



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

ADEILTON AVELINO ROCHA ALVES JUNIOR

**ESTUDO DA REDUÇÃO DE SUPERAQUECIMENTO DE MANCAIS DE
ROLAMENTOS UTILIZANDO O MÉTODO MASP EM UM PROCESSO DE
LAMINAÇÃO A QUENTE EM UMA SIDERÚRGICA**

Recife

2024

ADEILTON AVELINO ROCHA ALVES JUNIOR

**ESTUDO DA REDUÇÃO DE SUPERAQUECIMENTO DE MANCAIS DE
ROLAMENTOS UTILIZANDO O MÉTODO MASP EM UM PROCESSO DE
LAMINAÇÃO A QUENTE EM UMA SIDERÚRGICA**

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

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Marcele Elisa Fontana.

Recife
2024

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

Alves Junior, Adeilton Avelino Rocha.

Estudo da redução de superaquecimento de mancais de rolamentos utilizando o método MASP em um processo de laminação a quente em uma siderúrgica / Adeilton Avelino Rocha Alves Junior. - Recife, 2024.

72 p. : il., tab.

Orientador(a): Marcele Elisa Fontana

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

Inclui referências, apêndices.

1. MASP. 2. Ferramentas da qualidade. 3. Mancais de rolamentos. 4. Siderurgia. 5. Laminação a quente. I. Fontana, Marcele Elisa. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

ADEILTON AVELINO ROCHA ALVES JUNIOR

**ESTUDO DA REDUÇÃO DE SUPERAQUECIMENTO DE MANCAIS DE
ROLAMENTOS UTILIZANDO O MÉTODO MASP EM UM PROCESSO DE
LAMINAÇÃO A QUENTE EM UMA SIDERÚRGICA**

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

Aprovado em: 18/12/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Marcele Elisa Fontana (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

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

Prof^a. M.e. Gabriela Eloanne Vidal Leite (Avaliadora Externa)
União Cearense das Associações de Ensino Superior (UNICE)

Dedico este trabalho a todos que fizeram parte da minha jornada acadêmica e que, de alguma forma, contribuíram positivamente para ela. À minha família, que sempre me apoiou e não mediu esforços para ajudar na realização do meu sonho. À minha namorada Alícia, por seu apoio incondicional, companheirismo e por sempre acreditar em mim. Este trabalho reflete, acima de tudo, minha gratidão por tudo o que aprendi com cada um de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me dar forças, paciência, amparo e determinação ao longo de toda minha trajetória acadêmica e por todas as oportunidades e conquistas que Ele me proporcionou.

Aos meus pais, Adeilton e Aureleide, que realizaram sacrifícios e esforços para que eu pudesse chegar onde cheguei e por sempre me mostrarem o caminho ético e correto a ser seguido. Às minhas irmãs, Auristelly e Aurilayne, e à minha sobrinha Laura por me apoiarem nas minhas decisões e por me auxiliarem em minha trajetória. Ao meu eterno companheiro Beethoven que, durante 14 anos de amizade, esteve ao meu lado compartilhando momentos únicos, incluindo horas de estudo e madrugadas em claro ao longo do curso. Mesmo não estando mais entre nós, sua presença continua viva em nossas memórias e em nossos corações. Amo todos vocês, do fundo do meu coração.

À minha amada namorada Alícia, minha grande inspiração e força ao longo desta jornada, que em cada momento de dificuldade esteve ao meu lado, oferecendo palavras de encorajamento e acreditando em mim mesmo quando eu duvidei. Seu apoio incondicional, paciência e compreensão foram peças-chave para que este trabalho se concretizasse. Sua dedicação, amor e capacidade de enxergar o melhor em mim não apenas me motivaram, mas também me ensinaram o valor da parceria e do companheirismo. Sou profundamente grato por você ter compartilhado comigo este desafio, tornando-o mais leve e significativo.

Aos grandes amigos e colegas de curso com quem pude compartilhar diversos conhecimentos, experiências, histórias e por tornar toda esta jornada mais leve e tranquila. Também gostaria de agradecer a alguns amigos que estão comigo desde o ensino fundamental e que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial.

À minha orientadora Marcele Elisa, por ser uma das maiores referências profissionais e acadêmicas que pude conhecer. Sou grato por todo o apoio, compreensão, paciência, dedicação e, acima de tudo, por acreditar em mim e me mostrar, ainda que indiretamente, que nenhum objetivo é impossível de ser alcançado.

Aos amigos da oficina de cilindros da empresa na qual realizei meu trabalho de conclusão de curso, obrigado por todo apoio, paciência, conhecimentos compartilhados, conselhos e por acreditarem e confiarem em mim para que, juntos, pudéssemos nos tornar agentes de mudança.

“O esforço de se atingir metas gera aprendizado. Quanto mais somos desafiados a entender algo que não sabemos, mais conhecimento podemos adquirir”.
(Campos, 2009)

RESUMO

O setor siderúrgico é responsável por boa parte dos produtos que utilizamos no dia a dia e é essencial para o desenvolvimento econômico do país, mas enfrenta constantemente desafios relacionados à eficiência e sustentabilidade de seus processos. Dentre eles, estão os problemas de superaquecimento de mancais de rolamentos do processo produtivo da laminação a quente, gerando perdas significativas no processo, além de contribuir para o aumento da interrupção operacional e dos custos operacionais da empresa. Diante disto, este trabalho teve como objetivo principal implementar o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) para propor ações capazes de reduzir a recorrência do problema de superaquecimento de mancais de rolamentos em um processo de laminação a quente de produtos longos de aço em uma siderúrgica localizada na cidade do Recife-PE. A metodologia incluiu a coleta de dados históricos, observação direta do processo, análise detalhada das causas utilizando ferramentas da qualidade e aplicação de planos de ação baseados no MASP. Os principais resultados da aplicação deste método estruturado incluem a identificação das causas raízes das falhas, como parâmetros inadequados de operação e falhas de manutenção, e a implementação de medidas corretivas e preventivas, que resultaram na redução das interrupções operacionais, na recorrência da anomalia de superaquecimento e nos custos associados ao problema. Portanto, conclui-se que a aplicação do MASP, associada às ferramentas da qualidade, foi eficaz na mitigação do problema, contribuindo para a estabilidade do processo produtivo e promovendo melhorias significativas na eficiência e competitividade da empresa. Além disso, o trabalho proporcionou a integração entre o conhecimento teórico e prático, além de contribuir para o cumprimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, representando uma grande relevância acadêmica e social, ao vincular práticas de melhoria contínua com a sustentabilidade e inovação no setor industrial.

Palavras-chave: MASP; Ferramentas da qualidade; Mancais de rolamentos; Siderurgia; Laminação a quente.

ABSTRACT

The steel industry is responsible for a large portion of the products we use daily and is essential for the economic development of the country. However, it constantly faces challenges related to the efficiency and sustainability of its processes. Among these challenges are the issues of overheating bearing housings in the hot rolling process, leading to significant losses, as well as contributing to increased operational downtime and operational costs for the company. In light of this, the main objective of this work was to implement the Problem Solving and Analysis Method (MASP) to propose actions aimed at reducing the recurrence of bearing housing overheating in a hot rolling process of long steel products at a steel plant located in Recife, PE. The methodology included the collection of historical data, direct observation of the process, detailed analysis of the causes using quality tools, and the implementation of action plans based on MASP. The key results from applying this structured method include the identification of root causes of failures, such as inadequate operating parameters and maintenance failures, and the implementation of corrective and preventive measures, which resulted in reduced operational interruptions, recurrence of overheating anomalies, and costs associated with the problem. Therefore, it is concluded that the application of MASP, combined with quality tools, was effective in mitigating the issue, contributing to the stability of the production process and promoting significant improvements in the company's efficiency and competitiveness. Additionally, the work provided integration between theoretical and practical knowledge, while also contributing to the achievement of the United Nations Sustainable Development Goals, representing great academic and social relevance by linking continuous improvement practices with sustainability and innovation in the industrial sector.

Keywords: MASP; Quality tools; Rolling bearings; Metallurgy; Hot rolling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Subdivisão das categorias de mancais de rolamentos.....	21
Figura 2 –	Exemplo de um rolamento radial de esferas de uma carreira e seus componentes.....	22
Figura 3 –	Exemplo de um rolamento radial de rolos de uma carreira e seus componentes.....	23
Figura 4 –	Exemplo de fluxograma de solicitação de pedido em um restaurante.....	29
Figura 5 –	Exemplo de aplicação do gráfico de Pareto (dados meramente didáticos).....	31
Figura 6 –	Exemplo de estruturação do diagrama de Ishikawa.....	32
Figura 7 –	Esquemático do fluxo de processos de obtenção de produtos de aço.....	41
Figura 8 –	Fluxograma resumido do processo produtivo da empresa em questão.....	43
Figura 9 –	a) gaiola de laminação montada com todos os componentes principais e auxiliares; b) exemplo de um cilindro de laminação com seus canais usinados; c) exemplo de um mancal de rolamentos montado; d) exemplo de guia de laminação.....	44
Figura 10 –	Comparativo anual do número de ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos.....	48
Figura 11 –	Interrupção operacional da oficina entre os meses de janeiro a agosto de 2024.....	49
Figura 12 –	Gráfico de Pareto das ocorrências de superaquecimento de mancais versus local da ocorrência (2021 a 2024).....	50
Figura 13 –	Gráfico de Pareto das ocorrências de superaquecimento de mancais versus bitola do produto (2021 a 2024).....	51
Figura 14 –	Número de ocorrências por tipo de conjunto impactado pelo superaquecimento entre os meses de janeiro a agosto de 2024.....	52
Figura 15 –	Análise pelo Diagrama de Ishikawa das causas prováveis do problema.....	54
Figura 16 –	Comparativo da interrupção da oficina de cilindros antes e depois da implementação das ações do MASP.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação do ciclo PDCA com o método MASP com foco em melhoria.....	26
Quadro 2 – Exemplo de estruturação da ferramenta dos 5 por quês.....	34
Quadro 3 – Etapas do MASP e ferramentas da qualidade utilizadas em cada uma dela.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Brainstorming e priorização das possíveis causas	53
---	----

LISTA DE ABREVIACÕES

- ESG *Environmental, Social and Governance* (indicador para as práticas ambientais, sociais e de governança de uma empresa).
- MASP Método de Análise e Solução de Problemas.
- MME Ministério de Minas e Energia
- ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.
- ONU Organização das Nações Unidas.
- PDCA *Plan, Do, Check, Act* – Planejar, Fazer, Verificar, Agir – metodologia de gestão.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	OBJETIVOS.....	17
1.1.1.	Objetivo geral.....	17
1.1.2.	Objetivos específicos.....	17
1.2.	JUSTIFICATIVAS.....	17
1.3.	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1.	MANCAIS DE ROLAMENTOS	19
2.1.1.	Tipos e aplicações de mancais de rolamentos	21
2.1.2.	Anomalias em mancais de rolamentos.....	24
2.2.	MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS (MASP).....	25
2.3.	GESTÃO DA QUALIDADE	27
2.3.1.	Ferramentas tradicionais da qualidade	28
2.3.1.1.	Fluxograma.....	28
2.3.1.2.	Folhas de verificação	29
2.3.1.3.	Histograma e Diagrama de Pareto	30
2.3.1.4.	Diagrama de Ishikawa	31
2.3.2.	Outras ferramentas da qualidade.....	32
2.3.2.1.	<i>Brainstorming</i>	33
2.3.2.2.	Técnica dos 5 porquês	33
2.3.2.3.	<i>Checklist</i> 5W2H	34
2.3.2.4.	Matrizes de priorização.....	35
3.	METODOLOGIA.....	36
3.1.	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	36
3.2.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	37
3.3.	COLETA DE DADOS	39
4.	ESTUDO DE CASO	41
4.1.	CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA	41
4.2.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO E DO SETOR DE ESTUDO	42
4.3.	MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO	46
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1.	ETAPA 1: IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	48
5.2.	ETAPA 2: OBSERVAÇÃO DO PROBLEMA.....	50

5.3.	ETAPA 3: ANÁLISE DO PROBLEMA.....	54
5.4.	ETAPA 4: DEFINIÇÃO DOS PLANOS DE AÇÃO	55
5.5.	ETAPA 5: EXECUÇÃO DOS PLANOS DE AÇÃO.....	55
5.6.	ETAPA 6: VERIFICAÇÃO DE EFICÁCIA	56
5.7.	ETAPA 7: PADRONIZAÇÃO	57
5.8.	ETAPA 8: CONCLUSÃO	57
6.	CONCLUSÃO.....	59
6.1.	CONTRIBUIÇÕES.....	59
6.2.	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	60
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE A – ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES	66
	APÊNDICE B – PLANEJAMENTO DOS PLANOS DE AÇÃO	69

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério de Minas e Energia – MME (2009), o aço está presente e atuante em boa parte dos produtos, estruturas e construções, tornando-se um produto essencial na sociedade moderna e sendo um dos principais responsáveis por ditar o ritmo do desenvolvimento econômico do país. Neste contexto, o Brasil é um dos principais produtores de aço do mundo, colocando o setor siderúrgico em um papel estratégico no que diz respeito à alavancagem da economia do país. No entanto, segundo estudos prospectivos do setor siderúrgico, realizado pelo MME (2009), o quadro atual da siderurgia no Brasil é desafiador devido principalmente:

- a) O crescimento notável e contínuo da produção de aço na China nas últimas décadas;
- b) O aumento das pressões e restrições ambientais acerca de uma produção mais sustentável, ecológica e que tenha como um dos pilares a preservação do meio ambiente, principalmente em relação à redução da emissão de gases do efeito estufa, classe na qual se encontra o CO₂, onde o setor siderúrgico é responsável por cerca de 5% das emissões;
- c) Estruturação e desenvolvimento de uma responsabilização social da empresa, trazendo um retorno positivo para a sociedade para além do ramo da produção de aço e da economia. Tais fatores estão inteiramente ligados às práticas de ESG (*Environmental, Social and Governance*) e, no contexto globalizado atual, não faz mais sentido analisar o setor siderúrgico de uma forma restrita, mas sim, considerando-o como uma das partes integrantes de uma grande rede de fluxos de recursos, capital, tecnologia e de mercado.

Dentro do setor siderúrgico, os processos de conformação mecânica dos metais são de extrema importância, tendo em vista que a maior parcela dos produtos metálicos obtidos é advinda desses processos. Dentre eles, os principais e mais comuns são: laminação, trefilação, extrusão, forjamento e estampagem (Bresciani *et al.*, 2011).

A laminação consiste no processo de conformação mecânica de peças onde estas passam entre dois cilindros rotativos com o principal objetivo de reduzir a área da seção transversal, garantindo um bom controle dimensional e maior produtividade por ser um processo contínuo (Helman; Cetlin, 2015). No segmento de laminação a

quente de produtos longos, há uma variedade de produtos que podem ser obtidos, dentre eles os vergalhões, barras redondas, barras chatas, perfis estruturais, cantoneiras e fio-máquina (Rizzo, 2007). Segundo Leite e Franco (2022), para as siderúrgicas manterem-se competitivas e com bons resultados, é necessário que seus processos sejam otimizados e que os equipamentos estejam em perfeito estado de operação, isto é, mantendo um alto índice de disponibilidade e confiabilidade. Devido a agressividade de um processo de laminação, por exemplo, os equipamentos que o compõem estão suscetíveis a uma série de problemas que podem afetar tanto o desempenho produtivo quanto a vida útil das máquinas. Nesse contexto, os serviços de manutenção têm que operar de forma a atender os processos operacionais, buscando criar métodos para reduzir falhas e custos.

De acordo com Ribeiro e Silva (2019), "a aplicação de metodologias estruturadas é essencial para abordar problemas complexos no setor industrial, garantindo soluções mais eficazes e a melhoria contínua dos processos". Integrar a aplicação das ferramentas da qualidade com práticas de gestão da manutenção e de análises de falhas de equipamentos tem se tornado cada vez mais comum no ambiente industrial pelo fato de proporcionar um maior detalhamento dos problemas e, conseqüentemente, um direcionamento mais assertivo na causa primal, tendo como principal consequência o aumento da confiabilidade dos equipamentos, processos e instalações (De Godois *et al.*, 2018).

O setor de laminação da empresa deste estudo vem sofrendo com um aumento das ocorrências de quebras de rolamentos e superaquecimento de mancais, problema este que pode estar associado às atividades de rotina de manutenção e inspeção destes componentes, bem como oportunidades de parametrização do próprio processo produtivo. Também se observou que, historicamente, o tempo de reação da equipe nestes tipos de ocorrências está cada vez maior. Logo, além de causar interrupções prolongadas na produção, há um alto custo de reparo e aquisição de novos itens para manter as condições básicas de operação, impactando diretamente na margem do custo operacional do setor e na performance produtiva.

