

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**GESTÃO DA PERFORMANCE DE ATIVOS NA
MANUTENÇÃO MECÂNICA INDUSTRIAL**

**O impacto das melhorias nos processos de montagem
mecânica de um componente crítico do processo de
laminação nos indicadores da manutenção**

**Rafael Costa Mangabeira
José Ernandes Bastos Pires**

**Pindamonhangaba - SP
2023**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

GESTÃO DA PERFORMANCE DE ATIVOS NA MANUTENÇÃO MECÂNICA INDUSTRIAL

**O impacto das melhorias nos processos de montagem
mecânica de um componente crítico do processo de
laminação nos indicadores da manutenção**

Rafael Costa Mangabeira

José Ernandes Bastos Pires

Projeto de monografia apresentada à
Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba para graduação, no Curso
Superior de Tecnologia em Manutenção
Industrial.

Orientadora: Prof.a Ma. Lúcia de Almeida
Ribeiro

**Pindamonhangaba - SP
2023**

:

M277g Mangabeira, Rafael Costa.
Gestão da Performance de Ativos na Manutenção Mecânica Industrial:
O impacto das melhorias nos processos de montagem mecânica de um
componente crítico do processo de laminação nos indicadores da
manutenção/ Rafael Costa Mangabeira; José Ernandes Bastos Pires /
FATEC Pindamonhangaba, 2023.
49f.; il.

Orientadora: Professora Me. Lucia de Almeida Ribeiro
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba. 2023

1. Manutenção Industrial. 2. Gestão da Performance de Ativos.
3. Indicadores de Desempenho da Manutenção. 4. Manutenção Mecânica.
5. Equipamentos Crítico. I. Mangabeira, Rafael Costa. II. Pires, José
Ernandes Bastos. III. Ribeiro, Lucia de Almeida. IV. Título.

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

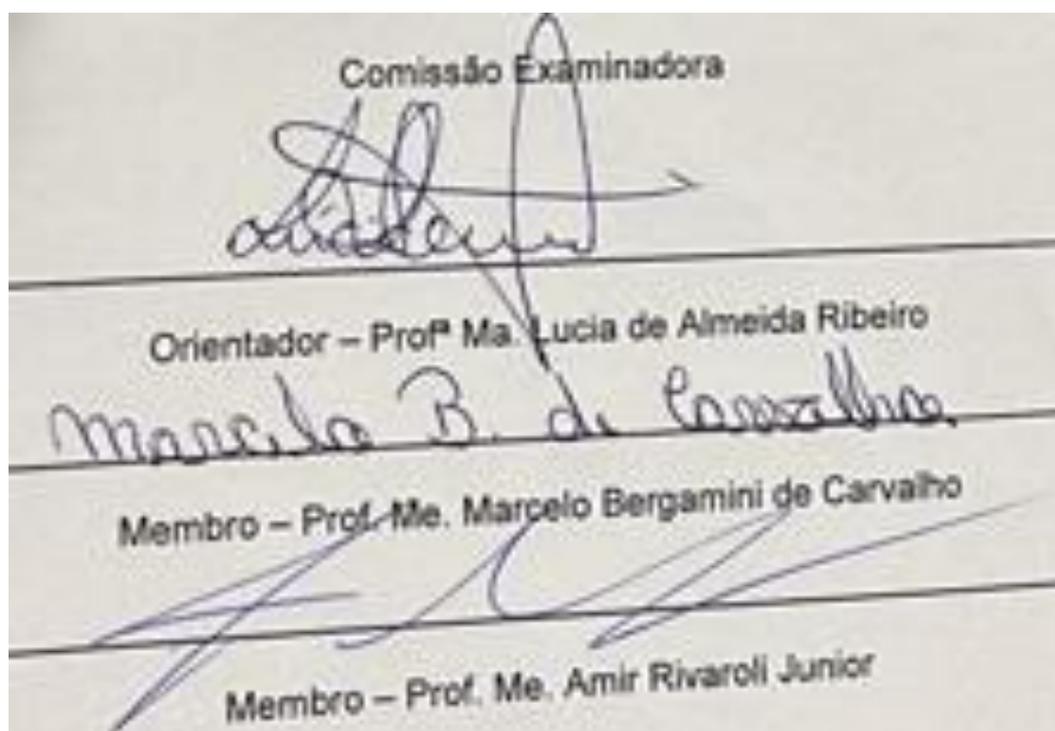
GESTÃO DA PERFORMANCE DE ATIVOS NA MANUTENÇÃO MECÂNICA INDUSTRIAL

O impacto das melhorias nos processos de montagem
mecânica de um componente crítico do processo de
laminação nos indicadores da manutenção

Rafael Costa Mangabeira

José Ernandes Bastos Pires

Monografia apresentada à Faculdade
de Tecnologia de Pindamonhangaba
para graduação, no Curso Superior de
Tecnologia em Manutenção Industrial.



Pindamonhangaba, 26 de Junho de 2023.

DEDICATÓRIA

ALUNO 1

A minha família e amigos que ajudaram a concretizar mais este trabalho, em especial que encerra um importante projeto em minha vida, a professora e amiga Ma. Lúcia de Almeida Ribeiro.

ALUNO 2

A minha família e amigos que ajudaram a concretizar mais este trabalho que encerra um importante projeto em minha vida, em especial, a professora e amiga Ma. Lúcia de Almeida Ribeiro.

AGRADECIMENTO

ALUNO 1

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir concluir mais essa etapa e alcançar esse importante passo na minha vida profissional e acadêmica.

A minha família por estarem sempre ao meu lado e acreditarem nos meus sonhos.

Aos meus professores por disponibilizarem seus conhecimentos que me orientaram ao longo do curso e direcionaram para a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas e demais funcionários da faculdade pelo apoio na minha formação e na construção dos meus conhecimentos ao longo do curso.

ALUNO 2

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir concluir mais essa etapa e alcançar esse importante passo na minha vida profissional e acadêmica.

A minha família por estarem sempre ao meu lado e acreditarem nos meus sonhos.

Aos meus professores por disponibilizarem seus conhecimentos que me orientaram ao longo do curso e direcionaram para a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas e demais funcionários da faculdade pelo apoio na minha formação e na construção dos meus conhecimentos ao longo do curso.

“Nós somos o que fazemos repetidas vezes.
Portanto, a excelência não é um ato, mais um
hábito.”

Aristóteles

MANGABEIRA, R. C. PIRES, J. E. B. **Gestão da Performance de Ativos na Manutenção Mecânica Industrial**: O impacto das melhorias nos processos de montagem mecânica de um componente crítico do processo de laminação nos indicadores da manutenção. 2023. 49p. Trabalho de Graduação (Curso de Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2023.

