a criticidade dos equipamentos, essas estratégias buscam garantir que os recursos sejam direcionados de forma eficiente, maximizando a disponibilidade dos equipamentos críticos. Isso não apenas reduz o risco de paradas inesperadas e custos de manutenção corretiva não planejada, mas também aumenta a disponibilidade operacional, garantindo um ambiente de produção mais estável e previsível. Além disso, essas estratégias

podem ajudar a empresa a antecipar e mitigar potenciais falhas, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a confiabilidade dos processos produtivos.

Como resultado, a empresa pode manter um alto padrão de qualidade, atender às demandas do mercado de forma consistente e fortalecer sua reputação como um fornecedor confiável e de alto desempenho. Em suma, os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho e com a implementação das estratégias podem representar um marco significativo na busca pela excelência operacional e fortalecimento da competitividade da empresa.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a elaboração deste trabalho, foram identificadas oportunidades para trabalhos futuros relacionados à gestão de ativos e manutenção. A primeira delas é em relação à oportunidade de desenvolver uma metodologia para calcular a criticidade de componentes específicos. Isso permitiria uma avaliação mais precisa do impacto de cada componente no desempenho geral dos equipamentos, possibilitando uma alocação mais eficiente dos recursos de manutenção.

Outra sugestão relevante seria aprofundar a estratégia de manutenção que relacione a criticidade com o tipo de equipamento e monitorar sua eficácia por ciclos completos. Esse acompanhamento detalhado permitiria compreender se tais estratégias estão agregando valor ao negócio ao longo do tempo e identificar possíveis ajustes e oportunidades de melhorias necessárias nos critérios de avaliação, fluxograma e estratégias de manutenção, com o objetivo de otimizar os resultados.

REFERÊNCIAS

ABEYKOON, Chamil et al. **A review and evaluation of melt temperature sensors for polymer extrusion**. Sensors and actuators A: Physical, v. 182, p. 16-27, 2012.

AHUJA, I.P.S. and Khamba, J.S. **Total productive maintenance; literature review and directions**. International Journal of Quality and Reliability Management, Vol. 25 No. 7, pp. 709-756. 2008.

AL-TURKI, Umar M. et al. **Integrated maintenance planning**. Springer International Publishing, 2014.

ALMEIDA, Paulo Sameul de. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. São Paulo: Érica, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462. Confiabilidade e manutenibilidade – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AVEN, TERJE. **Identification of safety and security critical systems and activities**. Reliability Engineering & System Safety, v. 94, n. 2, p. 404-411, feb. 2009.

BARAN, Leandro Roberto; TROJAN, Flávio; KOVALESKI, João Luiz; PIECHINICKI, Stefano. **Métodos e Ferramentas aplicados na Análise de Criticidade em Sistemas Industriais**. Ponta-Grossa. III Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Associação Paranaense de Engenharia de Produção (APREPRO). Dezembro de 2013.

BENGSTSSON, M. **Classification of machine equipment**. International Conference on Maintenance Performance Measurement & Management, Luleå. 2011.

BORMIO, M. R. **Manutenção produtiva total (TPM)**. Artigo científico. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/tpm.pdf>. 2000.

Brasil.(1981).Lei no 10.165 de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a **Política Nacional do Meio Ambiente**, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=323>

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 13306:2017**: BSI Standards Publication. Bsi Standards Limited, 2017. 93 p.

BRITO, M. **Manual Pedagógico PRONACI Manutenção**. Leça da Palmeira: Eurisko - Estudos, Projectos e Consultadoria, S.A. 2003.

CABRAL, J. P. Em J. P. Cabral. **Organização e Gestão da Manutenção** (p. 246). Lisboa - Porto: Lidel. 2006.

DAVIS, M. and Heineke, J. **Operations Management: Integrating Manufacturing and Services**. 5th ed., McGraw-Hill Irwin, New York, NY. 2005.

DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1^a. ed. New York: CRC Press, 2006.