Considerando todos os fatores supracitados é fulcral a efetuação de ações e medidas que sejam capazes de mitigar o nível de ocorrências de quebras de rolamentos e superaquecimento de mancais e seus impactos no processo produtivo do setor da laminação. Para isso, é imprescindível se basear em métodos e ferramentas de soluções de problemas a fim de se nortear no decorrer da

implementação do projeto bem como garantir a verificação da eficácia das ações propostas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Implementar o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) para propor ações capazes de reduzir a recorrência do problema de superaquecimento de mancais de rolamentos em um processo de laminação a quente de produtos longos de aço.

1.1.2. Objetivos específicos

Para que o objetivo geral do presente trabalho seja alcançado, é necessário destrinchá-lo nos seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar as causas raízes dos problemas a partir da aplicação de ferramentas da qualidade e seguindo a estratégia metodológica do MASP;
- b) Mapear e propor ações de melhorias na rotina e no processo para refrear o problema apresentado;
- c) Comparar e analisar os resultados obtidos com as expectativas iniciais do trabalho e identificar oportunidades futuras para atuação e aprimoramento.

1.2. JUSTIFICATIVAS

Este estudo se justifica pelo grande impacto que as quebras dos rolamentos e o superaquecimento dos mancais têm sobre o processo produtivo da laminação. Esses problemas contribuem negativamente para os custos operacionais devido às manutenções corretivas frequentes e aquisição de sobressalentes que não estavam mapeados, como também prejudicam a qualidade do produto final e a eficiência geral do processo.

Em adição ao que foi supracitado, Ribeiro e Silva (2019) destacaram a importância dos métodos estruturados na resolução de problemas complexos na indústria. A meta deste estudo é fortalecer esta constatação, oferecendo uma

abordagem prática e aplicável do método MASP e das ferramentas da qualidade a fim de encontrar oportunidades de melhorias no processo e propor ações que concretizem tais aperfeiçoamentos. Também, a partir deste trabalho, é possível utilizar os conhecimentos e vivências obtidas ao longo da graduação, exercitando e fortalecendo a interrelação tanto das disciplinas do curso – realizando conexões entre múltiplos conceitos e instruções com o intuito de se chegar à solução de um problema – quanto do mundo acadêmico com o empresarial/industrial.

Por fim, mas não menos importante, este trabalho tem embasamento nas diretrizes da Organização das Nações Unidas (ONU) no que diz respeito às métricas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um apelo global para buscar desenvolver a sociedade, proteger o meio ambiente e garantir a paz e a prosperidade. Este presente trabalho, por se tratar de uma intervenção de melhoria industrial, impacta diretamente nas ODS 9 (que aborda temas relacionados à indústria, inovação e infraestrutura) e a ODS 12 (consumo e produção conscientes), já que visa a eficiência no uso de recursos e a redução do desperdício relacionado a falhas operacionais, garantindo cada vez mais a sustentabilidade da empresa.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Além dos elementos pré-textuais, este trabalho possui uma introdução sobre o que será abordado – bem como os objetivos gerais e específicos e justificativas para a escolha do tema –, um segundo capítulo voltado para a fundamentação teórica dos temas trabalhados, um terceiro capítulo contemplando a metodologia empregada para a elaboração do trabalho a fim de se chegar no objetivo estabelecido, um quarto capítulo descrevendo o estudo de caso em questão, um quinto capítulo pontuando os resultados obtidos e discussões acerca dos mesmos e um sexto capítulo envolvendo as conclusões obtidas a partir do trabalho, citando as contribuições e limitações encontradas e propostas de temas futuros.

Por fim, serão listadas todas as referências bibliográficas utilizadas na construção deste trabalho de conclusão de curso, além dos apêndices que o compõe.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. MANCAIS DE ROLAMENTOS

Mancais de rolamentos são elementos de máquinas projetados para proporcionar um movimento relativo entre duas peças/componentes – normalmente um eixo em rotação e uma estrutura fixa – ao mesmo passo que suporta as cargas aplicadas pelo sistema; nesta configuração, o eixo rotativo é segregado da estrutura fixa através da interposição de elementos rolantes, fazendo com que o atrito rolante se sobressaia em comparação ao atrito de deslizamento (Collins *et al.*, 2019).

Ainda de acordo com Collins, *et al.* (2019), os mancais de rolamentos são elementos muito utilizados, pois garantem uma ótima confiabilidade, elevada durabilidade e grande versatilidade nas suas aplicações (desde que sejam respeitadas as condições de restrição estabelecidas em projeto). As principais vantagens dos mancais de rolamentos incluem:

- Elevada confiabilidade com o mínimo de manutenção (isto não implica em negligenciar o plano de manutenção estabelecido para determinado tipo de mancal de rolamento, apenas corrobora o fato de que para se obter um bom desempenho não há necessidade de ações de manutenção mais extravagantes além daquelas sugeridas pelos fabricantes);
- Lubrificante pode ser selado dentro do mancal e as dosagens de lubrificação podem ser realizadas de acordo com a vida útil do rolamento;
- Adequação a diferentes níveis de rotação de serviço (a depender de sua geometria e composição);
- Baixo atrito de partida e baixa perda de potência devido ao arraste por atrito;
- A depender do modelo, podem suportar prontamente cargas radiais, axiais, ou a combinação destas;
- Necessita de pouco espaço axial, proporcionando uma montagem mais compacta;
- Permutabilidade quase universal entre fabricantes devido à ampla padronização de tamanhos e características perante normas e rígido controle de tolerâncias;

- Pode ser pré-carregado para eliminar folgas internas, melhorar a vida em fadiga ou elevar a rigidez do mancal;
- Certa facilidade na detecção de falhas (por exemplo, o aumento do ruído e da vibração em operação alerta para falha iminente);
- Sem instabilidades auto excitadas;
- Partida boa em baixas temperaturas.

Porém, estes elementos também estão suscetíveis a certas falhas e desvantagens. De acordo com Norton (2013), as principais desvantagens dos mancais de rolamento são:

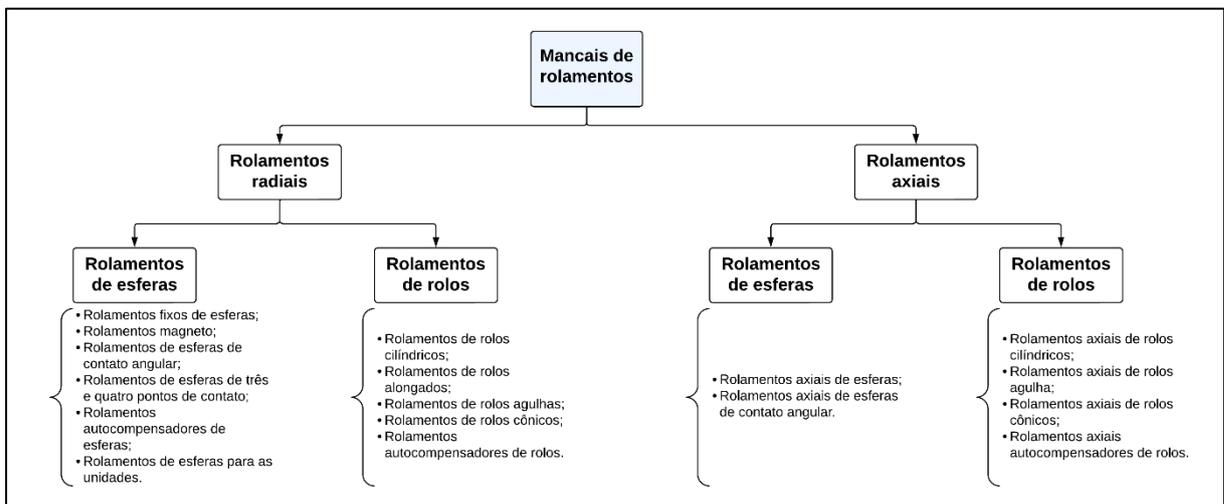
- Podem vir a falhar por fadiga, principalmente nas pistas de rotação e nos elementos rolantes, gerando microfissuras que vão aumentando ao longo do tempo de operação e podem ocasionar uma falha catastrófica do rolamento;
- Apesar de ocuparem pouco espaço na direção axial, os mancais de rolamentos requerem mais espaço na direção radial, o que pode ser prejudicial a depender do espaço disponível para a sua instalação;
- Baixa capacidade de amortecimento e absorção de vibrações e impactos, aumentando o risco de avarias que levem à falha prematura deste elemento de máquina;
- Alguns modelos têm requisitos de alinhamento mais severos pois são mais sensíveis a possíveis desalinhamentos de eixos. Pequenos desvios na angulação do eixo podem resultar em uma distribuição irregular dos esforços sobre os rolamentos, levando a um aumento exacerbado de tensões localizadas, aceleração acentuada do desgaste e falhas prematuras;
- Custo inicial mais elevado, tanto em relação a fabricação quanto em relação à manutenção (o preço de alguns lubrificantes, por exemplo, chega a ser 10 vezes mais caro do que outros que cumpririam o mesmo papel).
- Os mancais de rolamentos são mais vulneráveis à contaminação por poeira, sujidades, umidade etc., comprometendo a qualidade da lubrificação e podendo causar danos nas superfícies internas do rolamento, contribuindo negativamente para a integridade mecânica do componente e necessitando de manutenções e lubrificações mais frequentes;

- O desempenho dos mancais de rolamentos diminui consideravelmente em condições de alta temperatura devido ao desgaste tanto do lubrificante quanto dos elementos que compõem o rolamento, aumentando a resistência à movimentação e o atrito e, conseqüentemente, diminuindo a vida útil dos rolamentos e tornando-o mais propício a falhas catastróficas.

2.1.1. Tipos e aplicações de mancais de rolamentos

De acordo com os autores Norton (2013) e Budynas e Nisbett (2016), os mancais de rolamentos podem ser classificados, principalmente, em relação ao tipo de elemento rolante (rolos ou esferas) e em relação à direção da carga que irão apoiar (cargas radiais, axiais ou combinadas). Dentro de cada categoria há uma vasta gama de modelos que podem ser utilizados em variados tipos de aplicações. A Figura 1 apresenta o esquemático das principais classificações dos mancais de rolamentos.

Figura 1 – Subdivisão das categorias de mancais de rolamentos



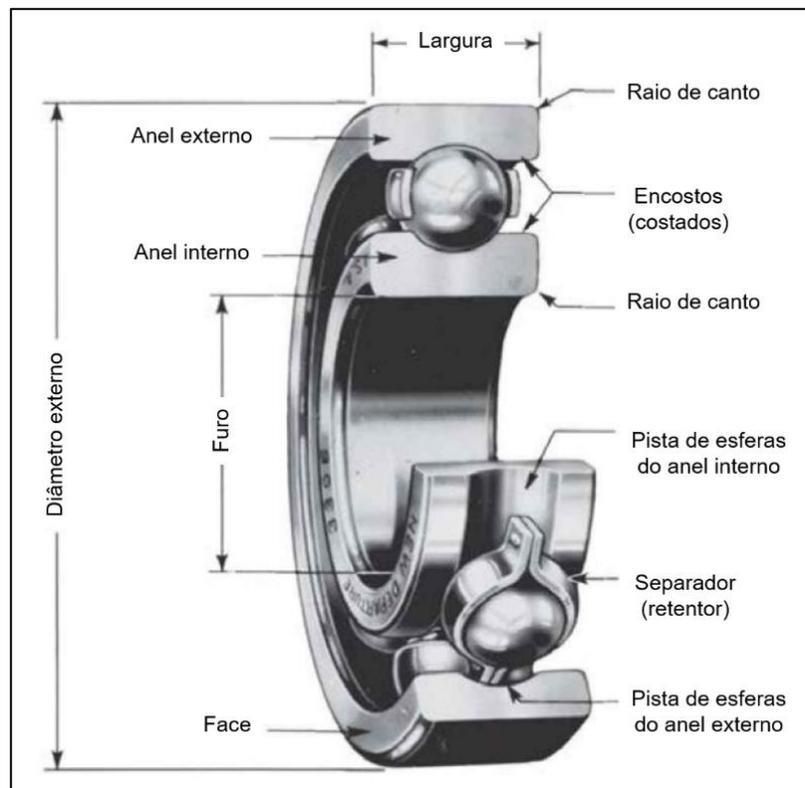
Fonte: Adaptado de NSK Brasil (2013).

Os mancais de rolamentos radiais, como o próprio nome já diz, são aqueles que suportam e guiam os eixos rotativos e absorvem as cargas radiais que atuam perpendicularmente a este eixo. Já os mancais de rolamentos axiais são aqueles cuja função é suportar as cargas axiais, ou seja, os esforços que atuam na mesma direção do eixo de rotação e tendem a empurrar o eixo para frente e para trás (Collins *et al.*, 2019).

Para efeitos de objetividades e simplicidade, este presente trabalho focará nos mancais de rolamentos radiais, tendo em vista que estes serão o principal objeto de estudo de caso do problema.

Consoante a Norton (2013), os mancais radiais de esferas (Figura 2) são os modelos mais conhecidos e comumente utilizados em variadas aplicações devido à sua versatilidade, baixo custo e durabilidade.

Figura 2 – Exemplo de um rolamento radial de esferas de uma carreira e seus componentes



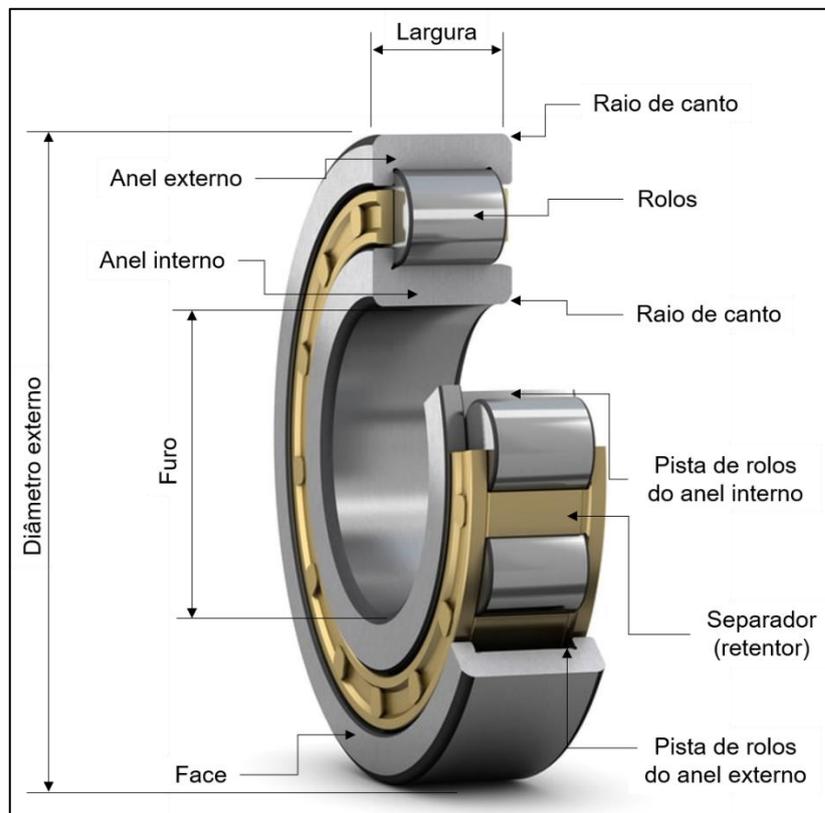
Fonte: Adaptado de Budynas e Nisbett (2016).

Ainda segundo o autor, este tipo de rolamento é caracterizado por possuir várias esferas de aço endurecido presas entre duas pistas (uma interna e outra externa no caso dos mancais radiais e uma superior e outra inferior no caso dos mancais axiais). Para acomodar os elementos rolantes e mantê-los adequadamente espaçados ao redor da pista, é utilizado um retentor (ou comumente chamado de separador ou gaiola). Rolamentos desse tipo podem suportar cargas axiais, radiais e combinadas em diversas angulações a depender do projeto e da construção dos mancais. Alguns modelos possuem vedações para proteger os componentes internos de corpos estranhos e contaminantes além de conter a lubrificação. Estes tipos são

bastante recomendados para cargas relativamente mais leves e proporcionam maior velocidade, tendo em vista que no momento da operação, existe apenas dois pontos de contato entre a esfera e as pistas internas e externas, reduzindo a resistência por atrito e garantindo maior velocidade.

Somado aos mancais de rolamentos de esferas, na categoria de mancais de rolamentos radiais tem-se disponível os mancais de rolamento de rolos (Figura 3).

Figura 3 – Exemplo de um rolamento radial de rolos de uma carreira e seus componentes



Fonte: Adaptado de Grupo SKF (2015).