RESUMO

Este trabalho abordou a Gestão da Performance de Ativos, que é a evolução da gestão da manutenção focada não só em manter e/ou restabelecimento do funcionamento adequado e seguro dos equipamentos, máquinas e instalações no setor industrial, mas também, em ações estratégicas para garantir a maximização do desempenho e efetividade dos ativos que compõem o sistema produtivo. Desta forma, delimitou-se a discorrer sobre os impactos de melhorias em equipamentos críticos, promovidas pela manutenção mecânica, nos principais indicadores de desempenho da manutenção. Para tanto, o objetivo principal foi desenvolver um projeto de melhoria para adequação das especificações e dos processos de montagem mecânica de um componente crítico (buchas do cilindro) do equipamento de laminação visando aumentar os principais indicadores da manutenção industrial. A metodologia aplicada conta com os procedimentos de pesquisa bibliográfica e um estudo de caso, utilizado para verificação do impacto de melhorias nas especificações de um dos componentes críticos do equipamento responsável pelo processo de laminação em uma grande siderúrgica. Como principal resultado constatou-se que a adequação das especificações e melhorias nos processos técnicos da manutenção, desde que bem planejado, pode impactar positivamente a manutenção através da otimização das principais métricas para formulação dos indicadores de desempenho da manutenção, o tempo e os custos da operação, que refletem direta ou indiretamente em quase todos os indicadores. Por fim, observa-se que a avaliação do e controle da performance promovida pela mensuração sistemática dos indicadores chave da manutenção é capaz de prospectar melhorias contínuas para Sistema de Manutenção no setor industrial

Palavras-chave: Manutenção Industrial. Gestão da Performance de Ativos. Indicadores de Desempenho da Manutenção. Manutenção Mecânica. Equipamentos Crítico.

MANGABEIRA, R. C. PIRES, J. E. B. **Asset Performance Management in Industrial Mechanical Maintenance**: The impact of improvements in the mechanical assembly processes of a critical component of the rolling process on maintenance indicators. 2023. 49p. Trabalho de Graduação (Curso de Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2023.

ABSTRACT

This work addressed Asset Performance Management, which is the evolution of maintenance management focused not only on maintaining and/or restoring the proper and safe operation of equipment, machines and installations in the industrial sector, but also on strategic actions to guarantee the maximization of the performance and effectiveness of the assets that make up the production system. Thus, it was limited to discussing the impacts of improvements in critical equipment, promoted by mechanical maintenance, on the main maintenance performance indicators. To this end, the main objective was to develop an improvement project to adapt the specifications and mechanical assembly processes of a critical component (cylinder bushing) of the rolling equipment in order to increase the main indicators of industrial maintenance. The applied methodology relies on bibliographic research procedures and a case study, used to verify the impact of improvements in the specifications of one of the critical components of the equipment responsible for the lamination process in a large steel plant. As the main result, it was found that the adequacy of specifications and improvements in technical maintenance processes, as long as it is well planned, can positively impact maintenance by optimizing the main metrics for formulating maintenance performance indicators, time and costs. of the operation, which directly or indirectly reflect on almost all indicators. Finally, it is observed that the evaluation of and control of performance promoted by the systematic measurement of key maintenance indicators is capable of prospecting continuous improvements for the Maintenance System in the industrial sector.

Keywords: Industrial Maintenance. Asset Performance Management. Maintenance Performance Indicators. Mechanical Maintenance. Critical Equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de manutenção.	24
Figura 2 – Processo de Laminação.	26
Figura 3 – Cilindros de Laminação.	27
Figura 4 – Tipos de ajustes.	30
Figura 6 – Processo da manutenção mecânica alvo da melhoria proposta.	32
Figura 7 – Conjunto (cilindro e bucha) e caixa de arrefecimento.....	33
Figura 8 – Conjunto cilindro e bucha montados.	34
Figura 9 – Índice de manutenibilidade.....	38
Figura 10 – Índice de disponibilidade.	39
Figura 11 – Índice de Confiabilidade.	41
Figura 12 – Índice HHOS.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais KPI utilizados na manutenção	21
Quadro 2 – Metodologia SMART.....	22

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.a/ 1.b e 1.c – Relação tempo (min.) x diâmetro (mm) x temperatura (°C).	35
Gráfico 2 – Indicadores de custos da manutenção.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações dos diâmetros do furo e da bucha por projeto.....	31
Tabela 2 – Especificações ideais dos diâmetros do furo e da bucha por projeto.....	37
Tabela 3 – Benchmarking.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	16
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Gestão da performance de ativos críticos	18
2.2 Métricas e indicadores da manutenção	20
2.3 Particularidades da manutenção mecânica industrial	23
2.4 Equipamentos críticos do processo de laminação	26
2.5 Procedimentos técnicos da manutenção mecânica nos ajustes por interferência	29
3 METODOLOGIA	31
3.1 Descrição da realização do projeto de melhoria no processo de montagem da manutenção mecânica em um ativo crítico	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 RESULTADOS	37
4.1.1 Análise do impacto da melhoria nos indicadores de manutenção ...	40
4.2 DISCUSSÃO	44
5 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento exponencial da competitividade em consonância com um maior acesso as tecnologias e equipamentos de ponta o diferencial no setor industrial passou a ser a forma que se gere os recursos produtivos. Portanto, a gestão da performance de ativos na manutenção industrial deve agir não só para garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, máquinas e instalações, mas também, para propor melhorias que eleve sua manutenibilidade e reduza os custos.

Assim sendo, para assegurar a efetividade operacional e confiabilidade destes ativos deve se promover ações técnicas e gerenciais voltadas a manutenção industrial, dentre elas, se destacará na futura pesquisa as da manutenção mecânica. Deste modo, pretende-se evidenciar o papel dela na nova premissa do setor industrial de maximização na utilização dos recursos produtivos para aumento da competitividade nas organizações.

Para tanto, o estudo de caso será realizado em uma empresa siderúrgica de grande porte, fabricante de cilindros de laminação, onde a não conformidade dos ajustes mecânicos durante a montagem de um componente crítico representa a elevação dos custos de manutenção. Deste modo, almeja-se propor melhorias no processo de montagem mecânica com ajuste por interferência e a adequação do dimensionamento do componente para as condições operacionais da empresa.