FABRO, Elton. **Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processos**. Florianópolis, 2003.

FACCIO, M.; PERSONA, A.; SGARBOSSA, F.; ZANIN, G. **Industrial maintenance policy development: A quantitative framework**. International Journal of Production Economics, Munique, v. 147, parte A, p. 85-93, jan. 2014.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, v. 264. 2008.

GOPALAKRISHNAN, Maheshwaran et al. **Machine criticality assessment for productivity improvement: Smart maintenance decision support**. International Journal of Productivity and Performance Management, v. 68, n. 5, p. 858-878, 2019.

GUMMESSON, E. **Qualitative methods in management research**, 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2000.

HABIDIN, N., S. Hashim, N. Fuzi, and M. Salleh. **Total Productive Maintenance. Kaizen Event, and Performance.** International Journal of Quality & Reliability Management 35 (9): 1853–1867. doi:10.1108/IJQRM-11-2017-0234. 2018.

HELMANN, Kurtt Schamne et al. **Uma sistemática para determinação da criticidade de equipamentos em processos industriais baseada na abordagem multicritério**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2008.

HIJES, FÉLIX C. G. L.; CARTAGENA, JOSÉ J. R. **Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments**. Reliability Engineering & System Safety, v. 91, n. 4, p. 444–451, apr. 2006

HOOI, L., and T. Leong. **Total Productive Maintenance and Manufacturing Performance Improvement**. Journal of Quality in Maintenance Engineering 23 (1): 2–21. doi:10.1108/JQME-07-2015- 0033. 2017.

I. 55000, **Asset management – Overview, principles and terminology**, 2014.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION'S. **IEC 60812: Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)**. Switzerland, 2006.

JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). **600 Forms Manual**. Japan, 1995

JOHANNABER, F. **Injection molding machines: A user's guide**. Munique: Hanser, 2008.

KARCHOUD, Riadh et al. **All for One and One For All: Dynamic Injection of Situations in a Generic Context-Aware Application**. Procedia Computer Science, [S. l.], v. 113, p. 17-24, 2017

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 5. rev. e ampl. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark : Petrobras, 2019. 560 p. ISBN 978-85-4140-362-7.

KERMANI, Mohammad Moghaddaszadeh. **Criticality Based Strategic Decision Making Model For Maintenance and Asset Management**. Tese de Doutorado. The University of Manchester (United Kingdom). 2016.

LIKER, J.K. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. McGraw-Hill, New York, NY. 2004.

MÁRQUEZ, A.C., LEÓN, P., FERNÁNDEZ, J.F., MÁRQUEZ, C.P. and Campos, M.L. **The maintenance management framework: a practical view to maintenance management**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 15 No. 2, pp. 167-178. 2009.

MARTINS, Ana Patrícia Riberio de Almeida Pires. **A Influência da Manutenção Industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)**. Dissertação (Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial) — Universidade Nova de Lisboa, 2012.

MOBLEY, Keith; HIGGINS, Lindley; SMITH, Ricky. **Maintenance engineering handbook**, 6 ed. New York: McGrawHill, 2002.

MADU, C.N. **Competing through maintenance strategies**. International Journal of Quality & Reliability Management. v.17, n.9, p.937-948, 2000.

MATTAR, Fauze Najib et al. **Redação de documentos acadêmicos: conteúdo e forma**. Caderno de Pesquisas em Administração, p. 1-30, 1996.

MATSCHULAT, Laís Marangoni et al. **Desenvolvimento de um modelo de referência para priorização e monitoramento de parâmetros do processo de moldagem por injeção de polímero utilizando internet industrial**. 2020.

MILITARY STANDARD. MIL-1629. **Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. US DEPARTMENT DEFENSE. Washington, DC, 1980

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-12 Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Portaria MTP n.º 4.219, de 20 de dezembro de 2022.

MONCHY, François. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.