Segundo Collins *et al.* (2019), na construção deste tipo de rolamentos podem ser utilizados rolos retos, cônicos ou abaulados. Geralmente, estes tipos de mancais de rolamentos suportam cargas estáticas e dinâmicas bem maiores do que os mancais de esferas devido uma maior área de contato formada entre os elementos rolantes e as pistas internas e externas (diferentes dos de geometria esférica que há apenas um ponto de contato), mas em contrapartida esta característica acarreta na desvantagem de que eles não são tão aconselháveis para operações de altas velocidades devido à resistência causada pela linha de contato. Dependendo do

projeto de construção do rolamento, ele pode suportar apenas cargas axiais, apenas radiais ou carga combinada (geralmente quando são rolos afunilados ou abalados).

Um tipo interessante de mancais de rolamentos radiais de rolos são os autocompensadores. Estes possuem duas carreiras (fileiras) de rolos com superfície de rolagem esférica e o anel externo possui uma pista também esférica. Esta característica faz com que o rolamento realize o seu auto alinhamento durante a operação, reduzindo avarias relacionadas a esforços anormais devido a erros de alinhamentos de eixos e alojamentos ou flexão dos eixos. Permite, também, apoio de carga radial (também suportam cargas de choques) e de carga axial em ambos os sentidos (NSK Brasil, 2013).

Os mancais de rolamentos radiais autocompensadores de rolos são os principais componentes de estudo deste presente trabalho, tendo em vista que são os mais aplicados nos equipamentos do estudo de caso e responsáveis pela maioria das falhas no processo que são relacionadas com mancais de rolamentos.

2.1.2. Anomalias em mancais de rolamentos

Os rolamentos estão entre os componentes mais importantes em um processo produtivo, por isso, demandas rigorosas são feitas em relação à sua integridade mecânica, eficiência, vida útil e confiabilidade. Apesar do austero e cuidadoso método de fabricação destes componentes, por vezes, devido ao processo de produção aos quais são aplicados e condições de operação, os rolamentos não atingem sua vida útil total, vindo a falhar durante o ciclo operacional (Grupo SKF, 2017).

Segundo uma das mais renomadas fabricantes de rolamentos *The Timken Company* (2019), falhas prematuras podem ocorrer por diversas razões, desde montagem e manuseio indevido destes componentes até variáveis incorretas de processo. As principais causas de falhas nos rolamentos estão associadas à:

- Presença de corpos estranhos no interior dos rolamentos (causando desgaste por abrasão e contaminações) devido principalmente a métodos de limpeza inadequados e sistemas de vedação ineficientes;
- Corrosão/oxidação de componentes internos, causados principalmente por armazenamento inadequado e falha no sistema de retenção;

- Lubrificação inadequada, desde sistema de lubrificação ineficiente até utilização de graxa inadequada, não protegendo o rolamento das condições impostas pelo processo;
- Sobrecargas excessivas ocasionadas por alta carga de trabalho para além daquela que o rolamento foi projetado, concentração de tensões e desalinhamentos;
- Desalinhamentos ocasionados por deflexão no eixo e/ou no mancal, desalinhamentos e folgas excessivas durante a montagem dos rolamentos no mancal e fixação do mancal durante a operação;
- Danos de manuseio e montagem causados por utilização de ferramentas inadequadas no momento da montagem e manuseio destes componentes e procedimentos de instalação inadequados;
- Danos por impacto, tendo como causa típica as cargas de choque que excedem os limites do material;
- Pontos altos no mancal, devido a recuperações inadequadas;
- Desgaste adesivo, ocasionado pela película de lubrificação inadequada, excesso de atrito entre os elementos rolantes e as pistas do rolamento e deslizamento excessivo dos rolos.

Ainda segundo a fabricante, tais falhas nos rolamentos além de prejudicar a vida útil dos mesmos também ocasionam problemas relacionados a perdas econômicas devido a parada da produção pela interrupção do processo para readequar as condições aceitáveis de operação, custos de reparos e aquisição de novos componentes e, dependendo da gravidade da anomalia, podem causar danos a peças e componentes adjacentes.

2.2. MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS (MASP)

Seleme e Stadler (2012) apontam que o ciclo PDCA, originalmente proposto por Deming, foi adaptado no Brasil por Falconi em meados dos anos 1980 e passou a ser conhecido como MASP. O MASP faz parte do gerenciamento de qualidade total e é um método fundamental para a melhoria contínua, oferecendo suporte no

planejamento, na análise e na resolução de problemas presentes tanto em processos produtivos quanto em serviços (Cruz; Stanzani, 2021).

O MASP é uma metodologia de qualidade voltada para compreender, analisar e identificar soluções que eliminem a causa raiz das não conformidades, contribuindo para a redução de custos e retrabalho. A aplicação do MASP envolve lidar com incertezas e a necessidade de buscar soluções ainda desconhecidas. Esse contexto incorpora o conceito de aprendizagem organizacional, pois indivíduos e equipes precisam compreender o problema, suas características e condições conforme ele ocorre. A partir desse entendimento, é essencial identificar as causas e a forma mais eficiente de solucioná-las, com foco em minimizar o esforço e, principalmente, o custo (Campos, 2014).

O método diligencia o controle da qualidade tomando como base o ciclo PDCA, proporcionando um considerável reforço da probabilidade de a solução dos problemas ser de uma forma ainda mais eficiente e satisfatória (Campos, 2014). De acordo com os estudos realizados por Werkema (1995), o método MASP se relaciona com o ciclo PDCA principalmente quando é utilizado para metas de melhorias e se subdivide nas etapas mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação do ciclo PDCA com o método MASP com foco em melhorias

PDCA	Etapas MASP	Objetivo
P	1. Identificação do problema	Identificar e definir o problema e a sua relevância.
	2. Observação do problema	Reconhecer as características do problema.
	3. Análise do problema	Descobrir as causas raízes do problema.
	4. Definição dos planos de ação	Estabelecer ações para mitigar as causas raízes.
D	5. Execução dos planos de ação	Atuar nas causas raízes do problema.
C	6. Verificação de eficácia	Confirmar a efetividade das ações realizadas.
A	7. Padronização	Prevenir a reincidência do problema.
	8. Conclusão	Revisar o projeto e planejar trabalhos futuros.

Fonte: Adaptado de Werkema (1995).

Oliveira e Toledo (2008) fazem a associação das ferramentas da qualidade com o MASP, afirmando que podem ser utilizadas em conjunto para ajudar a identificar e resolver problemas em um processo ou produto, em que cada ferramenta oferecerá uma abordagem singular para identificar e analisar dados, permitindo que os executantes visualizem melhor os problemas e tomem decisões mais assertivas.

2.3. GESTÃO DA QUALIDADE

A evolução do pensamento sobre qualidade passou por diversas transformações ao longo do século XX, foi adquirindo novos significados, métodos e ferramentas (Carpinetti, 2016). Para Crosby (1995), a qualidade é "conformidade com os requisitos", sendo essencial eliminar defeitos e falhas em todas as etapas do processo produtivo. Ele também destaca que a qualidade não deve ser vista apenas como um custo, mas como uma maneira de reduzir desperdícios e aumentar a eficiência. Complementarmente, Feigenbaum (1994) enxerga a qualidade como uma responsabilidade compartilhada em todos os níveis organizacionais, defendendo que a qualidade deve ser incorporada em cada etapa do processo produtivo, não apenas no produto final.

Nos últimos anos, autores como Goetsch e Davis (2014) e Oakland (2014) ampliaram essa visão, integrando a qualidade à cultura organizacional e ao desenvolvimento de equipes engajadas. Goetsch e Davis (2014) enfatizam que a gestão da qualidade vai além de evitar defeitos, buscando uma mentalidade de melhoria contínua e inovação em todas as áreas da empresa. Já Oakland (2014) destaca a importância de processos bem-estruturados e do engajamento dos funcionários, argumentando que um sistema de qualidade eficiente precisa alinhar objetivos organizacionais e motivação individual para alcançar resultados superiores.

Segundo Slack *et al.* (2018), a gestão da qualidade atualmente também está diretamente ligada à experiência do cliente, abordando fatores como atendimento personalizado e agilidade. Essa perspectiva mais recente reflete uma transformação na forma como as organizações interpretam a qualidade, tratando-a como um diferencial competitivo que se estende ao longo de toda a cadeia de valor. Esses avanços mostram que a qualidade é um conceito fundamental na gestão moderna, que utiliza ferramentas e técnicas específicas para assegurar que cada etapa do processo produtivo esteja alinhada com as expectativas e exigências do cliente ou processo.

A qualidade passou a ser um tema central nas reuniões estratégicas das empresas, destacando aquelas que a incorporavam e colocando em desvantagem as que mantinham um foco apenas nos métodos tradicionais de controle de qualidade. A certificação do sistema de qualidade evidencia que a organização implementou um sistema de gestão voltado à qualidade em seus processos produtivos, demonstrando

uma forte prioridade e comprometimento com a excelência de suas operações (Carvalho, 2011).

Seleme e Stadler (2012) reafirmaram que, desde os primórdios da humanidade, existe uma busca constante por inserir qualidade nas produções humanas, mas com o avanço das tecnologias, a qualidade se tornou um fator primordial na escolha de produtos e serviços pelos clientes. Para promover e auxiliar no controle dessa qualidade, diversas ferramentas foram desenvolvidas ao longo dos anos, oferecendo parâmetros que permitem revisar e corrigir aspectos que possam estar inadequados, provendo a melhoria contínua.

2.3.1. Ferramentas tradicionais da qualidade

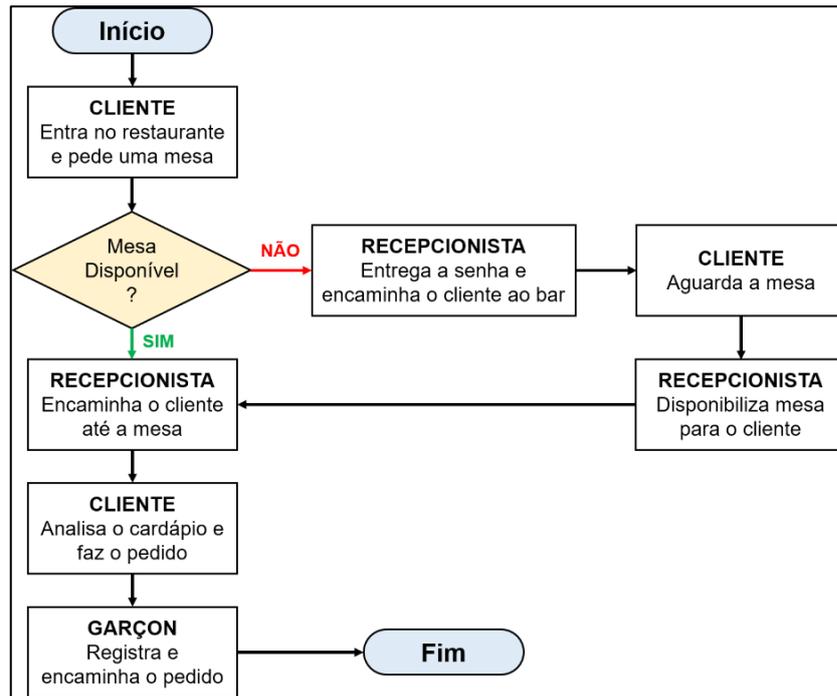
As sete ferramentas clássicas da qualidade (folhas de verificação, histograma, diagrama de Pareto, fluxograma, diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa, diagrama de dispersão e cartas de controle) são aplicáveis em qualquer dos setores industriais, desde a etapa de desenvolvimento do produto até sua entrega final. No entanto, elas não solucionam problemas de forma independente, mas sim, servem como suporte para que a equipe técnica e de liderança tome decisões que resolverão as oportunidades encontradas e assegurem a melhoria contínua dos processos (Corrêa; Corrêa, 2006; Fontana, 2024).

Para a construção deste trabalho, foram utilizadas algumas destas ferramentas tradicionais da qualidade e a explicação de cada uma delas segue nos tópicos quaternários a seguir.

2.3.1.1. Fluxograma

O fluxograma trata-se de um resumo ilustrativo do fluxo de atividades e operações de um processo, mostrando todas as etapas e o que é realizado em cada uma delas, os recursos necessários para a execução, relações de entradas e saídas, as decisões que devem ser tomadas e os principais envolvidos e interessados no processo, conforme mostrado na Figura 4 (Lucinda, 2010).

Figura 4 – Exemplo de fluxograma de solicitação de pedido em um restaurante



Fonte: Adaptado de SEBRAE (2005).

Tais fluxogramas podem assumir diversos formatos e modelos, utilizando símbolos variados que buscam adequar o gráfico ao tipo de rotina que pretende representar (Vergueiro, 2002). O fluxograma é uma excelente ferramenta para analisar um processo já que permite a rápida compreensão das atividades que são desenvolvidas pelas partes envolvidas, tornando-se fundamental para o planejamento e aperfeiçoamento daquele (Lucinda, 2010).

2.3.1.2. Folhas de verificação

De acordo com Toledo (2014), as folhas de verificação tratam-se de formulários planejados com respostas fáceis e precisas com o intuito de registrar os dados a serem analisados, agrupando-os e transformando-os em uma interpretação da situação, ajudando a diminuir erros e retrabalhos.

Valle (2013) acrescenta que o uso das folhas de verificação permite economizar tempo, pois elimina a ação de reescrever ou representar dados repetitivos, evitando comprometer a análise dos dados. É utilizado para observar fenômenos, possibilitando a visualização da presença de diversos fatores envolvidos e seus

padrões de comportamento. De modo geral, as folhas de verificação podem ser de quatro tipos:

- a) Lista de verificação da existência de determinadas condições;
- b) De contagem de quantidades;
- c) De classificação de medidas;
- d) De localização de defeitos.

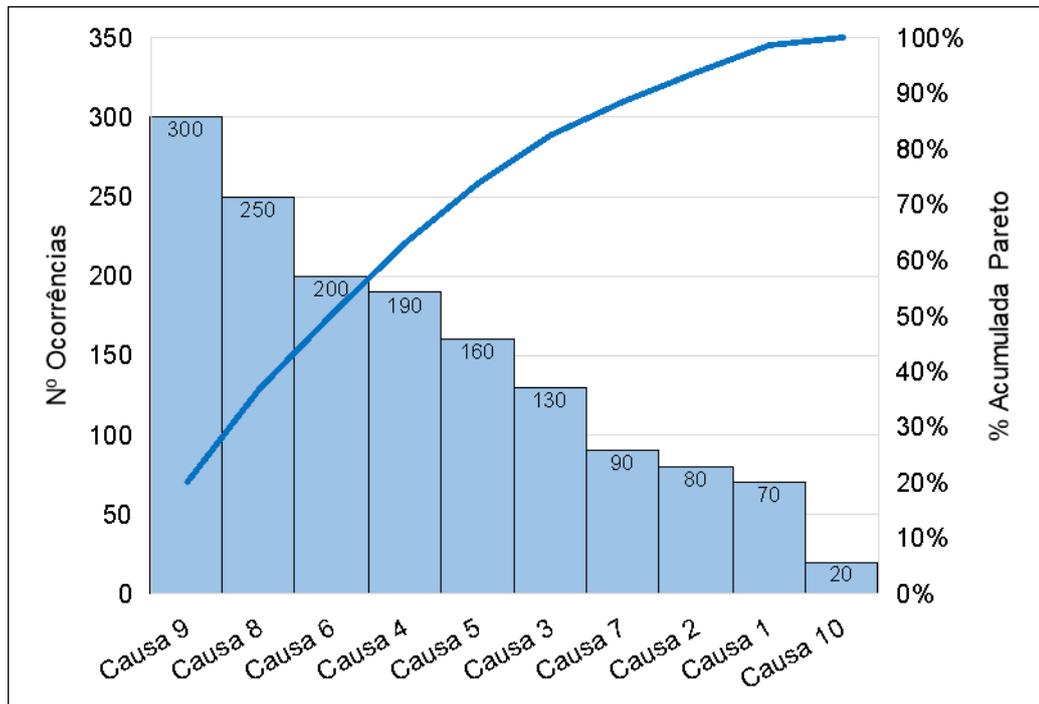
Ainda consoante a Valle (2013), o uso dos tipos de folhas de verificação citadas fica a critério do executante, onde o mesmo escolherá a que melhor se adapta para as finalidades as quais se destinam, mas sempre mantendo o princípio básico de agrupar os fatos em classes.

2.3.1.3. Histograma e Diagrama de Pareto

Por vezes, os problemas relacionados à qualidade aparecem em formato de perdas, sendo de suma importância a forma como elas se distribuem. A maioria dessas perdas se devem a defeitos que podem estar relacionados a uma pequena quantidade de causas, desse modo, se essas causas forem identificadas pode-se eliminar uma grande parcela das perdas concentrando os esforços sobre elas e deixando de lado, pelo menos em um primeiro momento, os outros defeitos que não geram um grande impacto no problema. Normalmente, estas correlações obedecem a uma proporção de 80/20, ou seja, 80% das perdas são ocasionadas por 20% dos defeitos (Carpinetti, 2016).