Neste contexto, a busca da efetividade e elevação dos índices de desempenho da manutenção são realizados os planos voltados a gestão estratégica da manutenção e performance dos ativos físicos. Eles devem ser formulados através do desenvolvimento de processos gerenciais, tais como, estabelecimento do modelo de gestão, das estratégias e das políticas de manutenção; desenvolvimento de indicadores chave de manutenção; adequações das especificações dos componentes críticos; e programação de intervenções técnicas.

Com este pressuposto, busca-se abordar além dos procedimentos técnicos da manutenção mecânica em um dos componentes de máquinas e equipamentos críticos do processo de laminação, o impacto desta ação de melhoria nas principais métricas e indicadores da manutenção. Por fim, aponta-se que a proposta de melhoria nos processos de montagem e na adequação das especificações do componente terá como foco o conceito antagônico do aumento da manutenibilidade,

confiabilidade e disponibilidade do equipamento crítico aos menores custos de manutenção possíveis.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Os altos padrões de produção exigidos no setor industrial para manutenção da competitividade e redução dos custos operacionais só podem ser atingidos a partir de elevados indicadores de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade das máquinas, equipamentos e instalações. Desta forma, elenca-se como problema da futura pesquisa o seguinte questionamento: Qual impacto de melhorias nos processos de montagem e na performance de componentes mecânicos de equipamentos críticos do processo de laminação nos indicadores da manutenção?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um projeto de melhoria para adequação das especificações e dos processos de montagem mecânica de um componente crítico (buchas do cilindro) do equipamento de laminação visando aumentar os principais indicadores da manutenção industrial.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos serão:

- a) conceituar a gestão de performance de ativos críticos no setor industrial;
- b) discorrer sobre as particularidades da manutenção mecânica industrial;
- c) investigar as métricas e indicadores da manutenção;
- d) apresentar os equipamentos críticos responsáveis pelo processo de laminação;
- e) relatar os procedimentos técnicos da manutenção nos ajustes por interferência.

f) desenvolver um projeto de melhoria para adequação das especificações e otimização dos processos de montagem da bucha do cilindro de laminação.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os projetos de melhorias nos processos de manutenção são de extrema importância por diversos motivos, entre os principais, estão a redução de custos; aumento da produtividade; maior confiabilidade dos ativos críticos; maior segurança da operação; maior disponibilidade; e manutenibilidade. Assim, justifica-se investir em melhorias para proporcionar mais efetividade aos processos produtivos da empresa, gerando uma maior qualidade dos produtos, além de melhorar o atendimento a demanda aos menores custos possíveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GESTÃO DA PERFORMANCE DE ATIVOS CRÍTICOS

De acordo com a norma NBR ISO 55000, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2014), um ativo pode ser definido como um item, coisa ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. A gestão de ativos é definida na mesma norma como as "atividades coordenadas de uma organização para realizar valor dos ativos" (ABNT, 2014, p. 2).

Conforme relata Cardoso (2017), a gestão da performance de ativos no setor industrial refere-se a todas as atividades realizadas durante o ciclo de vida útil de um ativo, desde a aquisição, passando pelas operações de manutenção para restauração e reparo até o desmantelamento para disposição final. Apesar de no contexto do negócio ela ser mais abrangente, no gerenciamento da manutenção ela é utilizada estrategicamente para controlar a performance e estender ao máximo as paradas para intervenções nos ativos críticos do processo produtivo.

Segundo Lucato, Olívio e Soeiro (2017), a gestão da performance de ativos exige conhecimentos de métodos e sistemas de planejamento, programação, controle e execução que sejam, ao mesmo tempo, eficientes e economicamente viáveis. As estratégias da manutenção neste cenário devem ser voltadas para os resultados esperados pela organização, os principais são o atendimento do programa de produção, do custo planejado e à qualidade requerida das intervenções técnicas.

De acordo com Gregório e Silveira (2018), na gestão de performance de ativos é preciso ter uma visão completa sobre o negócio e os seus ativos, buscando otimizar os processos técnicos de manutenção, a aquisição de sobressalentes e o uso dos ativos. Esta nova visão estratégica do gerenciamento e controle da manutenção trouxe as seguintes mudanças: agregação de valor com as ações da manutenção; total previsão das falhas; elevação da produtividade da manutenção; redução dos custos de manutenção; e desenvolvimento técnico da equipe de manutenção.

Conforme relata Gregório, Prata e Santos (2018), os processos de manutenção se tornam mais autônomos e customizáveis e é possível a detecção de problemas, o que seria uma manutenção proativa, com a qual, em vez de solucionar

falhas, são identificadas as suas causas a partir de análise de indicadores de desempenho, removendo-as antes da ocorrência. A integração de dados e processos como manutenção, produção, qualidade, logística, entre outros, eleva a disponibilidade dos equipamentos, otimiza a performance e atende a normas de segurança.

Assim, de acordo com Pinto e Xavier (2020), a manutenção como função estratégica para aumento de performance e agregação de valor aos processos e negócios da empresa sustenta-se por meio do envolvimento da gerência; participação de todos da organização; obtenção de melhorias; e lucro com os resultados. Assim sendo, além de reparar o equipamento ou instalação tão rápido quanto possível, é preciso manter a função do equipamento para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada.

Portanto, ressalta Gregório e Silveira (2018), que a gestão da performance de ativos age para aumentar a complexidade na manutenção industrial, tendo como prioridade o combate das perdas relacionadas a pequenas paradas e à redução de velocidade que impactam na redução do índice de desempenho do equipamento, que está relacionado ao aproveitamento da sua capacidade de produção. Quanto maior o número de pequenas paradas e quanto mais tempo o equipamento operar em velocidade inferior à nominal, menor será a confiabilidade e performance do ativo. Os autores apontam como exemplos desses tipos de perdas os seguintes itens:

- a) pequenas paradas: sobrecarga de algum equipamento que gera seu desligamento, acarretando uma parada momentânea;
- b) redução de velocidade: defeitos e desgastes dos ativos que reduzem seu desempenho, como corrosão, abrasão ou parâmetros que não atendem às especificações (temperatura, vibração, ruído etc.).

Deste modo, reforça Lucato Olívio e Soeiro (2017), se alcançar a efetividade na manutenção industrial ela deve estar alinhada ao tempo de produção, porque, produzindo ou não peças boas, o tempo foi de qualquer forma utilizado. Para tanto, as áreas de manutenção, inclusive a mecânica, devem buscar o aprimoramento contínuo de seus processos, por meio da capacitação dos seus recursos humanos, da motivação pessoal e da adoção de ferramentas adequadas para a tomada de decisão.