MOSS, T. R. & WOODHOUSE, J. **Criticality analysis revisited**. Quality and Reliability Engineering International, v. 15, n. 2, p. 117-121, mar. 1999.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997

NASCIMENTO, F. P. **Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos**. 2019.

NBR 5462: 1994. **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

NUNES, E. L.; VALLADARES, A. **Gestão da Manutenção com Estratégia na Instalação de unidades Geradoras de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://docplay.com.br/7805434-Gestao-da-manutencao-e-do-conhecimento-como-estrategia-na-instalacao-de-unidadesgeradoras-de-energia-eletrica.html>

OLIVEIRA, M. R. D.; LIMA, C. R. C. **Integração da Manutenção na produção: Uma estratégia competitiva ou utopia**: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba, 2002. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2002_TR17_0369.pdf.

PASSARELLA, M. **Benchmarking Production System**. 2007.

PINTO, Alan Kardec; RIBEIRO, Haroldo. **Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma**. Rio de Janeiro. ABRAMAN. 2002

PIRES, S. R. I. & CARPINETTI, L. C. **Estratégia de negócios. Produtos & Serviços**, São Paulo: USP/EESC/NUMA, edição especial, n.312, p.43-54, dez.2000

PODUVAL, P., V. Pramod, and V. P. Jagathy Raj. **Interpretive Structural Modeling (ISM) and Its Application in Analyzing Factors Inhibiting Implementation of Total Productive Maintenance (TPM)**. International Journal of Quality & Reliability Management 32 (3): 308–331. doi:10.1108/IJQRM-06-2013-0090. 2015.

RAYTNAYAKE, R.M.C. and Antosz, K. **Risk-based maintenance assessment in the manufacturing industry: minimisation of suboptimal prioritization**. Management and Production Engineering Review, Vol. 8 No. 1, pp. 38-45. 2017.

RIBEIRO, Haroldo. **Desmistificando o TPM**. PDCA Editora, 1ª edição, São Caetano do Sul, 2010.

RODOLFO JR., Antonio; NUNES, Luciano R.; ORMANJI, Wagner. **Tecnologia do PVC** 2ª edição | Revista e ampliada. 2006 Braskem.

SEKINE, K. and Arai, K; **TPM for Lean Factory: Innovative Methods and Worksheets for Equipment Management**, Productivity Press, Portland. 1998

SILVEIRA, C.B. **Indicadores de performance da manutenção industrial**. Citisystems, 2018.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance**. 2ª. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, v. 1, 2004

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. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. 2008.

TAVARES, L. A. **Administración moderna de mantenimiento:** en español. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Novo Pólo Publicações, 1999.

TELES, J. **Guia Prático para implantação de indicadores de manutenção.** Brasília: Engeteles Editora, 2019

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação.** 15. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

TOAZZA, Guilherme Francez; SELKITTO, Miguel Afonso. **Estratégia de manutenção preditiva no departamento gráfico de uma empresa do ramo fumageiro.** Revista Produção Online, v. 15, n. 3, p. 783-806, 2015.

THUN, J. **Supporting Total Productive Maintenance by Mobile Devices.** Production Planning & Control 19 (4): 430–434. doi:10.1080/09537280802034588. 2008.

TUBINO, D. F. **Sistemas de produção: A produtividade no chão de fábrica.** Porto Alegre: Bookman, 1999.

VELMURUGAN, R. S.; DHINGRA, T. **Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework.** International Journal of Operations & Production Management, v. 35, n. 12, p. 1622–1661, 2015.

VIANA, Herbert R. G. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro - RJ: Qualitymark Editora, 2014.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva.** 2. ed. São Paulo: Editora Falconi, 2014

YUSUFF, R. **Manufacturing best practices of the electric and electronic firms in Malaysia.** Benchmarking: An International Journal, Vol. 11 No. 4, pp. 361-369. 2004.