Para resolver problemas desse tipo de forma eficiente é utilizado o Diagrama de Pareto. Trata-se de um recurso gráfico que tem como principal função a determinação de uma ordenação nas causas de perdas que devem ser sanadas. Tal recurso é formado por um gráfico de barras verticais ordenados de forma decrescente que tem por objetivo determinar quais causas possuem um maior impacto no problema a partir da sua influência no todo e, a partir disso, quais devem ser priorizadas, conforme exemplo da Figura 5 (Valle, 2013).

Figura 5 – Exemplo de aplicação do gráfico de Pareto (dados meramente didáticos)



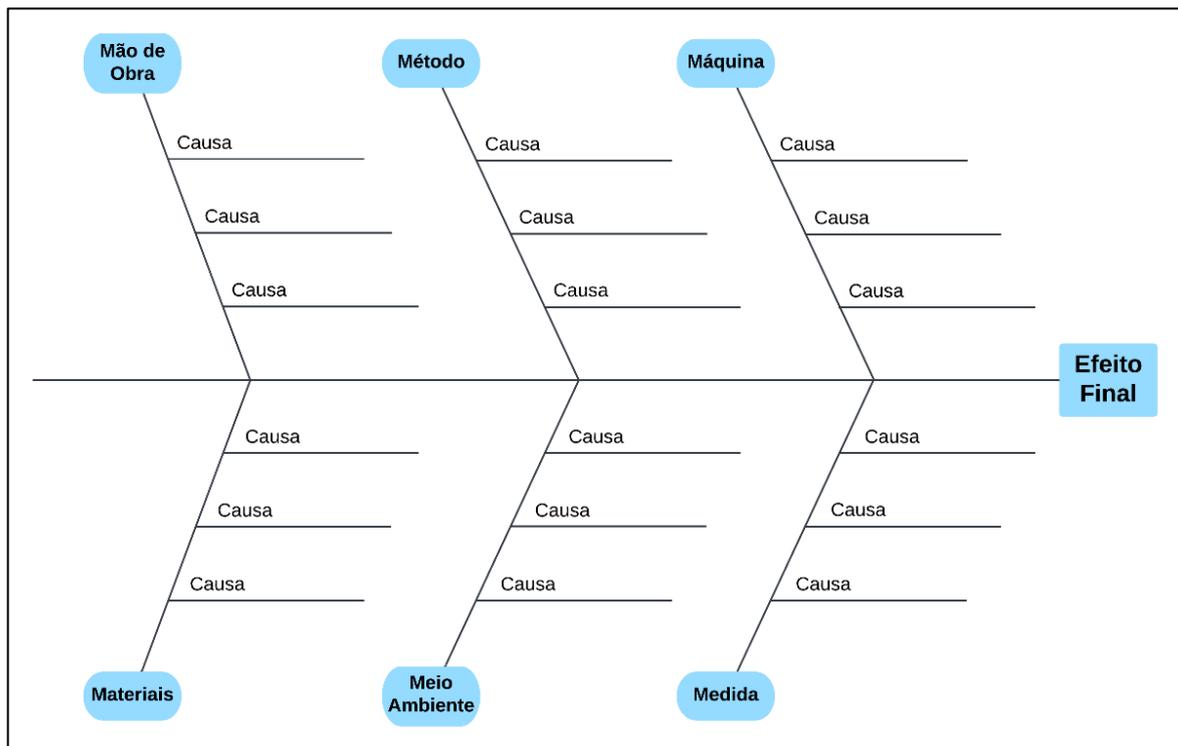
Fonte: O autor (2024).

Visualizando o gráfico da Figura 5, é possível verificar que algumas causas geram um grande impacto no problema. Logo, deve ser priorizado o plano de ação para mitigá-las. De acordo com César (2011), o diagrama de Pareto é utilizado quando se faz necessário observar os problemas de uma forma sistemática e quando se tem um grande número de problemas e recursos limitados para resolvê-los, logo, deve-se atacar aqueles que possuem uma maior influência no todo.

2.3.1.4. Diagrama de Ishikawa

Também comumente conhecido por 'diagrama de causa e efeito', 'diagrama 6M' ou 'diagrama espinha de peixe', o diagrama de Ishikawa também é uma ferramenta gráfica que permite a organização de informações para identificar as possíveis causas de um dado efeito de um problema, mostrando a relação entre o efeito e as causas candidatas que possam estar contribuindo para que ele ocorra (Figura 6). Para uma melhor compreensão e detalhamento, as causas são estratificadas e agrupadas em 6 categorias (mão de obra, materiais, medição, método, meio ambiente e máquina) que facilitam a evolução na abordagem e tratamento das causas (César, 2011).

Figura 6 – Exemplo de estruturação do diagrama de Ishikawa



Fonte: Adaptado de César (2011).

César (2011) complementa que o diagrama por si só não identifica as causas de um determinado problema, mas sim, organiza de forma eficaz uma lista das possíveis causas que contribuem para um dado efeito, funcionando como um meio potencializador para se chegar numa conclusão numa análise de solução de problemas.

2.3.2. Outras ferramentas da qualidade

Além das sete ferramentas clássicas da qualidade, também é possível contar com outras ferramentas gerenciais e técnicas para o aprofundamento, detalhamento e definição de ações para mitigar as causas raízes dos problemas encontrados. São exemplos destas ferramentas o *brainstorming*, a técnica dos 5 porquês, diagramas em árvore (árvore de falhas), matrizes de priorização, matrizes de relações, diagrama de processo decisório, diagrama de atividades e *checklist* 5W2H (Carpinetti, 2016).

Em especial no desenvolver deste projeto foi essencial a utilização das ferramentas descritas nos tópicos quaternários a seguir com o intuito de refinar e

estudar as possíveis causas do problema de estudo e, a partir disso, definir planos de ações para mitigá-las e obter a estabilidade do processo produtivo e a integridade mecânica dos equipamentos.

2.3.2.1. *Brainstorming*

Também conhecido por sua tradução literal de ‘tempestade de ideias’, o *brainstorming* trata-se de uma técnica de estímulo à criatividade e à criação de ideias que tem o intuito de ajudar a encontrar soluções para problemas independente dos seus graus de complexidade e não se limitando ao ambiente no qual será aplicado, pois toma como princípio a necessidade de solucionar os problemas e questões comuns aos participantes (Esteves, 2017).

Em acréscimo, Meireles (2001) sobreleva que o envolvimento de todos os integrantes neste método é crucial para assegurar a qualidade nas tomadas de decisões, o comprometimento e a responsabilidade compartilhada por todos. Além disso, devido a sua facilidade de implementação, pode ser utilizado por qualquer pessoa e em qualquer etapa do processo de solução dos problemas, entretanto, é importante a presença de um facilitador para o ordenamento das ideias e para auxiliar na seleção e identificação das questões que serão tratadas.

Segundo Sanmartin (2014), em um processo de solução de problemas esta ferramenta funciona como um direcionador, tendo em vista que as causas dos problemas podem ser difíceis de serem identificadas e a linha de raciocínio a se seguir ou opções para a solução do problema não são totalmente aparentes.

Ainda de acordo com Meireles (2001), no *brainstorming* é destacada a quantidade de ideias e não a qualidade das mesmas. As críticas, julgamentos e avaliações neste momento devem ser evitadas a fim de estimular a criação das ideias sem maiores considerações, pois o objetivo principal é o exercício livre da criatividade na geração de soluções que possibilitem solucionar ou mitigar o problema evidenciado.

2.3.2.2. Técnica dos 5 porquês

De acordo com Slack *et al.* (2018), esta técnica tem como principal objetivo realizar o desdobramento e o aprofundamento das causas maiores de um

determinado problema de estudo e ainda identificar as causas raízes para a sua ocorrência. A técnica consiste na repetibilidade do questionamento sobre o motivo pelo qual determinada causa aconteceu, de modo a refinar cada vez mais a análise até que se chegue numa causa fundamental para a ocorrência e, posteriormente, seja elaborado um plano de ação de mitigação da mesma (Quadro 2).

Quadro 2 – Exemplo de estruturação da ferramenta dos 5 por quês

Efeito: como o problema se manifestou				
Por que?				
Por que 1	Por que 2	Por que 3	Por que 4	Por que 5 (Causa Raiz)
Resposta 1	Resposta 2	Resposta 3	Resposta 4	Resposta 5 (Causa Raiz)
Portanto				

Fonte: O autor (2024).

Valle (2013) acrescenta que uma causa maior (ou uma ramificação desta) pode ter mais de um motivo para a ocorrência e, apesar do nome da técnica, a quantidade de “por quês” (ou seja, perguntas) pode variar para mais ou para menos que cinco, a depender da complexidade do problema e necessidade de aprofundamento sobre o tema a fim de chegar a uma causa aceitável.

2.3.2.3. Checklist 5W2H

Valle (2013) define que o 5W2H é uma ferramenta de estruturação do pensamento de forma materializada e ordenada antes de implantar a solução para um determinado problema. Esta ferramenta possibilita que todas as informações necessárias para a execução de um bom planejamento estejam organizadas e de fácil entendimento para que a execução do plano de ação seja feita de forma objetiva e eficiente.

Ainda segundo Valle (2013), a denominação desta ferramenta se dá por meio das iniciais de sete palavras em inglês, sendo elas:

- *What* (o que): define o que será feito no plano de ação;
- *Why* (por que): justifica o que será feito no plano de ação;
- *Where* (onde): determina onde será a atuação;
- *When* (quando): estabelecer prazos de início e fim da execução da ação;
- *Who* (quem): responsabilizar executantes para as ações;
- *How* (como): detalha de que forma será realizado o plano de ação;
- *How much* (quanto custa): define o custo necessário para a implementação do plano de ação.

2.3.2.4. Matrizes de priorização

Matrizes de priorização são ferramentas cruciais para a gestão de tarefas e recursos. Quando utilizadas de forma adequada, podem proporcionar uma maior clareza visual do que deve ser feito, direcionar o foco da equipe para aquilo que realmente foi definido como prioritário, conscientização do que mais irá impactar no longo prazo e melhor tomada de decisão do uso do tempo. Existem diversos critérios que podem ser utilizados nesses tipos de matrizes, como o nível de importância, urgência, tendência, gravidade, viabilidade, impacto e facilidade de implementação (Covey; Merrill; Merrill, 2017). Neste trabalho em especial, será utilizado os fundamentos da matriz de Eisenhower que relaciona a urgência e a importância de uma determinada atividade.

Ainda de acordo com Covey, Merrill e Merrill (2017), este modelo de matriz é extremamente intuitivo pelo fato de direcionar e instruir o que deve ser feito a partir do grau de importância e urgência que as atividades forem classificadas, além de facilitar a identificação das tarefas irrelevantes para o desenvolvimento de um determinado projeto.

Para se adequar ao padrão de priorização de atividades já utilizado pela empresa em questão, será utilizada uma adaptação da matriz de Eisenhower, onde serão levados em conta os critérios de impacto de uma determinada atividade e a sua viabilidade de implementação.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a classificação da pesquisa e o procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento deste presente trabalho, a partir do viés escolhido para a resolução do problema em questão.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Neste trabalho, será realizado um estudo de caso para explorar e analisar uma conjuntura real a partir de evidências atuais de dados e ocorrências relacionadas a mancais e rolamentos de um processo de laminação a quente. Logo, evidencia-se a necessidade de um estudo de campo com aplicação de uma metodologia estruturada de solução de problemas para uma aplicação prática – embasada na fundamentação teórica.

Segundo Gil (2017), em relação ao propósito generalista, este presente trabalho intitula-se como sendo uma pesquisa exploratória, pois trata-se de um estudo de caso que “tem como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses”.

Em conformidade com Creswell (2021), do ponto de vista da forma de abordagem do problema, para que haja a possibilidade de avaliação dos resultados de uma determinada pesquisa, é importante ter o conhecimento de como os dados foram obtidos bem como os procedimentos adotados em sua análise e interpretação, por isso, surgiram sistemas de classificação de pesquisas como, por exemplo, a determinação da mesma segundo a natureza de seus dados (pesquisa quantitativa e/ou qualitativa).

Pesquisas quantitativas são aquelas que consideram tudo que pode ser quantificável, ou seja, opiniões, informações e dados traduzidos em números para que seja possível classificá-las e analisá-las. Já as pesquisas qualitativas consideram a interpretação dos fenômenos e as relações com inúmeros significados, tendo o ambiente como a principal fonte de base e coleta de dados (Prodanov; De Freitas, 2013). Há, também, as pesquisas combinadas (ou qualiquantitativas) que são aquelas que usam métodos qualitativos e quantitativos para realizar uma análise mais complexa, criando pontos de relação, conexão e de convergência entre os dados, complementando-se mutuamente para a compreensão do fenômeno (Demo, 2011).

Diante do pressuposto, além de ser um estudo de caso de caráter exploratório, o presente trabalho se caracteriza na forma de abordagem de uma pesquisa combinada, pois alguns dados são descritivos e suas análises são feitas por meio de associações e intuições e, também, há variáveis de estudos que podem ser mensuradas e analisadas numericamente, sendo possível a geração de gráficos, tabelas e outras ferramentas matemáticas e estatísticas para uma melhor compreensão e análise das informações a fim de se chegar a uma conclusão do problema abordado.

3.2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O modelo de solução de problemas MASP foi escolhido como estratégia metodológica principal para atuar na análise das causas raízes dos problemas bem como na proposta de intervenção sobre tais anomalias. Somado a isto, foram utilizadas as ferramentas da qualidade ditas anteriormente como forma de auxílio nas etapas do método. Apesar de cada uma das ferramentas apresentar objetivos e metodologias próprios, elas podem ser combinadas ao MASP para aumentar a eficiência na resolução de problemas e na melhoria contínua dos processos (Oliveira; Toledo, 2008). Para este trabalho, a associação entre as etapas do MASP e as ferramentas da qualidade utilizadas em cada uma delas constam no Quadro 3.

Quadro 3 – Etapas do MASP e ferramentas da qualidade utilizadas em cada uma delas

Etapas MASP	Ferramentas da Qualidade Utilizadas
1. Identificação do problema	Estratificação (e análises gráficas); folhas de verificação.
2. Observação do problema	Estratificação; diagrama de Pareto; folhas de verificação; brainstorming; matriz de priorização.
3. Análise do problema	Diagrama de Ishikawa; técnica dos 5 porquês.
4. Definição dos planos de ação	<i>Checklist</i> 5W2H.
5. Execução dos planos de ação	--
6. Verificação de eficácia	Estratificação (e análises gráficas); folhas de verificação.
7. Padronização	Folhas de verificação; fluxograma (para a elaboração dos padrões da empresa).
8. Conclusão	--

Fonte: O autor (2024).

Ademais, foram realizadas as seguintes atribuições e atividades de acordo com cada etapa estabelecida no método:

- 1) Identificação do problema:** Nesta primeira etapa, foi identificado o problema de estudo e o impacto/relevância que ele estava ocasionando nas entregas de modo geral (principalmente em relação ao cumprimento de rotina, tempo de máquina parada e aumento de custos operacionais para retomada de condição básica do processo).
- 2) Observação do problema:** Após a identificação e escolha do problema de estudo, foi necessário realizar uma série de investigações mais minuciosas para detectar as características do problema sob um ponto de vista holístico, realizando conexões entre diversas ocorrências e identificando determinados padrões que ocorriam em todas elas – ou na grande maioria. Tal observação se deu, principalmente, em vistorias *in loco*, em acompanhamentos em tempo real de ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos, em estratificações dos dados de interrupção do processo e em coleta de informações com especialistas da área e de colaboradores mais experientes no assunto. Com isto, foi realizado um *brainstorming* em grupo para se chegar nas principais causas do problema. Com as causas elencadas, foram utilizados os critérios de impacto e viabilidade para determinar a prioridade de cada uma delas. Tal priorização foi feita a partir do resultado do produto das notas que cada possível causa obteve em cada um dos critérios. A nota em cada critério se deu a partir de um consenso de todo o grupo diante do impacto que determinada causa analisada acarretava no problema (escala de 1 a 10, em que a nota mínima representa um risco e um impacto praticamente irrisório para o processo e a nota máxima representa um alto risco e impacto para o processo), bem como a viabilidade de implementação (escala de 1 a 10, em que a nota mínima representa uma maior dificuldade na implementação da resolução do problema e a nota máxima representa uma alta facilidade de implementação). Em caso de resultados com valores decimais, foi arredondado para o próximo número inteiro.
- 3) Análise do problema:** Com todos os dados já coletados e mapeados, o próximo passo foi realizar a análise do problema com o intuito de identificar os principais motivos de sua ocorrência e, conseqüentemente, chegar às causas raízes/básicas/fundamentais de cada um deles.