Conforme destaca Cardoso (2017), o primeiro passo para prospectar um ambiente de melhoria contínua da gestão da manutenção e performance de ativos está na análise para definir quais são os equipamentos críticos para que os processos do sistema produtivo sejam realizados. Neste sentido, são utilizadas várias ferramentas de gestão, com destaque para os indicadores de desempenho e a Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA), utilizados tanto no planejamento, como no controle da performance de ativos físicos na manutenção industrial.

Por fim, ressalta Megiolaro (2015), que as intervenções técnicas e paradas para manutenção da performance dos equipamentos representam um fator de despesa e, portanto, deve-se ter o controle de seus resultados. Para mensurar os esforços realizados pelo setor de manutenção os indicadores de desempenho representam uma importante ferramenta de gestão da manutenção tanto para análise da efetividade do planejamento e do controle do progresso em direção aos objetivos para padronização no estado ótimo.

2.2 MÉTRICAS E INDICADORES DA MANUTENÇÃO

“Todo planejamento deve ser necessariamente controlado para que o resultado obtido seja avaliado, verificando os pontos de sucesso e os pontos que necessitam ser melhorados, informações essas obtidas na interpretação dos indicadores” (LUCATO; OLÍVIO; SOEIRO, 2016, p. 144). Ou seja, “os indicadores da manutenção auxiliam na avaliação das ações e dos planos de manutenção e podem sinalizar as oportunidades de melhoria” (GREGÓRIO; PRATA; SANTOS, 2018, p. 40).

De acordo com Bueno (2020), os indicadores chave de desempenho da manutenção são geralmente chamados de KPI (*Key Performance Indicators*) que constituem em parâmetros que permitem uma análise mais fácil das metas de aperfeiçoamento de desempenho dos equipamentos. As metas para determinação do nível de atendimento ótimo dos KPIs são de responsabilidade do PCM junto a outras áreas que interagem com a produção, como a segurança e o meio ambiente.

Deste modo, de acordo com Pinto e Xavier (2009), os KPI são um tipo de quantificação para o acompanhamento da efetividade dos processos e planos realizados para manter a performance desejável dos ativos. Assim sendo, eles se mostram ferramentas de gestão ótimas para o apoio da tomada de decisão quanto a

continuidade de um sistema de manutenção como está ou se deve promover melhorias para que ele possa operar com toda sua potencialidade.

Conforme relata Gregório, Prata e Santos (2018), os KPI colaboram para a avaliação da efetividade da gestão da manutenção e performance de equipamentos, colaborando para o controle de sua padronização no estado ótimo. Existem inúmeros indicadores que podem ser utilizados nas áreas de interesse da manutenção industrial, para isso é necessário que se estabeleça métricas e formas adequadas para coletar os dados. Os principais KPI são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais KPI utilizados na manutenção.

Indicadores de Desempenho da Manutenção Industrial		Descrição
1	MTBF	Tempo Médio Entre Avarias
2	MTTR	Tempo Médio de Reparação
3	MTBM	Tempo Médio entre Ações de Manutenção
4	MDT	Tempo Médio de Paragem para Ações de Manutenção
5	A	Fator disponibilidade
6	R	Fator Confiabilidade
7	Manutenibilidade	Fator manutenibilidade
8	MP	Cumprimentos de planos de manutenção preventiva
9	MPd	Cumprimentos de planos de manutenção preditiva
10	GE	Giro de estoque
11	FM	Falta de materiais que afetam os serviços de manutenção
12	IMF	Custo total de manutenção por faturamento bruto
13	Imba	Custo total de manutenção por ativos imobilizados
14	MO	Custo de mão de obra
15	CM	Custo de materiais
16	Backlog	Carga futura de trabalho
17	HHCORRETIVA	Alocação da Mão de obra em serviços de manutenção corretiva
18	HHPREVENTIVA	Alocação da Mão de obra em serviços de manutenção preventiva
19	HHPREDITIVA	Alocação da Mão de obra em serviços de manutenção preditiva
20	CP	Cumprimento da programação
21	AP	Acerto da programação
22	OEE	Eficiência Global de Equipamento
23	TEEP	Performance Efetiva Total dos Equipamentos
24	IROG	Índice de Rendimento Operacional Global dos Equipamentos
25	λ	Taxa de falhas
26	NPR	Número de prioridade de risco
27	OOE	Eficácia geral do equipamento

Fonte – Bueno (2020)

Portanto, ressalta Lucato, Olívio e Soeiro (2017), que os resultados obtidos pela mensuração destes KPI colaboram para estabelecer as políticas e estratégias ótimas e adequadas de manutenção para cada setor dentro do processo produtivo. O princípio básico da utilização de KPI é que todo planejamento deve ser

necessariamente controlado, para que o resultado obtido seja avaliado, verificando os pontos de sucesso e os pontos que necessitam ser melhorados.

De acordo com Bueno (2020), na manutenção industrial eles fornecem dados e informações para efetivação dos resultados operacionais; do controle de estoque de materiais e sobressalentes; da distribuição das modalidades de manutenção; da análise de criticidade de equipamentos; da distribuição dos tipos e abordagem de manutenção; do treinamento e capacitação da equipe de manutenção; e do estabelecimento de períodos de parada; e tomada de decisão no PCM.

Segundo Bueno (2020), a utilização dos KPI tem como objetivo eliminar subjetividade e orientar quanto às possibilidades de melhoria contínua. A seleção dos indicadores mais adequados para cada organização pode ser feita por meio do uso da metodologia SMART. Ela orienta quanto à definição dos KPI, sugerindo qualidades para que eles sejam pertinentes. O Quadro 2 mostra o acrônimo que forma a orientação do método SMART para a qualidade dos indicadores.

Quadro 2 – Metodologia SMART.

Acrônimo	Termo em inglês	Termo em português	Descrição da característica
S	<i>Specific</i>	Seja específico	Escolher KPIs simples e específicos para evitar equívocos posteriores.
M	<i>Measurable</i>	Mensurável	Os KPIs devem ser comparáveis e quantificáveis para se estabelecer metas. Os KPI devem preferencialmente ser expressos em números.
A	<i>Attainable</i>	Atingível	A meta de refletir a capacidade da organização, podendo ser agressiva, mas não deve ser impossível.
R	<i>Realistic</i>	Realista	A meta deve ser baseada na realidade atual e não com as condições desejáveis.
T	<i>timely</i>	Em tempo	Deve ser definido um tempo para que as metas possam ser atingidas.