WILCZYNSKI, K., Z. Szymaniak, and A. Nastaj. **Development of Morphology in Single-Screw Extrusion of Polyblends.** in The Annual Meeting of the Polymer Processing Society, PPS-18, 2003.

APÊNDICE A

MATRIZ DE CRITICIDADE DAS EXTRUSORAS

Equipamento	Critérios Decisores						Criticidade
	STMA	IPQ	U	T	C	FF	
Extrusora 1	2	1	1	2	3	2	A
Extrusora 2	2	2	2	1	2	2	C
Extrusora 3	2	2	2	1	2	2	C
Extrusora 4	2	2	2	1	3	3	C
Extrusora 5	2	2	2	2	2	3	C
Extrusora 6	2	2	2	3	2	2	C
Extrusora 7	2	2	1	2	1	1	A
Extrusora 8	2	2	1	2	1	1	A
Extrusora 9	2	2	3	3	3	3	C
Extrusora 10	2	1	1	2	2	1	A
Extrusora 11	2	1	2	2	2	1	A
Extrusora 12	2	1	1	3	2	1	A
Extrusora 13	2	2	3	1	2	3	C
Extrusora 14	2	2	2	3	2	2	C
Extrusora 15	2	2	3	1	2	2	C
Extrusora 16	2	2	1	3	3	2	B
Extrusora 17	2	1	1	2	3	2	A
Extrusora 18	2	2	3	2	2	2	C
Extrusora 19	2	2	1	2	1	3	B
Extrusora 20	2	2	3	2	1	2	B
Extrusora 21	2	2	2	2	1	2	B

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

APÊNDICE B

MATRIZ DE CRITICIDADE DAS EXTRUSORAS (continua)

Equipamento	Critérios Decisores						Criticidade
	STMA	IPQ	U	T	C	FF	
Injetora 1	2	2	1	1	3	3	A
Injetora 2	2	2	3	2	3	2	C
Injetora 3	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 4	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 5	2	2	1	1	3	3	A
Injetora 6	2	2	3	2	2	2	C
Injetora 7	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 8	2	2	2	1	2	2	C
Injetora 9	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 10	2	2	2	2	3	3	C
Injetora 11	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 12	2	2	1	2	2	2	B
Injetora 13	2	2	1	3	3	2	B
Injetora 14	2	2	2	3	2	2	C
Injetora 15	2	2	3	3	3	3	C
Injetora 16	2	2	1	2	1	2	B
Injetora 17	2	2	1	2	2	2	B
Injetora 18	2	2	2	1	3	3	C
Injetora 19	2	2	1	2	2	1	B
Injetora 20	2	2	2	2	3	2	C
Injetora 21	2	2	3	2	2	2	C
Injetora 22	2	2	1	2	2	3	B
Injetora 23	2	2	3	2	2	3	C
Injetora 24	2	2	1	2	2	2	B
Injetora 25	2	2	2	1	2	2	C
Injetora 26	2	2	2	3	2	3	C
Injetora 27	2	2	2	1	3	3	C
Injetora 28	2	2	3	2	3	3	C
Injetora 29	2	2	2	3	2	3	C
Injetora 30	2	2	1	2	3	2	B
Injetora 31	2	2	2	2	1	1	B
Injetora 32	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 33	2	2	2	1	2	3	C
Injetora 34	2	2	2	1	2	2	C
Injetora 35	2	2	2	2	2	3	C
Injetora 36	2	2	3	1	3	3	C
Injetora 37	2	2	1	2	2	2	B
Injetora 38	2	2	2	1	2	2	C

MATRIZ DE CRITICIDADE DAS EXTRUSORAS (continuação)