- 4) Definição do plano de ação:** A partir do levantamento das causas principais dos problemas, foram definidos planos de ação para mitigá-los, estabelecendo o que deveria ser feito, o porquê da realização da ação e como ela seria feita; em que equipamento ou setor determinada ação estaria direcionada; os responsáveis pelas ações; os prazos de entrega e os possíveis custos que elas acarretariam.
- 5) Execução do plano de ação:** Nesta etapa, foram postos em prática os planos de ação estabelecidos para mitigar as causas raízes do problema, buscando sempre a maior assertividade e eficiência na execução a fim de evitar futuros retrabalhos.
- 6) Verificação de eficácia:** Após a execução dos planos de ação, foi necessário realizar a verificação da eficácia tanto da execução quanto dos resultados a curto prazo que aquelas acarretaram, com o propósito de assegurar se o bloqueio das causas raízes estava devidamente controlado e monitorado, trazendo, assim, uma maior confiabilidade ao processo produtivo e à rotina dos mantenedores responsáveis pela manutenção dos mancais de rolamentos.
- 7) Padronização:** Após garantida a eficácia das ações, foi necessário elaborar procedimentos operacionais padrão (ou revisar alguns já existentes) a fim de garantir a continuidade da estabilidade das atividades de rotina e do processo, garantindo também a gestão das informações do setor. Também foram realizados treinamentos desses novos padrões para as partes envolvidas para que todos ficassem a par desta nova realidade.
- 8) Conclusão:** Finalizando ciclos do projeto, foram realizadas reuniões de acompanhamentos de resultados com o objetivo de mostrar a efetividade do método escolhido e das ações de melhoria que estavam sendo tomadas com o intuito de melhorar e estabilizar o processo. Também foram levantadas oportunidades de se aprofundar em novos projetos relacionados a temas secundários que surgiram como pontos de observação na etapa de análise do problema central deste presente trabalho.

3.3. COLETA DE DADOS

A coleta de dados inicial e a estratificação dos mesmos foi feita utilizando os dados históricos de interrupção do processo entre os anos de 2021 a 2024 e, também,

acompanhando diariamente as ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos e a rotina de manutenção destes elementos durante os meses de fevereiro a agosto de 2024 – período anterior à implementação do método MASP e, também, iniciada uma nova fase contemplando os meses de setembro a novembro de 2024 referente ao período após a implementação do MASP.

Todos os dados e informações importantes referentes às interrupções, aos *checklists* realizados *in loco* e ao acompanhamento de ocorrências em tempo real foram agrupados em uma planilha própria criada pelo autor para tornar mais viável as análises e correlações existentes entre as falhas e ajustar possíveis revisões que viessem a acontecer ao longo do projeto.

Para que esta etapa de coleta de dados fosse realizada de forma objetiva e eficaz, foi necessário a compreensão, o engajamento e o apoio dos principais responsáveis pela atividade de manutenção dos mancais de rolamentos, bem como o auxílio de outros colaboradores que compartilharam suas experiências e se disponibilizaram para ajudar nas ações em diferentes turnos do processo produtivo, garantindo um banco de dados mais robusto e com informações cruciais para o andamento do projeto.

A Figura 7 fornece uma visão macro do funcionamento e das etapas de uma usina *mini mills*. Este tipo de segmento não possui a etapa de redução e refinamento do minério de ferro bruto, utilizando-se majoritariamente da sucata metálica para a obtenção do produto final. Por este motivo, é considerado como um processo sustentável e de custo mais acessível comparado a uma usina integrada (que necessita do beneficiamento do minério de ferro para obter os produtos comerciais finais), além de possuir uma importante vantagem estratégica pelo fato de poderem ser instaladas em zonas mais próximas a grandes centros e perto de fornecedores devido ao fato de não necessitar de maquinário de grandes dimensões comparado aos utilizados numa usina integrada no beneficiamento do minério de ferro.

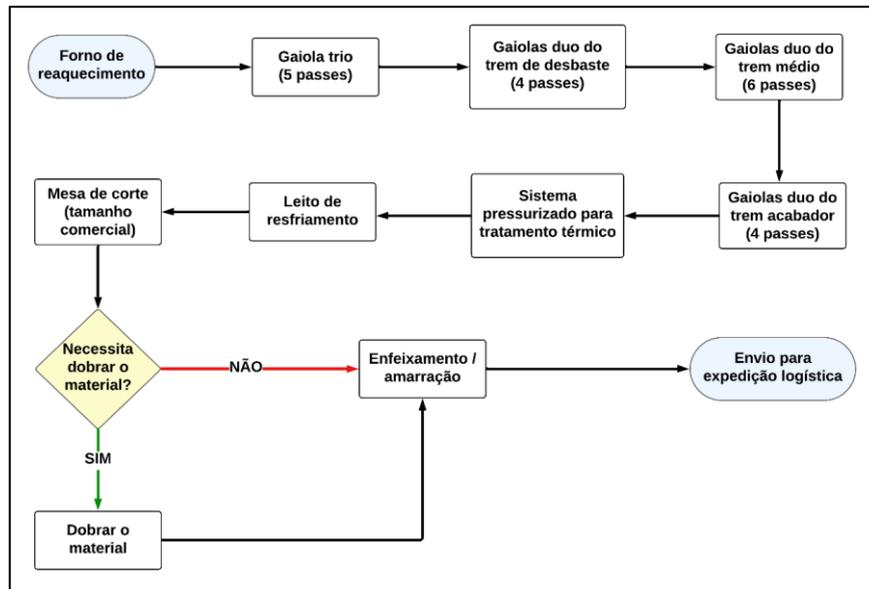
Na unidade industrial de estudo são produzidos tarugos de aço através do processo de lingotamento contínuo, produtos laminados (vergalhões, barras redondas e barras chatas) e produtos trefilados (pregos, arames farpados, tela para colunas, telas soldadas, grampos, treliças, estribos, arame galvanizado e recozidos). Além de gerar emprego e contribuir economicamente na região e no país como um todo, a empresa vai além do mercado do aço e é um importante agente de transformação na sociedade, contribuindo e incentivando projetos voluntários sociais, cuidados com o meio ambiente e trabalhando forte na inclusão e geração de oportunidades para jovens talentos.

4.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO E DO SETOR DE ESTUDO

Neste trabalho, o estudo foi limitado ao processo de laminação, área esta que possui uma vasta gama de equipamentos responsáveis pela conformação mecânica a quente do tarugo de aço para transformá-lo em vergalhões, barras redondas ou em barras chatas. Dentre esses equipamentos, pode-se citar: o forno a gás para reaquecer os tarugos, as mesas basculantes para direcionarem o material para a posição desejada, as gaiolas de laminação contendo os componentes principais e auxiliares responsáveis por dar a forma ao material final (cilindros de laminação, mancais de rolamentos, guias e calhas para direcionar o vergalhão continuamente de uma gaiola para outra), navalhas e tesouras para cortar o material em determinado tamanho desejado, motorreductores, centrais e sistemas de lubrificação e refrigeração, mesas dobradoras, amarradeiras e pontes rolantes para transportar equipamentos e peças pesadas. Todos esses equipamentos estão dispostos ao longo de todo o

processo produtivo e este último pode ser representado de forma resumida pelo fluxograma da Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma resumido do processo produtivo da empresa em questão



Fonte: O autor (2024).

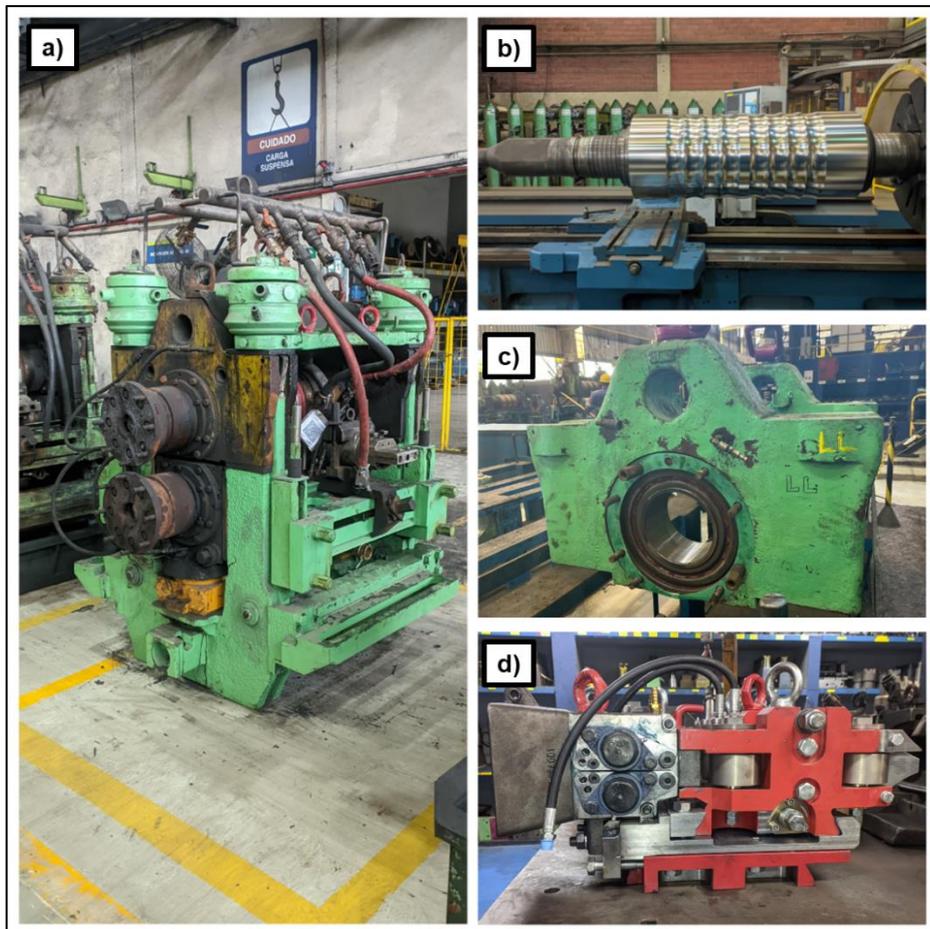
O processo na laminação se inicia no forno de reaquecimento com o aquecimento do tarugo de aço – vindo do processo da aciaria – para que se chegue na temperatura ideal (cerca de 1100 °C) para iniciar o processo de conformação mecânica a quente. Após chegar na temperatura ideal, o tarugo que inicialmente possui uma seção transversal quadrada seguirá o processo de conformação na chamada linha de laminação para obter o produto final desejado.

O tarugo irá passar por 15 gaiolas de laminação, sendo 14 gaiolas duo (contendo 2 cilindros de laminação) e 1 gaiola trio (com três cilindros de laminação), totalizando 19 passes de laminação responsáveis pela alteração da seção transversal e alongamento do tarugo até chegar nas medidas finais desejadas. À medida que o tarugo estiver passando entre os cilindros de uma gaiola de laminação, sua microestrutura estará sendo alterada e refinada para obter um produto final de qualidade e sem defeitos que ponham em risco a integridade mecânica da peça final.

Os principais componentes das gaiolas de laminação (Figura 9a) responsáveis pela conformação mecânica do tarugo ao longo do processo são os cilindros de laminação (Figura 9b) que são usinados para a criação de canais que darão forma ao tarugo quando este passar entre os cilindros superior e inferior de uma gaiola de

laminação; os mancais de rolamentos (Figura 9c) que servirão como apoio para os cilindros de laminação e auxiliarão na rotação dos mesmos; e as diversas guias de laminação (Figura 9d) que como o próprio nome induz servem para guiar a barra na linha de laminação e garantir que a mesma não seja direcionada para fora do espaço entre os canais dos cilindros superiores e inferiores.

Figura 9 – a) gaiola de laminação montada com todos os componentes principais e auxiliares; b) exemplo de um cilindro de laminação com seus canais usinados; c) exemplo de um mancal de rolamentos montado; d) exemplo de guia de laminação



Fonte: O autor (2024).

Tais componentes mostrados na Figura 9 sofrem os esforços diretos da barra em processo e devem ser bem dimensionados e calibrados para suportarem tais cargas ao mesmo passo que garantam sua vida útil adequada. Para isso, é necessário a utilização de equipamentos e sistemas auxiliares para garantir que os componentes principais cumprirão sua devida função. Os principais sistemas e equipamentos auxiliares utilizados são:

- Sistema de regulação sem-fim: componente formado por um parafuso sem-fim e localizado na região inferior do cavalete (estrutura) da gaiola de laminação. Acomoda o cilindro inferior e serve para regular a sua altura, conseqüentemente, alterando a distância entre os cilindros e a abertura de passagem da peça entre eles;
- Sistemas Periféricos: são componentes que não necessariamente fazem parte da conformação mecânica da laminação, mas são cruciais para a qualidade do produto final e, também, garantir a integridade mecânica dos componentes. Alguns exemplos de periféricos são o sistema de refrigeração dos cilindros e das guias, o sistema de lubrificação dos mancais e das guias e o sistema de ar comprimido que também pode ser utilizado na refrigeração;
- Elementos de fixação e apoio: servem para fixar e/ou acomodar os componentes principais. Os principais são os parafusos de fixação em geral, o barrão (elemento que serve de apoio para as guias), taramelas (fixam o barrão na estrutura do cavalete), porcas hidráulicas (realizam o aperto após o fechamento do cavalete para que este não venha a se abrir quando estiver em processo) e as travessas (unem as extremidades posteriores e anteriores dos cavaletes).

Após a barra passar por todas as gaiolas de laminação e já estiver na sua forma geométrica final, ela passará por um sistema de tubos pressurizados com jatos de água e sopradores de ar a fim de realizar um tratamento térmico na mesma. O controle dos parâmetros desse sistema – como o aumento ou redução da vazão de água, tempo de permanência dentro dos tubos e quantidade de injetores utilizados – irão garantir à barra determinadas propriedades mecânicas requeridas na especificação do produto, como por exemplo o aumento da resistência mecânica, melhoria na ductibilidade, tenacidade e dureza, além de reduzir o custo com ligas metálicas e aditivos e reduzir defeitos internos residuais.

Após a etapa de tratamento térmico, as barras seguirão para o leito de resfriamento e passarão um certo período de tempo neste local para seguir o fluxo do processo. Em seguida, as barras irão para a etapa final do processo, onde serão cortadas no tamanho comercial requerido e, em seguida, para a etapa de dobramento (caso seja necessário) e enfeixamento, finalizando o seu ciclo com a etapa de expedição/logística para disponibilizá-la no mercado.

É válido ressaltar que são coletadas amostras do produto final para que se possa realizar os ensaios de dobramento e de tração com o intuito de averiguar os limites de resistência e de escoamento do produto final, bem como a presença de trincas superficiais e deformidades que estejam fora dos limites estabelecidos nas normas técnicas e nas especificações do produto estabelecidas pela empresa ou cliente.

De fato, o processo de laminação a quente é bastante agressivo devido a fatores como temperatura elevada da barra em processo e o esforço elevado necessário para realizar a conformação mecânica, fazendo com que os equipamentos necessitem de um cuidado especial para a operação. No caso em estudo, os equipamentos principais do processo de laminação são de responsabilidade da equipe da oficina de cilindros, composta atualmente por 18 membros e subdivididos em 5 setores: oficina de mancais, oficina de guias, oficina de usinagem, oficina de montagem e oficina de preventiva.

A equipe é responsável pela montagem e desmontagem, inspeção, calibração, preparação e manutenção da maioria dos equipamentos do processo de laminação. Problemas que venham a ocorrer com os equipamentos e gaiolas de laminação irão passar pela vistoria técnica destes profissionais que, em conjunto, realizarão a análise e correção das anomalias para garantir um processo de qualidade e segurança.

Um dos desafios da equipe são as ocorrências relacionadas ao superaquecimento dos mancais de rolamentos das gaiolas de laminação, problema este que pode ser originado por diversas causas ou conjunto de causas e tem um grande impacto para a empresa no que diz respeito à produtividade, competitividade financeira, integridade mecânica dos equipamentos e segurança dos colaboradores. Por isso, dada a complexidade do problema e as proporções negativas que ele pode alcançar caso não seja investigado e solucionado, foi tomado como objeto de estudo deste trabalho como forma de contribuir para a rotina operacional e alavancagem do desempenho produtivo da empresa.

4.3. MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO

Diante das inúmeras ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos e o impacto negativo que estes estavam ocasionando no processo produtivo, no custo operacional da área, nas entregas das atividades de rotina e nos

indicadores de interrupção da oficina de cilindros, tomou-se a iniciativa de aplicar o método de análise e solução de problemas (MASP) para atuar nas causas raízes do problema de forma estruturada e guiada, a fim de obter propostas de melhorias de processo e rotina e ações objetivas em garantir a integridade mecânica dos mancais de rolamentos e a eficiência da produção.