Fonte – Bueno (2020)

Conforme relata Gregório e Silveira (2018), as métricas são os parâmetros operacionais mensuráveis utilizados para desenvolver KPI. Deste modo, eles são a representação pertinente do cruzamento de métricas para a análise e controle dos resultados, agindo como direcionadores para o resultado esperado, monitorando e controlando a causa ou o efeito das ações e planos de manutenção.

De acordo com Pinto e Xavier (2009), as principais métricas para a formulação dos KPI voltados a manutenção industrial são a análise da função requerida; as condições definidas de uso; os intervalos de tempo; o desempenho e

falha dos equipamentos; as taxas de falhas dos equipamentos e componentes; a disponibilidade inerente, técnica e operacional; tempo de reparação; produtos conformes; custos da manutenção; eficiência do equipamento; e efetividade dos colaboradores.

Desta maneira, discorre Martins (2015), que os KPI devem medir não só o desempenho e performance das máquinas, equipamentos e seus componentes, mas também, as ações planejadas pela própria gestão e os direcionamentos estabelecidos para o sistema de manutenção, podendo ser medidas de forma direta, indireta, financeira ou não financeira. Exclusivamente a gestão dos ativos produtivos é medida de forma indireta, financeira e/ou não financeira.

2.3 PARTICULARIDADES DA MANUTENÇÃO MECÂNICA INDUSTRIAL

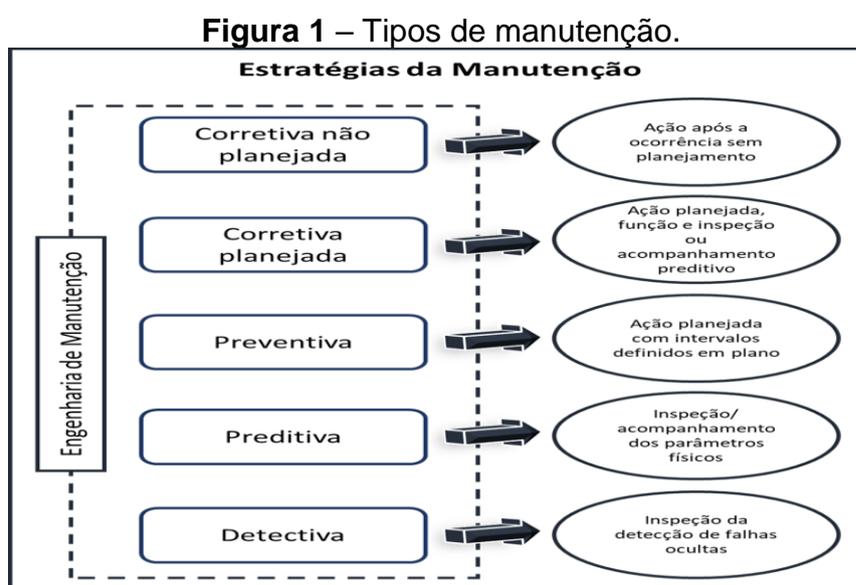
Conforme relata Conterato (2017), as máquinas, equipamento e instalações em atividade no setor industrial estão sujeitos a um processo de deterioração dependendo da atividade que eles desempenham e, eventualmente, podem vir a falhar. O autor acrescenta que sem a manutenção mecânica nas máquinas e equipamentos a indústria apresentará, ao longo do tempo, muitas dificuldades em cumprir cronogramas, obtenção de produtos com qualidade, manter a fidelidade dos clientes e competir no mercado tanto interno quanto externo.

Segundo Almeida (2016), a manutenção mecânica industrial, além dos aspectos gerenciais, exige a compreensão dos seguintes assuntos: tecnologia dos materiais; ferramentas de corte; procedimentos de usinagem; ferramentas para operações de manutenção; técnicas de montagem e desmontagem; elevação de carga; manutenção de mancais; técnicas de reparação de conjuntos mecânicos; elementos de fixação; elementos de vedação; elementos de máquina; elementos de transmissão de movimento rotativo; redutores e variadores de velocidade; cálculo industrial; soldagem; automação hidráulica; circuitos pneumáticos; elementos de tubulação industrial; e lubrificação.

Conforme relata Bueno (2020), a gestão das atividades da manutenção mecânica pode ser feita pela própria empresa "*in house*" ou de forma terceirizada, ou mesmo uma combinação das duas. Junto a essa definição, deve-se a realizar a classificação dos equipamentos, a programação das atividades e a definição de padrões de trabalho, definindo quais equipamentos são críticos, se possui

redundância, o tempo médio de reparo e, enfim, os tipos de intervenções devem ser utilizados.

Quanto aos tipos de manutenção mecânica, conforme relata Lucato, Olívio e Soeiro (2017), eles refletem as estratégias que ajudam a efetivar os modelos para a gestão da manutenção, sendo classificadas pelas diferenças em suas abordagens operacionais, são elas: corretiva; preventiva; preditiva; e detectiva e a engenharia da manutenção. Estas atividades correspondem às formas de conduzir as ações técnicas da manutenção para garantir que o desempenho das instalações, equipamentos e máquinas que compõem o sistema de produção seja satisfatório. A Figura 1 apresenta os tipos de estratégias utilizadas para gerenciar o desempenho e garantir a confiabilidade dos ativos físicos industriais.



Fonte – Adaptado de Gregório e Silveira (2018)

A manutenção corretiva, segundo Scarpim e Shigunov Neto (2014), é aquela realizada após o acontecimento de um evento de falha do equipamento, sendo geralmente, não planejada. Para a escolha da manutenção corretiva deve se levar em consideração fatores econômicos, sendo indicada quando existir equipamento em espera; não for possível prevenir a falha; for nulo o impacto da falha; for baixo o custo do reparo, inviabilizando o custo de fazer manutenção preventiva.

De acordo com Bueno (2020), a manutenção corretiva é tida como de emergência e com maiores custos agregados por haver uma mobilização extra para os esforços necessários para restabelecer o funcionamento adequado e seguro do equipamento ao menor tempo possível. Deste modo, ela pode ser planejada,

quando realizada periodicamente para antecipar a falha; ou não planejada, se a intervenção ocorrer logo após uma falha aleatória e inesperada.

Assim, a preventiva, conforme relata Lucato, Olívio e Soeiro (2017), envolve algumas tarefas sistemáticas, sendo sempre planejada e realizada periodicamente, com intervalos bem definidos, para manter o equipamento em seu estado de ótima operação. Ela é mais cara do que a corretiva, porém, apresenta melhores resultados, como a diminuição na ocorrência de falhas, a elevação da disponibilidade dos equipamentos e redução das interrupções do sistema de produção.