Equipamento	Critérios Decisores						Criticidade
	STMA	IPQ	U	T	C	FF	
Injetora 39	2	2	2	1	2	2	C
Injetora 40	2	2	1	2	1	3	B
Injetora 41	2	2	3	3	2	2	C
Injetora 42	2	2	3	2	2	3	C
Injetora 43	2	2	2	1	2	2	C
Injetora 44	2	2	3	1	1	2	B
Injetora 45	2	2	3	2	1	2	B
Injetora 46	2	2	3	1	3	3	C
Injetora 47	2	2	1	2	1	2	B
Injetora 48	2	2	2	3	1	2	C
Injetora 49	2	2	1	1	2	1	A
Injetora 50	2	2	2	2	1	1	B
Injetora 51	2	2	1	1	1	1	A
Injetora 52	2	2	2	2	2	1	B
Injetora 53	2	2	1	2	2	2	B
Injetora 54	2	2	2	2	3	3	C
Injetora 55	2	2	2	2	2	1	B
Injetora 56	2	2	1	1	1	2	A
Injetora 57	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 58	2	2	2	3	2	2	C
Injetora 59	2	2	3	2	1	2	B
Injetora 60	2	2	1	3	1	1	A
Injetora 61	2	2	3	1	3	3	C
Injetora 62	2	2	3	3	2	3	C
Injetora 63	2	2	1	2	2	2	B
Injetora 64	2	2	3	3	2	2	C
Injetora 65	2	2	1	3	2	1	B
Injetora 66	2	2	2	1	2	2	C
Injetora 67	2	2	3	3	1	1	B
Injetora 68	2	2	1	3	3	1	B
Injetora 69	2	2	2	2	2	1	B
Injetora 70	2	2	3	1	2	1	B
Injetora 71	2	2	2	2	1	2	B
Injetora 72	2	2	2	3	2	2	C
Injetora 73	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 74	2	2	2	2	1	1	B
Injetora 75	2	2	1	2	2	1	B
Injetora 76	2	2	1	1	1	1	A
Injetora 77	2	2	1	2	1	2	B
Injetora 78	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 79	2	2	2	3	1	2	C

MATRIZ DE CRITICIDADE DAS EXTRUSORAS (conclusão)

Equipamento	Critérios Decisores						Criticidade
	STMA	IPQ	U	T	C	FF	
Injetora 79	2	2	2	3	1	2	C
Injetora 80	2	2	3	2	3	2	C
Injetora 81	2	2	1	2	1	1	A
Injetora 82	2	2	1	1	3	2	A
Injetora 83	2	2	1	3	1	2	B
Injetora 84	2	2	1	1	1	1	A
Injetora 85	2	2	3	3	1	2	C
Injetora 86	2	2	3	2	2	1	B
Injetora 87	2	2	2	1	1	1	B
Injetora 88	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 89	2	2	1	1	2	1	A
Injetora 90	2	2	2	3	1	1	B
Injetora 91	2	2	2	2	2	1	B
Injetora 92	2	2	2	2	3	1	B
Injetora 93	2	2	2	3	3	2	C
Injetora 94	2	2	3	1	2	2	C
Injetora 95	2	2	2	2	3	2	C
Injetora 96	2	2	2	3	2	1	B
Injetora 97	2	2	3	1	1	1	B
Injetora 98	2	2	1	3	2	2	B
Injetora 99	2	2	2	2	1	1	B
Injetora 100	2	2	2	1	2	3	C
Injetora 101	2	2	2	1	1	3	B
Injetora 102	2	2	3	1	2	2	C
Injetora 103	2	2	2	1	1	2	B
Injetora 104	2	2	1	3	2	2	B
Injetora 105	2	2	2	2	2	3	C
Injetora 106	2	2	2	2	3	2	C
Injetora 107	2	2	3	2	1	1	B
Injetora 108	2	2	3	1	2	2	C
Injetora 109	2	2	2	2	3	3	C
Injetora 110	2	2	2	3	3	3	C
Injetora 111	2	2	2	3	3	3	C
Injetora 112	2	2	1	1	3	1	A
Injetora 113	2	2	3	2	3	2	C
Injetora 114	2	2	2	2	2	2	C
Injetora 115	2	2	3	2	3	3	C

Fonte: Elaborado pela autora (2024)