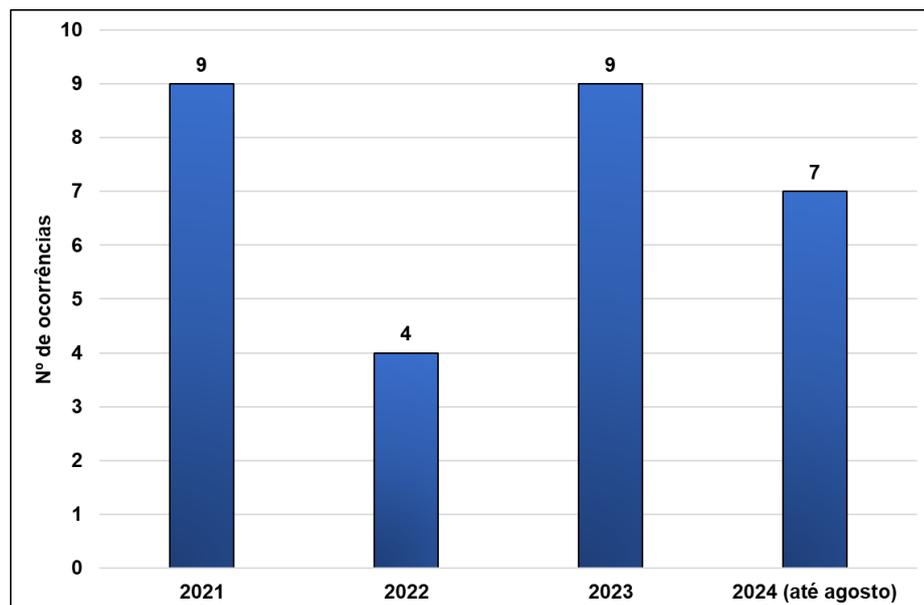
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos em cada uma das oito etapas do MASP, bem como os meios e ferramentas utilizadas para a obtenção dos resultados finais e as correlações e dependência existentes entre as etapas para que, no todo, fosse possível encontrar as soluções para as causas raízes do problema.

5.1. ETAPA 1: IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Inicialmente, foi coletado o histórico de interrupções que houveram no processo decorrente do problema de superaquecimento de mancais de rolamentos a partir da análise do banco de dados interno da empresa. Neste *database* (base de dados), foi possível coletar a descrição de algumas informações, como o local da ocorrência (em qual gaiola de laminação ocorreu), data, tempo de duração, qual produto estava sendo produzido no momento da ocorrência (bitola do material), turno e tipo de material – informações estas valiosas para as análises conseguintes pelo fato de possuírem alguns indicativos de causa primal e correlações entre as falhas. A partir disto, foi possível realizar um comparativo entre os anos de 2021 a 2024 (neste último até o mês de agosto até esta etapa do MASP) conforme mostrado no gráfico da Figura 10.

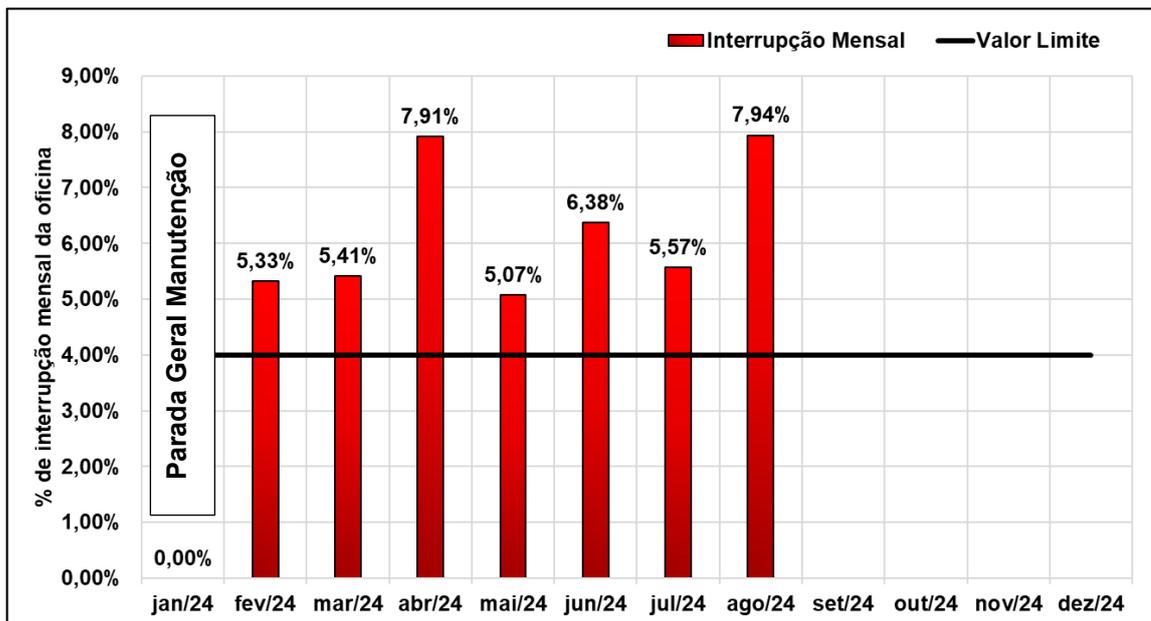
Figura 10 – Comparativo anual do número de ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos



Fonte: O autor (2024).

A Figura 10 fornece uma visão generalista da situação, em que é possível identificar que o ano de 2024 está com uma recorrência alta da anomalia e que, até o mês de agosto, já representa 78% das ocorrências de todo o ano de 2023, indicando uma tendência de crescimento e de se tornar a maior em, pelo menos, 4 anos de histórico no *database* interno. Além disso, o alto tempo de parada nas ocorrências de superaquecimento (em média 3 horas cada) contribuíram significativamente para a alta porcentagem de interrupção do setor da oficina ao longo do ano de 2024, que tinha como valor limite de 4%, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Interrupção operacional da oficina entre os meses de janeiro a agosto de 2024



Fonte: O autor (2024).

Além do aumento da interrupção operacional, consequentemente perda de produção pelo tempo parado, houve, também, o alto custo de retomada de condição básica do equipamento relacionado a aquisição de novos rolamentos e recuperações nos cilindros de laminação, nos mancais e, em alguns casos, na própria estrutura da gaiola, impactando diretamente no aumento do custo operacional da área e diminuindo a competitividade no mercado. Somado a isto, tem-se a presença do risco de segurança ao expor os colaboradores ao perigo em ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos, aumentando a probabilidade de acontecer acidentes de trabalho.

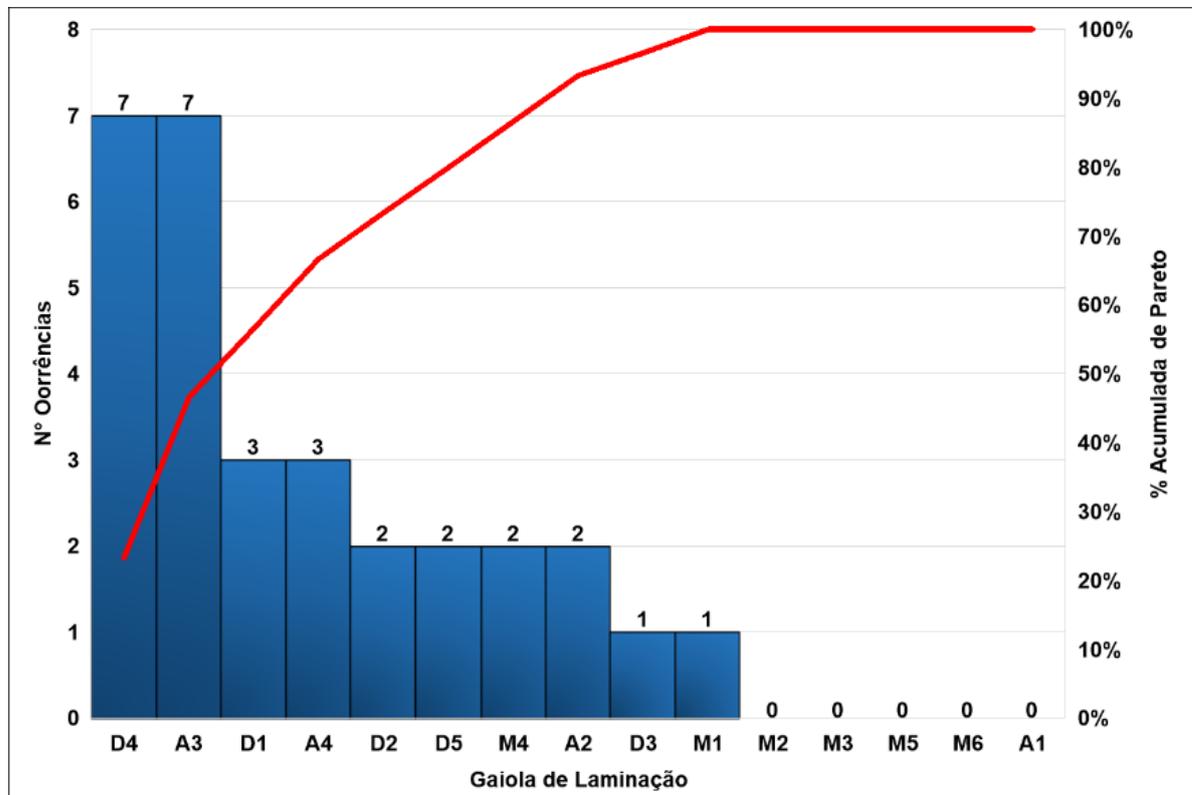
Todos esses fatores supracitados foram cruciais para mostrar a relevância e o impacto deste problema na área como um todo e a sua resolução e/ou mitigação é fundamental para obter uma melhoria no desempenho produtivo da empresa.

5.2. ETAPA 2: OBSERVAÇÃO DO PROBLEMA

Na etapa de observação do problema, foi feita uma estratificação mais detalhada das ocorrências do histórico de interrupções (2021 a 2024) com o intuito de identificar correlações entre as ocorrências ao longo dos anos, além de um acompanhamento *in loco* das ocorrências de 2024 e de oportunidades vistas na rotina das atividades da equipe da oficina que pudessem ter relações com a anomalia.

Inicialmente, foi feita a estratificação das ocorrências de superaquecimento *versus* gaiola de laminação a fim de identificar se havia algum conjunto crítico, conforme o gráfico de Pareto mostrado na Figura 12.

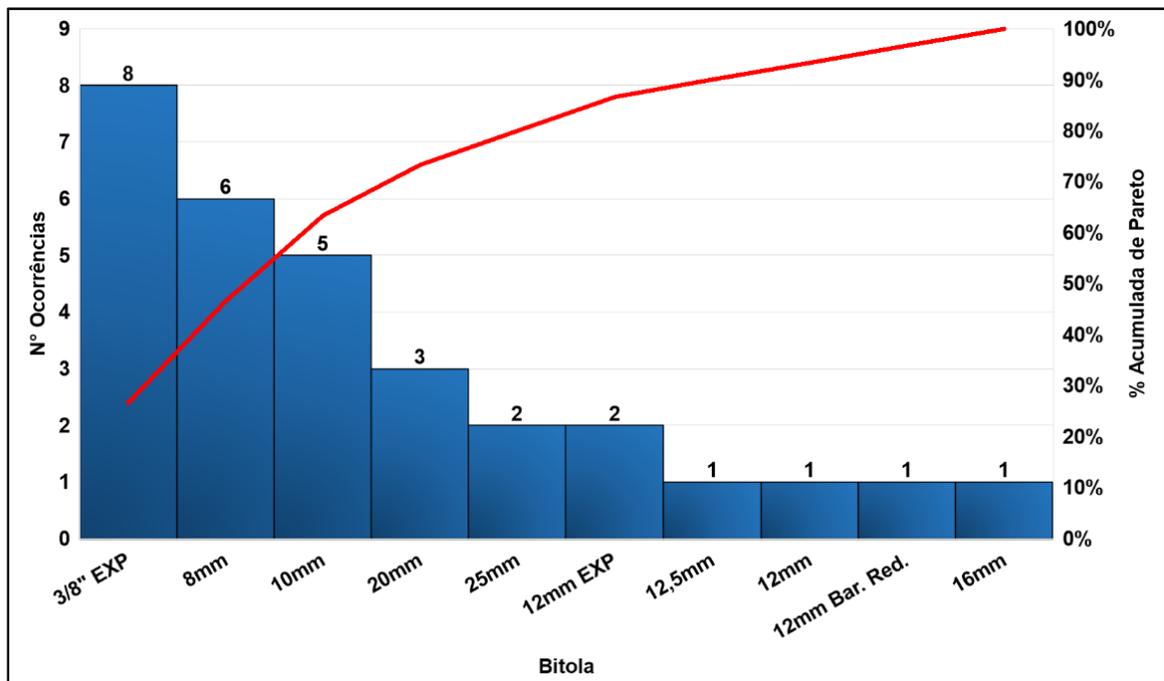
Figura 12 – Gráfico de Pareto das ocorrências de superaquecimento de mancais versus local da ocorrência (2021 a 2024)



Fonte: O autor (2024).

A partir dos resultados vistos na Figura 12, infere-se que as gaiolas de laminação consideradas críticas para o problema estudado são as gaiolas D4 (do trem de desbaste) e A3 (do trem acabador), logo, devem receber um olhar mais atento nas análises a serem realizadas. Em seguida, foi feito o mesmo tipo de análise, mas desta vez considerando o produto que estava sendo produzido (tipo de produto laminado e sua bitola), gerando o gráfico da Figura 13.

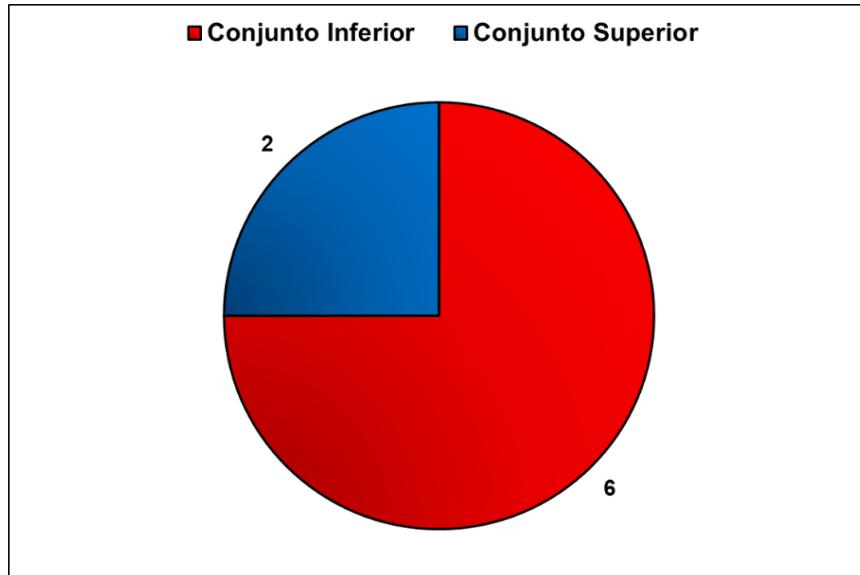
Figura 13 – Gráfico de Pareto das ocorrências de superaquecimento de mancais versus bitola do produto (2021 a 2024)



Fonte: O autor (2024).

É possível visualizar que existe uma maior tendência de ocorrências de superaquecimento de mancais quando está ocorrendo a produção de produtos com bitolas mais finas (em especial as bitolas de 3/8" para exportação, 8mm e 10mm), indicando que alguma variável em comum para este tipo de bitola pode estar ocasionando a anomalia estudada. Considerando as ocorrências do ano de 2024, foi realizada a análise em relação a qual conjunto de mancais (superior ou inferior) se deu a maior concentração de ocorrências de superaquecimento de mancais com o intuito de direcionar ainda mais os esforços de resolução do problema, tendo em vista o alto número de mancais de rolamentos presentes no processo. O resultado desta estratificação pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Número de ocorrências por tipo de conjunto impactado pelo superaquecimento entre os meses de janeiro a agosto de 2024



Fonte: O autor (2024).

Pela Figura 14 fica perceptível que 75% das ocorrências de 2024 se deram nos conjuntos dos mancais inferiores, o que já era de se esperar tendo em vista que estes sofrem mais esforços do processo e são mais prejudicados pela ação de contaminantes, como a água de refrigeração dos cilindros e a carepa (pequenas partículas metálicas que se desprendem da barra no momento de mudança de geometria do processo de laminação). Logo, os conjuntos inferiores também merecem uma dedicação e atenção especial no tratamento da anomalia.