Quanto a preditiva, segundo Almeida (2016), é realizada através de inspeções periódicas para verificação de variáveis operacionais relevantes para o estabelecimento do ciclo de vida do equipamento e seus componentes. Alguns exemplos é a análise e monitoramento, por meio de instrumentos específicos, da temperatura; velocidade; deslocamento; aceleração; lubrificantes; vibração; ruídos excessivos etc.

Portanto, reforça Gregório e Silveira (2018), que a manutenção preditiva visa a diminuição das manutenções preventivas e corretivas, além do aproveitamento do componente durante toda a sua vida útil. A manutenção preditiva apresenta vantagens como: a redução do número de falhas em equipamentos; a redução do tempo de parada; o aumento da produtividade; o aumento da segurança; a elevação exponencial da vida útil dos ativos físicos; e a redução de custos.

A manutenção detectiva, segundo Gregório, Prata e Santos (2018), é a busca por falhas ocultas em sistemas de proteção dos processos industriais, identificando falhas que já tenham acontecido, mas que não foram percebidas. Este tipo de manutenção é adequado para os ativos que não são atendidos por outras formas de manutenção e que só precisam operar em determinadas situações e, assim, não é possível saber se estão em estado de falha.

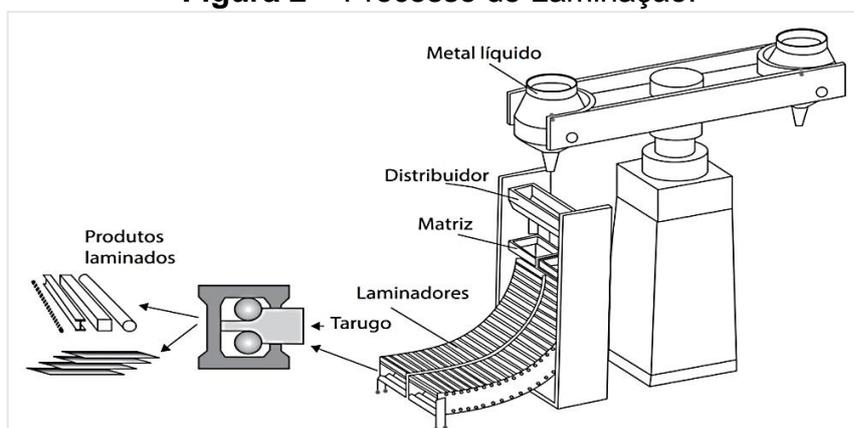
Enfim, o último dos tipos de gestão da manutenção apresentado é a Engenharia da Manutenção, que de acordo com Lucato, Olívio e Soeiro (2017), age como um programa para o suporte técnico da manutenção, se dedicando a consolidar a eficiência nos processos de rotina da manutenção, além de implementar melhorias nos processos para alcançar a confiabilidade e disponibilidade máxima dos equipamentos.

2.4 EQUIPAMENTOS CRÍTICOS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO

De acordo com Castro, Kiminami e Oliveira (2018), a laminação é um dos principais processos de fabricação de produtos metálicos, sendo precedido a montante da sua cadeia produtiva pela siderurgia, processo de transformação físico-químico que a viabiliza a produção de ferro-gusa e aço e pelo lingotamento que fornece o produto semiacabado para laminação.

Na Figura 2, tem-se a representação esquemática das instalações, da máquina de lingotamento que gera os produtos semiacabados e o laminador, com os possíveis produtos acabados pela laminação.

Figura 2 – Processo de Laminação.



Fonte – Lira (2018)

De acordo com Maciel (2017), a deformação plástica no laminador é realizada pela força realizada para que as placas passem nos cilindros do laminador para que a espessura seja reduzida e o comprimento e a largura possam ser aumentados gradualmente através de uma sequência de passes nestes cilindros. O autor reforça que os cilindros são as principais ferramentas do laminador, pois, eles são os responsáveis pela transformação do material semiacabado em produtos, geralmente de ferro fundido ou em aço de diferentes formas e modelos para atender as especificações quanto as medidas dos produtos finais.

Segundo Rizzo (2007), o conjunto formado pelos cilindros de laminação (ou rolos), com seus mancais, uma carcaça chamada de gaiola ou quadro, um motor para fornecer potência aos cilindros e controlar a velocidade de rotação, montantes, suportes etc. é chamado de cadeira de laminação, sendo os componentes de seu

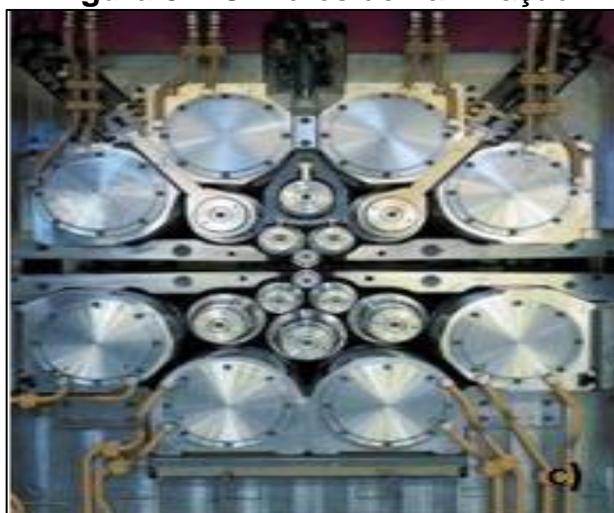
conjunto extremamente críticos para o processo. Tendo isso em vista, a classificação dos laminadores é de acordo com o tipo de cadeira do laminador.

Os laminadores são equipamentos que consistem em um conjunto de cilindros de laminação dispostos de várias formas e se classificam em laminadores duo, trio, quádruplo, universal e sendzimir (BRESCIANI *et al.*, 2011; *apud* Maciel, 2017, p. 124).

Reforça Rizzo (2007), que a criticidade do conjunto do cilindro laminador vem da sua importância para a produtividade no processo de laminação, já que ela é parcialmente determinada pelo tempo de serviço ininterrupto que o cilindro de trabalho pode suportar, mantendo a qualidade do produto laminado acima do nível mínimo estabelecido (os cilindros de trabalho são periodicamente retirados de serviço para recuperação da sua superfície, que nada mais é do que a remoção, por usinagem, da camada superficial deteriorada pelo próprio uso).