Conforme dito anteriormente, também foram acompanhadas e registradas todas as ocorrências de superaquecimento de mancais do ano de 2024 e as rotinas de manutenção da oficina através de *checklists*, folhas de verificação, fotos, vídeos e analisando algumas variáveis de resposta do sistema (como, por exemplo, a variação da corrente elétrica dos motores das gaiolas no momento do superaquecimento ou no momento da eminência de se iniciar o possível estopim da anomalia). Muitas oportunidades foram listadas e, a partir delas, foi realizado um *brainstorming* com os principais envolvidos do time, desde operadores técnicos ao especialista da área e contando com o auxílio de assistentes e especialistas de outras áreas de manutenção, especialistas no assunto em outras unidades da empresa e consultores externos e fornecedores parceiros. Desse modo, foi possível relacionar os possíveis fatores com

os respectivos níveis de impacto e viabilidade de implementação/resolução de cada um deles perante as evidências históricas e das ocorrências observadas para determinar a priorização das frentes de trabalho que seriam colocadas em prática e analisadas neste primeiro ciclo do MASP, obtendo como resultado o que segue na Tabela 1.

Tabela 1 – *Brainstorming* e priorização das possíveis causas

Possibilidade de causa	Impacto (I)	Viabilidade (V)	Produtório (P = I*V)	Decisão
Falhas na inspeção dos mancais de rolamentos	10	10	100	Fazer agora
Falta de predição das variáveis em processo	10	10	100	Fazer agora
Falhas na montagem da gaiola	10	10	100	Fazer agora
Falhas na montagem dos mancais de rolamentos	10	9	90	Fazer agora
Falhas no procedimento de lubrificação das gaiolas de laminação	9	9	81	Fazer agora
Oportunidades na frequência de manutenção preventiva de algumas gaiolas de laminação	9	9	81	Fazer agora
Deficiência de boas práticas de rotina da equipe da oficina	10	8	80	Fazer agora
Oportunidades na lubrificação (tipo de lubrificante)	8	8	64	Agendar
Deficiência na calibração de algumas bitolas	9	7	63	Agendar
Presença de contaminantes nos mancais de rolamentos	9	6	54	Agendar
Oportunidades no sistema de refrigeração	8	6	48	Delegar
Deficiência no acompanhamento da vida útil dos rolamentos	6	8	48	Delegar
Deficiência no acompanhamento de recuperações dos mancais e histórico de falhas dos mesmos	7	6	42	Delegar
Oportunidades nas condições e parametrizações de variáveis do processo	7	5	35	Delegar

Fonte: O autor (2024).

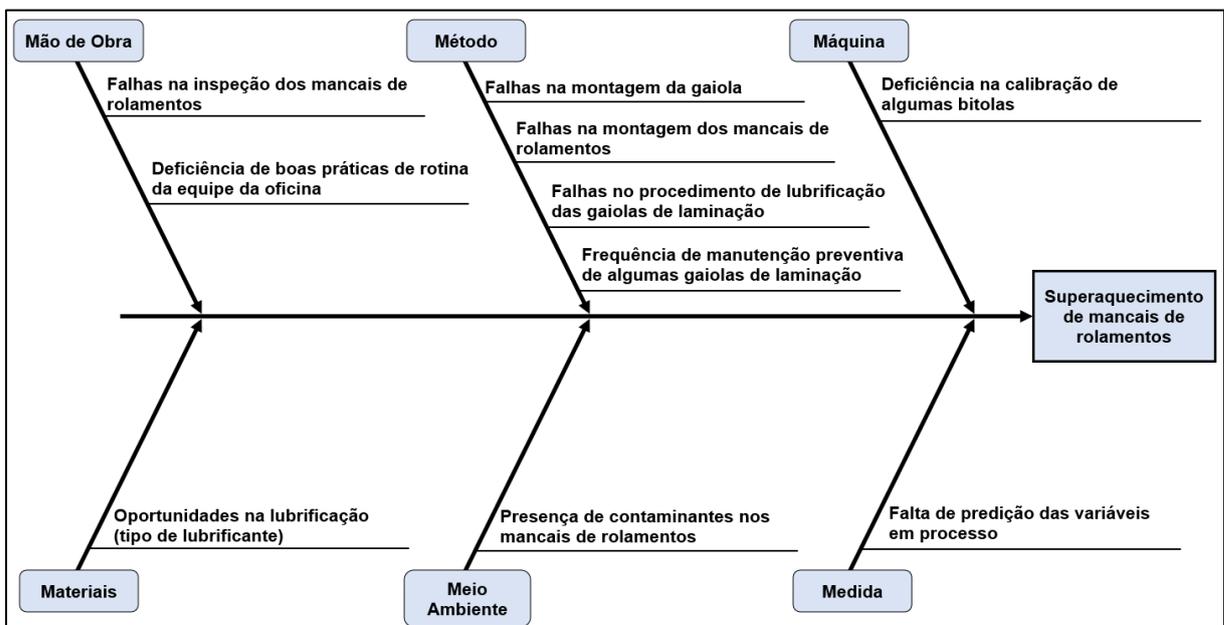
Como sugere a Tabela 1, foram priorizadas as possibilidades de causa que estiverem com o status de “Fazer agora” e “Agendar”, respectivamente, devido ao

nível de significância que representam para o problema em estudo e, conseqüentemente, para o processo como um todo.

5.3. ETAPA 3: ANÁLISE DO PROBLEMA

Para estudar as causas mais prováveis do problema de superaquecimento de mancais de rolamentos, a partir do *brainstorming* realizado, foi construído pelo autor um diagrama de Ishikawa agrupando as causas levantadas em categorias (relacionadas a mão de obra, método, máquina, materiais, meio ambiente e medida). O resultado obtido consta na Figura 15.

Figura 15 – Análise pelo Diagrama de Ishikawa das causas prováveis do problema



Fonte: O autor (2024).

Observa-se pela Figura 15 que as possíveis causas para o efeito de superaquecimento de mancais de rolamentos estão distribuídas em todas as categorias que constituem o diagrama de Ishikawa, mostrando o nível de complexidade do problema e corroborando o fato da importância de se utilizar um método estruturado para a resolução dos problemas.

Em posse da categorização e estratificação obtidas através do diagrama de Ishikawa, utilizou-se a técnica dos 5 porquês para se chegar na causa raiz de cada um dos tópicos listados. A análise detalhada destas causas raízes consta no Apêndice

A deste trabalho, em que é possível visualizar todo o desdobramento dos sintomas até chegar na sua respectiva causa raiz e que necessitam ser tratadas para que se possa atuar de forma efetiva no problema.

5.4. ETAPA 4: DEFINIÇÃO DOS PLANOS DE AÇÃO

Tendo conhecimento das causas raízes das oportunidades identificadas, partiu-se para o planejamento e definição dos planos de ação utilizando como ferramenta de auxílio o *checklist* 5W2H. Nesse *checklist*, foram definidas as ações, bem como os prazos, responsáveis e recursos necessários para a execução das mesmas. Por questões de confidencialidade empresarial e restrições na divulgação de dados sensíveis, algumas informações relacionadas a custos foram omitidas neste trabalho.

A responsabilização principal das ações (seja a execução, o acompanhamento ou a delegação) foi designada para o autor deste trabalho, tendo em vista que o mesmo era o ponto focal da implementação do método MASP, mas é imprescindível ressaltar que houve a colaboração e o comprometimento total de todas as partes envolvidas para que a execução surtisse o efeito esperado. A esquematização dos planos de ação está disponível no Apêndice B deste trabalho.

5.5. ETAPA 5: EXECUÇÃO DOS PLANOS DE AÇÃO

Durante a etapa de execução dos planos de ação, toda evolução era acompanhada, analisada, documentada e discutida com o time a fim de compartilhar aprendizados e dificuldades e redirecionar alguns esforços para ações mais assertivas. Somado a isso, as ações eram discutidas em outros fóruns para além do projeto devido ao impacto que causaria na estabilidade do processo e no custo operacional, por isso, era importante que estivesse mapeada também em outras esferas de discussões da área e da empresa.

A fim de se obter um projeto de grande impacto e que fosse sustentável, sempre que possível foram utilizados recursos internos da empresa como, também, a busca de parcerias com fornecedores a fim de reduzir os custos da implementação e agregar mais valor ao mesmo.

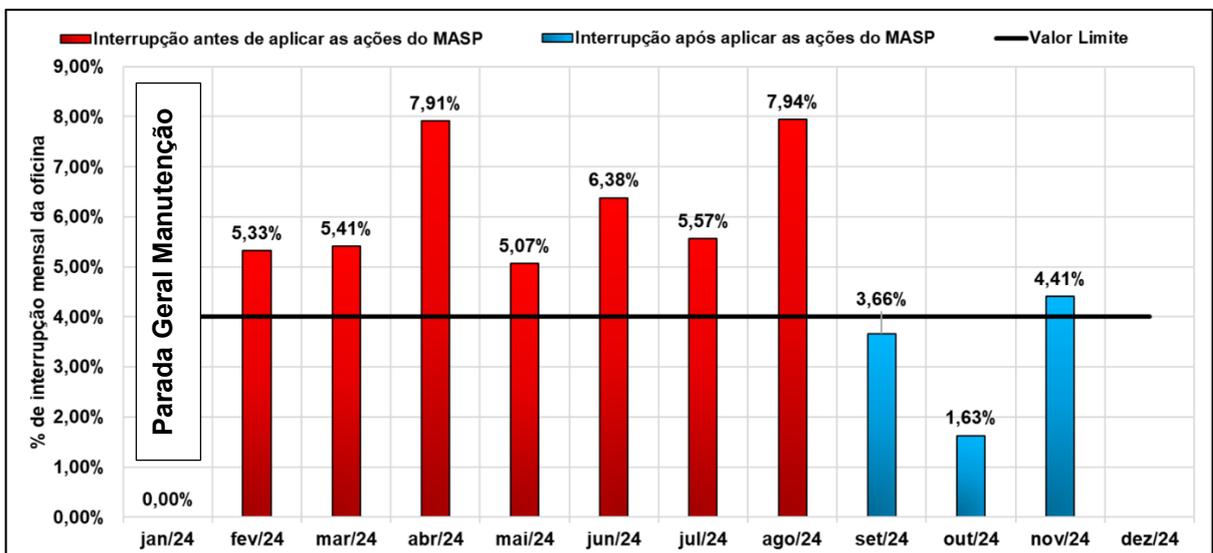
De modo geral, as ações foram bem recepcionadas pelo time e evoluíram bem, desde a etapa de implementação até a etapa de amadurecimento. Algumas delas

geraram aprendizados que antes não eram discutidos e surgiram como oportunidade de projetos futuros para o aperfeiçoamento do tema e melhoria da estabilidade do processo. Algumas outras ações, apesar de terem sido implementadas, precisam de revisões ao longo do tempo devido ao acompanhamento contínuo do processo relacionando com diferentes parâmetros e de disponibilidade de recursos.

5.6. ETAPA 6: VERIFICAÇÃO DE EFICÁCIA

Um indicativo da assertividade das análises e das ações propostas para o projeto era a expectativa de que, com a implementação das ações iria ser possível perceber uma estabilidade considerável no processo, bem como a diminuição ou eliminação das ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos. A Figura 16 mostra diferença da porcentagem de interrupção ocasionada pela oficina de cilindros no período a jusante e a montante do início da implementação das ações, estas últimas iniciando no mês de setembro de 2024.

Figura 16 – Comparativo da interrupção da oficina de cilindros antes e depois da implementação das ações do MASP



Fonte: O autor (2024).

É notável a diminuição do patamar da interrupção ocasionada pela oficina de cilindros após a implementação do MASP, destoando do ritmo padrão obtido ao longo de todo o resto do ano e, inclusive, chegando próximo ao valor recorde de interrupção do setor (recorde = 1,35%), mostrando que as ações foram, de fato, efetivas na

mitigação do problema. Vale ressaltar que, apesar de não haver nenhuma ocorrência de superaquecimento de mancais de rolamentos no mês de novembro, o valor neste mês ultrapassou o limite devido a uma causa especial no processo que demandou um tempo considerável para o condicionamento do mesmo (excluindo esta causa especial, o valor da interrupção da oficina no mês de novembro seria próximo a 3,71%). Além disso, outras consequências intrínsecas foram obtidas com a implementação das ações, como por exemplo o amadurecimento do time em relação às análises das falhas, possibilidade de acompanhamento remoto e em tempo real das variáveis de vibração e temperatura dos mancais e atualizações de práticas obsoletas que não condiziam mais com a realidade atual.

5.7. ETAPA 7: PADRONIZAÇÃO

Para o manutenção da boa performance obtida pela equipe nos meses posteriores à implementação do MASP, é crucial a atualização dos padrões operacionais contemplando todas as melhorias e modificações feitas nas rotinas e na forma de fazer determinadas atividades. Também é importante manter a realização das auditorias de padrão com os colaboradores, a fim de gerar revisões nos procedimentos e preservar o senso de melhoria contínua.

Além disso, foi levantada a necessidade de criação de alguns padrões e *checklists* para auxiliar a análise em caso de ocorrências futuras relacionadas a superaquecimento de mancais de rolamentos para que, com isso, as etapas iniciais do MASP sejam feitas de forma mais objetiva, direcionada e rápida com os pontos que possivelmente serão fortes candidatos a serem os causadores dos problemas que venham a ocorrer.

5.8. ETAPA 8: CONCLUSÃO

Após a finalização das ações principais do MASP, foram realizadas reuniões de acompanhamento dos resultados bem como apresentação das etapas do projeto com o intuito de mostrar a efetividade do método estruturado e das ações de melhorias propostas pelas partes envolvidas.

Além disso, também foram listadas e levantadas outras oportunidades de novos projetos que, de certa forma, tiveram relação com este que foi produzido ou que

surgiram como oportunidade de atuação secundária no momento da implementação das ações deste trabalho (ou como ponto de dificuldade para a implementação da ação proposta no MASP).

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi utilizado o MASP como procedimento metodológico de análise e resolução de problemas para nortear o autor acerca da recorrência de superaquecimento de mancais de rolamentos no processo de laminação de uma empresa siderúrgica. Somado a isto, em auxílio ao método, foram utilizadas diversas ferramentas da qualidade que contribuíram para as entregas das etapas do MASP e que, juntas, possibilitaram a entrega completa do projeto de forma eficiente e resolutiva.

De fato, foi possível perceber a importância da utilização de um método estruturado de resolução de problemas para destrinchar melhor uma situação que, inicialmente, pode parecer complexa e impossível de ser resolvida, mas que ao avançar nas etapas do MASP vai se tornando cada vez mais palpável, flexível e fragmentada em ações de menor escala, mas que geram um impacto significativo no todo.

6.1. CONTRIBUIÇÕES

Sumariamente, o estudo de caso proporcionou a vivência prática da aplicação de um método de resolução de problemas que, de modo geral, estava restrito apenas ao campo teórico com os aprendizados obtidos em sala de aula. Somado a isso, foi possível expandir o conhecimento prático relacionado tanto ao MASP quanto em relação aos sistemas e equipamentos envolvidos no trabalho, ampliando a experiência e o conhecimento próprio e da equipe.

O projeto foi bem visto e recepcionado na área e, conseqüentemente, na empresa como um todo, pois as ações de melhoria realizadas contribuíram significativamente para a redução e mitigação das ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos, como também proporcionaram benefícios expressivos relacionados a diminuição dos custos operacionais, aumento da eficiência geral do processo e a melhoria da qualidade do produto final, além de propiciar um impacto significativo na redução da interrupção operacional da área – fazendo com que ficasse dentro da meta pela primeira vez no ano.

Além disso, o trabalho evidenciou a importância da integração entre o conhecimento teórico adquirido durante a graduação e sua aplicação prática no

ambiente industrial, confirmando a relevância de metodologias estruturadas na resolução de problemas complexos na indústria, conforme defendido por Ribeiro e Silva (2019).

No tocante do contexto da sustentabilidade, o estudo apresentou contribuições importantes para o cumprimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente no que tange ao ODS 9, que incentiva a inovação e o desenvolvimento industrial sustentável ao utilizar recursos e dispositivos mais tecnológicos para auxílio nas análises e acompanhamento das variáveis do processo (como foi o caso na utilização dos sensores de vibração e temperatura, por exemplo), e ao ODS 12, que visa a redução do desperdício e o uso eficiente de recursos, ao utilizar, por exemplo, recursos internos e parcerias na execução das ações e redução de desperdícios traduzidas pelos próprios resultados do projeto e alavancagem da eficiência e produtividade da área.

Assim, este trabalho não só cumpre seus objetivos de melhoria no processo industrial, como também apresenta relevância acadêmica e social, ao vincular práticas de melhoria contínua com a sustentabilidade e inovação no setor industrial.

6.2. LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Ao longo da execução do trabalho foram encontradas algumas dificuldades e limitações que influenciaram em algumas tomadas de decisões (e algumas delas impactaram no tempo de permanência em determinada etapa do MASP). Dentre elas, pode-se citar a falta de registros mais completos referentes às ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos ou o registro com informações superficiais e generalistas, o que atrasou um pouco as análises e celeridade na aplicação das ações, o que poderia ter evitado alguns problemas e ocorrências do problema caso os dados estivessem todos completos.

Apesar do comprometimento do time, houveram algumas dificuldades relacionadas ao tempo de execução de algumas das ações devido a conciliação com outras atividades de rotina e falta de conhecimento técnico imediato, tendo que começar da base em alguns casos e iniciar a ação posteriormente.

Também, um dos desafios encontrados foi em relação ao investimento necessário para a aplicação de algumas ações devido o custo operacional da área já estar bastante comprometido com outras ações e projetos paralelos, o que fez com

que fosse necessário tomar caminhos alternativos para se chegar ao mesmo objetivo, porém de forma mais trabalhosa e dificultosa.

Apesar disso, durante a implementação deste presente projeto, surgiram oportunidades e ideias de projetos futuros que não só impactariam no problema de superaquecimento como também em outros problemas crônicos da área. Dentre as oportunidades, pode-se citar como as principais:

- Acompanhamento remoto da vida útil dos rolamentos a partir do quanto já rodaram nas gaiolas de laminação;
- Frequência das auditorias dos padrões modificados e criados a fim de identificar novas oportunidades;
- Criar padrão de passo a passo de solução de problemas a partir dos dados de superaquecimento de mancais;
- Robustecer e replicar o acompanhamento remoto de temperatura dos mancais de rolamentos e vibração das gaiolas de laminação;
- Projeto de melhorias no sistema de vedação dos mancais de rolamentos;
- Investimento para realização de *retrofit* (atualização) de componentes a fim de torná-los compatíveis com os itens comerciais atuais;
- Estudo de implementação da metodologia de troca rápida de ferramentas a fim de otimizar a rotina operacional;
- Estudo de viabilidade de replicação da metodologia empregada neste projeto em outras oportunidades e ações de melhorias, difundindo o conhecimento teórico-prático e a inovação no ramo industrial, alinhado às ODSs supracitadas.

REFERÊNCIAS

BRESCIANI FILHO, Ettore; et al. **Conformação Plástica dos Metais**. 6ª ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2011.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. Elementos de máquinas de Shigley. In: BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Mancais de rolamento**. 10ª ed. Porto Alegre: Editora AMGH, 2016. p. 552-598.

CAMPOS, Vicente Falconi. **O Verdadeiro Poder**. 5ª ed. Nova Lima: Editora Falconi, 2009.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da Qualidade Total – No estilo japonês**. 9. ed. Nova Lima: Editora Falconi, 2014. 286 p.

CARPINETTI, Luiz C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CARVALHO, Pedro Carlos de. **O programa 5S e a qualidade total**. 5. ed. São Paulo: Alínea, 2011.

CÉSAR, Francisco I. Giocondo. **Ferramentas básicas da qualidade**. 1ª ed. São Paulo: Editora Biblioteca24horas, 2011.

COLLINS, Jack A.; BUSBY, Henry R.; STAAB, George H. Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção da falha. In: COLLINS, Jack A.; BUSBY, Henry R.; STAAB, George H. **Utilizações e características de mancais de rolamento**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2019. p. 856-918.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.

COVEY, Stephen R. MERRILL, Rebecca R. MERRILL, A. Roger. **Primeiro o mais importante**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Sextante, 2017.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 5ª ed. Porto Alegre: Editora Penso, 2021. 398 p.

CROSBY, Philip B. **Quality is Free: Making Quality Certain in Uncertain Times**. 1ª ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

CRUZ, Larissa Aparecida Oliveira da; STANZANI, Amélia Lorena. O MASP COMO FERRAMENTA DE MELHORIA NO PROCESSO PRODUTIVO. **Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, v. 5, n. 1, 2021.

DE GODOIS, Lucas Acquaviva Carrano; et al. Análise de falhas de um equipamento industrial pelo emprego das ferramentas da qualidade com foco nos métodos MASP e PDCA. In: **Congresso Anual da ABM**, 73., 2018, São Paulo.

DEMO, Pedro. **Praticar ciência: metodologias do conhecimento científico**. 1. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2011. 208 p.

ESTEVES, Rodrigo. **O Brainstorm eficaz: como gerar ideias com mais eficiência**. 1ª ed. São Paulo: Dash Editora, 2017.

FEIGENBAUM, Armand. V. **Controle da Qualidade Total**. 3ª ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

FONTANA, Marcele E. **Fundamentos da Gestão da Produção e Operações: Estratégias para o Sucesso Empresarial**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2024. 300 p.

GERDAU S.A. **Siderurgia: rotas na produção do aço**. Disponível em: <<https://voce.mais.gerdau.com.br/automotivo/siderurgia-rotas-na-producao-do-aco>>. Acesso em: 01 nov. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2017. 129 p.

GOETSCH, D. L.; DAVIS, S. B. **Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality**. 7. ed. Boston: Pearson, 2014.

Grupo SKF. **Catálogo de rolamentos de esferas**. Gotemburgo: Grupo SKF, 2015. Disponível em: <<https://catalogos.abecom.com.br/catalogos-skf/1-Catalogo-Geral-Rolamentos.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

Grupo SKF. **Catálogo de análise de danos e falhas em rolamentos**. Gotemburgo: Grupo SKF, 2017. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/bearing-failure-and-how-to-prevent-it>>. Acesso em 30 nov. 2024.

HELMAN, Horácio; CETLIN, Paulo Roberto. Laminação. In: HELMAN, Horácio; CETLIN, Paulo Roberto. **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**. 2ª ed. São Paulo: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni; Artliber Editora LTDA, 2015. p. 193-260.

LEITE, Jussara F.; FRANCO, Luciano J. V. Gestão da manutenção industrial e mineração. In: LEITE, Jussara F.; FRANCO, Luciano J. V. **Manutenção em mancais de laminação de perfis estruturais**. 1ª ed. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2022. p. 45-57.

LUCINDA, Marco Antônio. **Qualidade: fundamentos e práticas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Bradsport, 2010.

MEIRELES, Manuel. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. 1ª ed. São Paulo: Arte e Ciência, 2001.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Perfil do Aço: Relatório Técnico 58**. Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia - ESTAL. Brasília: MME, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/relatorios-de-apoio-ao-pnm-2030-projeto-estal-1/a-transformacao-mineral-no-brasil/documentos/p32_rt58_perfil_do_axo.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2024.

NORTON, Robert L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. In: NORTON, Robert L. **Mancais de rolamento e lubrificação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013. p. 623-680.

NSK Brasil. **Catálogo de rolamentos**. São Paulo: NSK Brasil, 2013. Disponível em: <https://www.nsk.com.br/uploads/Catalogo_Geral_Novo_Portugues.pdf>. Acesso em: 04 out. 2024.

OAKLAND, J. S. **Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases**. 4. ed. London: Routledge, 2014.

OLIVEIRA, J. Z. N; TOLEDO, J. C. Metodologia de análise e solução de problemas (MASP): estudo de caso em uma empresa de pequeno porte do setor eletroeletrônico. **XV SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção**, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 objetivos para transformar o mundo**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 28 set. 2024.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013. 277 p.

RIBEIRO, Carlos A.; SILVA, Mariana P. **Metodologias de Solução de Problemas em Ambientes Industriais: Uma Abordagem Prática**. São Paulo: Editora Técnica, 2019.

RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Processos de laminação dos aços: uma introdução**. 1ª ed. São Paulo: Coleção de livros ABM, 2007. 254 p.

SANMARTIN, Stela Maris. **Criatividade e inovação na empresa: do potencial à ação criadora**. 1ª ed. São Paulo: Trevisan Editora, 2014.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. Curitiba: Interfaces, 2012.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Manual de ferramentas da qualidade**. Brasília: SEBRAE, 2005. Disponível em: <<https://www.studocu.com/pt-br/document/escola-particular-do-instituto-santa-maria/ferramentas-da-qualidades/sebrae-2005-ferr-da-qualidade/93185480>>. Acesso em: 01 nov. 2024.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2018.

The Timken Company. **Catálogo de análise de falhas em rolamentos**. Ohio: *The Timken Company*, 2019. Disponível em: <https://www.timken.com/resources/rolamento-analises-de-dano_impresao_7352/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

TOLEDO, José Carlos de.; et al. **Qualidade: gestão e métodos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

VALLE, José Angelo. **40 Ferramentas e técnicas de gerenciamento**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2013.

VERGUEIRO, Waldomiro. **Qualidade em serviços de informação**. 1ª ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2002. 124 p.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. 4. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995. 111 p.

APÊNDICE A – ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES

Efeito: Superaquecimento de mancais de rolamentos				
Por que?	Por que?	Por que?	Por que?	Por que?
Falhas na inspeção dos mancais de rolamentos	Rolamentos voltavam para o processo com algum tipo de falha pré-existente	Rolamentos não eram detalhadamente analisados na inspeção	Causa raiz: falta de conhecimento técnico voltado para análise de falhas em rolamentos.	--
Falta de predição das variáveis em processo	Não há um acompanhamento remoto das variáveis em tempo real	Causa raiz: não há utilização de sensores de monitoramento do processo.	--	--
Falhas na montagem da gaiola	Interferências nos mancais evidenciadas nas ocorrências de es quente	Mancais desalinhados em relação ao eixo de rotação dos cilindros	Causa raiz: não há padrão de alinhamento e check de posição dos mancais após a montagem da gaiola.	--
Falhas na montagem dos mancais de rolamentos	Evidenciada uma concentração de ocorrências nos mancais inferiores	Mancais inferiores sem paralelismo entre as suas faces internas	Tirantes de ligação entre os mancais inferiores com empeno que impacta no alinhamento entre eles	Causa raiz: falta de medição entre mancais para verificar desalinhamentos e falta de check de alinhamento entre estes.

APÊNDICE A – ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES (CONTINUAÇÃO)

Efeito: Superaquecimento de mancais de rolamentos				
Por que?	Por que?	Por que?	Por que?	Por que?
Falhas no procedimento de lubrificação das gaiolas de laminação	Gaiolas retornando para o processo com graxa contaminada ou seca (alto teor de sabão metálico)	Descontinuidade da atividade de relubrificação manual das gaiolas reservas	Causa raiz: falta de planejamento e responsável para realizar a atividade.	--
Oportunidades na frequência de manutenção preventiva de algumas gaiolas de laminação	No trem de desbaste é feita apenas inspeção visual superficial e corretivas com a gaiola ainda montada no laminador	Gaiolas passam tempo elevado no processo devido à alta vida útil dos canais dos cilindros	Causa raiz: falta de planejamento de rotatividade de troca das gaiolas do trem de desbaste para realizar a manutenção preventiva mais robusta.	--
Deficiência de boas práticas de rotina da equipe da oficina	Técnicos ficam a par das anomalias de forma reativa, após o acontecimento.	Falta de envolvimento dos técnicos com a rotina e situação do processo no laminador.	Causa raiz: não há rota de inspeção do técnico de mancais para verificar oportunidades nos mancais em processo.	--
Oportunidades na lubrificação (tipo de lubrificante)	Lubrificante utilizado é facilmente contaminado	Não é o lubrificante ideal para atender o processo da unidade	Causa raiz: lubrificante utilizado não é apropriado para o ambiente agressivo.	--

APÊNDICE A – ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES (CONTINUAÇÃO)

Efeito: Superaquecimento de mancais de rolamentos				
Por que?	Por que?	Por que?	Por que?	Por que?
Deficiência na calibração de algumas bitolas	Cilindros de laminação da gaiola A3 se tangenciam na produção do 3/8" EXP	Distância entre os cilindros não compensam a cedagem ao passar a barra	Necessidade alta de redução de massa e seção transversal nessa gaiola	Causa raiz: não há distribuição equilibrada de reduções de massa entre as outras gaiolas.
Presença de contaminantes nos mancais de rolamentos	Água e carepa do processo adentram nos mancais	Falha na vedação dos mancais	Causa raiz: mancais não possuem retentores apropriados.	--

APÊNDICE B – PLANEJAMENTO DOS PLANOS DE AÇÃO

Projeto: redução de ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos						
<i>What?</i> (O que?)	<i>Why?</i> (Por que?)	<i>Where?</i> (Onde?)	<i>When?</i> (Quando?)	<i>Who?</i> (Quem?)	<i>How?</i> (Como?)	<i>How Much?</i> (Quanto?)
Realizar treinamento técnico para o time sobre análise de falhas em rolamentos	Capacitar o time para robustecer as análises das anomalias	Oficina de cilindros	09/09/2024	Adeilton + Fornecedor parceiro	Repassar conteúdo teórico e análise prática de rolamentos com defeitos	R\$ 0,00 (Parceria com fornecedor)
Instalação de sensores para monitorar as gaiolas críticas	Ser capaz de acompanhar preditivamente as variáveis do processo e condições dos mancais	Laminador	23/09/2024	Adeilton + Técnicos da oficina + Fornecedor parceiro	Acoplar sensores nas gaiolas críticas para medição em processo	Dados sensíveis; sem divulgação de valores
Atualização dos padrões de montagem de gaiolas e treinar equipe	Contemplar nos padrões a garantia do alinhamento dos mancais após a montagem da gaiola	Oficina de cilindros	11/09/2024	Adeilton + Técnicos da oficina + Líder da oficina	Detalhar como fazer a atividade no padrão operacional e treinar a equipe em seguida	R\$ 0,00
Atualização dos padrões de montagem de mancais e treinar equipe	Contemplar no padrão a verificação do alinhamento entre os mancais	Oficina de cilindros	03/10/2024	Adeilton + Técnicos da oficina + Líder da oficina	Detalhar como fazer a atividade no padrão operacional e treinar a equipe em seguida	R\$ 0,00

APÊNDICE B – PLANEJAMENTO DOS PLANOS DE AÇÃO (CONTINUAÇÃO)

Projeto: redução de ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos						
<i>What?</i> (O que?)	<i>Why?</i> (Por que?)	<i>Where?</i> (Onde?)	<i>When?</i> (Quando?)	<i>Who?</i> (Quem?)	<i>How?</i> (Como?)	<i>How Much?</i> (Quanto?)
Retomar programação de relubrificação manual dos mancais	Importante para garantir a integridade e efetividade dos mancais quando estes retornarem para o laminador	Oficina de cilindros	04/11/2024	Adeilton + Planejador da oficina	Distribuir a atividade entre os membros da equipe ao longo da programação semanal	Dados sensíveis; sem divulgação de valores
Planejar e padronizar troca das gaiolas do desbaste para realizar manutenção preventiva	Retomada das condições básicas de rotina de manutenção preventiva no desbaste	Oficina de cilindros	04/09/2024	Adeilton + Planejador da oficina + Líder da oficina	Atualizar no sistema e no padrão o momento de troca de cada gaiola do desbaste	Dados sensíveis; sem divulgação de valores
Estabelecer rota de inspeção dos técnicos da oficina de mancais	Integração do time de mancais com o processo para identificar ações de forma proativa	Oficina de cilindros	09/10/2024	Adeilton + Planejador da oficina + Líder da oficina	Contemplar atividade na programação semanal dos integrantes da oficina de mancais	R\$ 0,00
Realizar teste com nova graxa mais adequada para os mancais	Utilizar graxa mais resistente para suportar ainda mais as variáveis do processo e contaminações	Oficina de cilindros	10/09/2024	Adeilton + Técnicos da oficina + Líder da oficina	Utilizar graxa na lubrificação no momento da montagem dos mancais	Dados sensíveis; sem divulgação de valores

APÊNDICE B – PLANEJAMENTO DOS PLANOS DE AÇÃO (CONTINUAÇÃO)

Projeto: redução de ocorrências de superaquecimento de mancais de rolamentos						
<i>What?</i> (O que?)	<i>Why?</i> (Por que?)	<i>Where?</i> (Onde?)	<i>When?</i> (Quando?)	<i>Who?</i> (Quem?)	<i>How?</i> (Como?)	<i>How Much?</i> (Quanto?)
Revisar calibração das gaiolas para a produção do 3/8" EXP	Diminuir os esforços nas gaiolas do trem acabador através da distribuição das reduções de massa ao longo do laminador	Oficina de cilindros + Laminador	02/09/2024	Adeilton + Especialista da área + Técnicos da laminação	Recalcular a calibração das gaiolas para equilibrar a distribuição das reduções de massa	R\$ 0,00
Realizar teste de retentores mais eficientes para os mancais de rolamentos	Auxiliar na contenção da graxa e evitar a contaminação da mesma por água e carepa do processo	Oficina de cilindros	25/09/2024	Adeilton + Técnicos da oficina + Líder da oficina	Instalar os novos retentores específicos para os mancais utilizados e acompanhar o desempenho em processo	Dados sensíveis; sem divulgação de valores