Segundo Budynas e Keith (2016), os cilindros de Laminação são ferramentas de conformação mecânica empregadas nas laminações de aços. Os cilindros de trabalho das laminações de tiras a quente, geralmente são constituídos por dois materiais distintos, cujas estruturas metalográficas propiciem elevada resistência ao desgaste na “casca”; resistência aos impactos, à flexão e à torção no “núcleo”, e em ambas as regiões a redução na propagação de trincas. Os cilindros de laminação são fundamentais na obtenção da máxima produtividade do laminador, da máxima qualidade superficial do produto laminado e de baixos custos operacionais das laminações. A Figura 3 ilustra alguns cilindros do laminador.

Figura 3 – Cilindros de Laminação.



Fonte – Rizzo (2007).

Segundo Rizzo (2007), no projeto de um cilindro de laminação é necessário determinar quais as dimensões, as propriedades e as condições de operação mais adequadas de forma a se alcançar os seguintes objetivos básicos:

- a) evitar paradas para troca e garantir elevados níveis de manutenibilidade;
- b) gerar uma produção máxima de laminados de boa qualidade dimensional e superficial por campanha;
- c) possibilitar, durante o torneamento (retificação) entre campanhas, cortes mínimos de diâmetro para restauração das boas condições dimensionais e da superfície de laminação ou da mesa de trabalho, gerando a maior relação de material laminado por milímetro de diâmetro consumido;
- d) Permanecer o máximo de tempo possível montado no laminador.

De acordo com Budynas e Keith (2016), o componente bucha é geralmente especificado pelos projetistas em materiais mais carregados em cromo níquel molibdênio, assegurado a precisão dimensional, evitando o desgaste do cilindro nessa região de montagem. Geralmente se utiliza o aço SAE 8620, que é um aço para cementação e posterior beneficiamento ligado ao níquel, cromo, e molibdênio o que lhe confere melhor aptidão ao tratamento térmico, principalmente ao de cementação, pois mantém o núcleo ainda com uma resistência mínima bastante aceitável.

Segundo Bastos e Mangabeira (2020), alguns laminadores de tecnologia alemã, como o que será analisado na futura pesquisa, foram projetados demandando a montagem de uma bucha no lado de acionamento do cilindro (lado dos motores). Os autores reforçam que a bucha atua como guia e apoio no sistema de acionamento da cadeira de laminação e assegura a precisão dimensional, evitando o desgaste do cilindro nessa região de montagem. Para suportar as exigências do processo de laminação, os projetistas especificam a montagem da bucha à pressão com esforço no pescoço do cilindro, ou seja, impossível de ser desmontada sem deterioração, demandando uma montagem com ajuste por interferência, conforme ABNT NBR 6158/95.

2.5 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA MANUTENÇÃO MECÂNICA NOS AJUSTES POR INTERFERÊNCIA

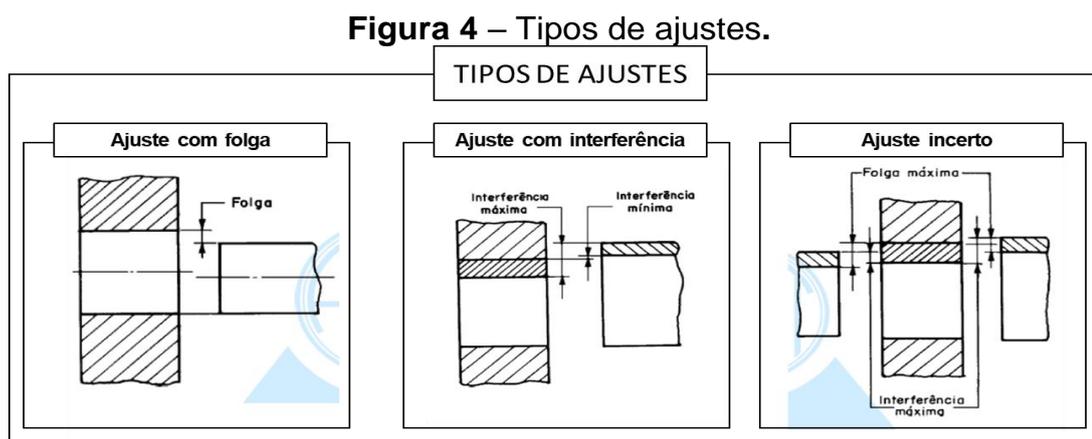
Ressalta Bueno (2020), para se garantir a confiabilidade dos diversos tipos de equipamentos e máquinas utilizadas nas mais variadas aplicações no setor industrial são necessários alguns procedimentos básicos que devem ser realizados na instalação, montagem e desmontagem. Para tanto, durante a fase de projeto de um equipamento, é previsto que seu funcionamento ocorra dentro de condições mínimas de geometria, nivelamento e alinhamento, além da correta instalação elétrica e funcionamento dos componentes mecânicos.

Nesse contexto, de acordo com Almeida (2016), o mecânico de manutenção industrial deve ter especial atenção aos procedimentos de instalação da máquina, pois falhas geométricas na instalação acarretarão ocorrências de problemas de desgaste ou quebra precoces das peças e componentes. Para executar a correta instalação da máquina, o mecânico de manutenção deve ter o local de instalação previamente determinado, inspecionado e, se for necessário, executar as melhorias necessárias para garantir as seguintes condições:

- a) preparação e operação segura da máquina, garantindo a segurança no trabalho do operador e também do mecânico de manutenção nas futuras operações de manutenção;
- b) a inserção ou retirada do material de transformação (matéria-prima), insumos e resíduos que são inerentes ao processo de fabricação utilizado;
- c) espaço seguro que permita a movimentação das partes móveis da máquina (portas de proteção, conjuntos mecânicos móveis etc.);
- d) posição coerente com a fase do processo de fabricação (célula de fabricação), se aplicável e como layout do setor onde está localizada, obedecendo condições de alinhamento com outras máquinas instaladas.

Ao analisar a norma NBR 6158/1995, ABNT (1995), verifica-se a possibilidade de três tipos gerais de ajustes, a saber: com folga, com interferência e incerto. No ajuste com folga verifica-se uma diferença positiva entre o diâmetro interno do cubo e o diâmetro externo do eixo. Já no caso do ajuste com interferência, esta diferença entre o diâmetro interno do cubo e o diâmetro externo do eixo é negativa. No caso do ajuste incerto, pode existir tanto folga quanto a interferência, tendo em vista as dimensões mínimas e máximas do eixo e do cubo.

Conforme relata Budynas e Keith (2016), em projetos de montagens mecânicas, o projetista é livre para adotar qualquer geometria de ajuste para eixos e furos que assegure a função pretendida. Há suficiente experiência acumulada com situações comumente recorrentes para tornar a padronização útil. Ao utilizar o padrão, letras maiúsculas sempre se referem ao furo; letras minúsculas são utilizadas para o eixo. A Figura 4 mostra os tipos de ajustes.



Fonte – Budynas e Keith (2016).

De acordo com Collins (2006), é primordial observar que as falhas oriundas de ajustes por interferência são por hora causadas pela falta de observação do engenheiro de projeto em relação a tarefa de especificar as tolerâncias dimensionais adequadas do eixo no furo. Geralmente, um projetista deve observar os pontos críticos no ajuste por interferência que são definidos por:

- a) tolerância de interferência mínima: Garantindo que as exigências de transferência de torque sejam atendidas e que a bucha não irá se soltar do eixo durante o trabalho;
- b) tolerância de interferência máxima: Garantindo que requisitos de níveis de tensões estejam em faixas seguras, oferecendo transferência de movimento eficaz sem risco da bucha se romper por excesso de tensão.

Para o ajuste com a interferência, conforme relata Budynas e Keith (2016), se dá pela diminuição do raio externo da bucha, devendo, essencialmente, ser considerado dois fatores: força e/ou diferenças de temperatura. A diferença de temperatura vai originar uma dilatação/contração térmica, que embora não seja exatamente uma relação linear, pode assumir como linear para diferenças de temperatura na ordem dos 200 °C.

3 METODOLOGIA

Esse estudo foi realizado em uma empresa siderúrgica de grande porte, fabricante de cilindros de laminação, onde a não conformidade no ajuste por interferência durante a montagem do componente bucha no cilindro, representa sobrecusto de milhares de reais por ocorrência. Foram analisadas as especificações dimensionais e tolerâncias dos três principais projetos de cilindros de laminação, os quais representam 80% da demanda de montagem por interferência da bucha guia no furo do cilindro de laminação.

Nas empresas fornecedoras de cilindros de laminação para o universo da pesquisa existem três modelos, em material SAE 8620, que demandam a montagem por interferência da bucha, cuja atuação é crítica para o sistema de acionamento da cadeira de laminação, servindo tanto de guia, como apoio durante a operação. A montagem é realizada com a bucha de forma a assegurar a acuracidade dimensional, evitando o desgaste nessa região de montagem que podem ocasionar falhas funcionais futuras e diminuição do ciclo de vida útil da peça. As especificações dos três modelos analisados, além dos tipos de ajuste conforme a NBR 6158/95, que contempla a montagem de componentes com ajuste por interferência, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações dos diâmetros do furo e da bucha por projeto.

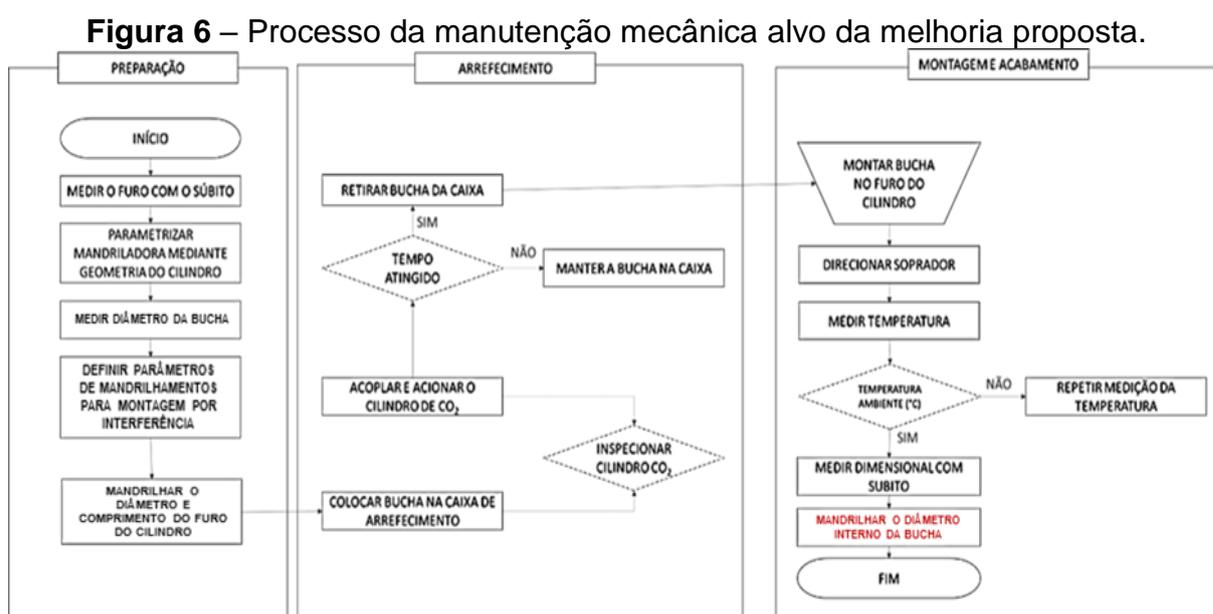
Modelo	Furo	Bucha	Tipo de Ajuste Furo/Bucha
Cilindro 1	Ø 180 +/- 0,030 mm	Ø 180,11 +/- 0,030 mm	H6 r6
Cilindro 2	Ø 210 +/- 0,030 mm	Ø 210,11 +/- 0,030 mm	H6 r6
Cilindro 3	Ø 260 +/- 0,030 mm	Ø 260,12 +/- 0,030 mm	H6 r5

Fonte – Elaborado pelos autores com dados dos fornecedores (2023).

A norma NBR 6158/95 direciona os enquadramentos dos diâmetros e tolerâncias por tipo de projeto de cilindro, que para os tipos de cadeira de laminação que servirão como guia e apoio, trata-se de ajustes à pressão com esforço, ou seja, eles são impossíveis de serem desmontados sem deterioração da peça, podendo gerar ocorrências da não montagem da bucha no furo, que acarretam custos na ordem de milhares de reais, que inclui o custo da bucha, os custos operacionais, a remoção completa do material, geralmente realizado em mandriladora, além do novo preparo do furo em processo para montagem correta de uma nova bucha.

Deste modo, o estudo de caso pretendeu-se alcançar melhores índices de desempenho da manutenção com a adequação das especificações e menor tempo de troca dos cilindros entre campanhas nos laminadores, além de uma maior produtividade. Considera-se que este aumento na produtividade aliada a otimização da qualidade nos processos técnicos da manutenção são fatores determinantes de sucesso em mercados cada vez mais exigentes e competitivos.

Assim sendo, como primeiro passo, os elementos do processo foram mapeados e são apresentados na Figura 6, divididos em preparação, arrefecimento e montagem/acabamento, destacando em vermelho o processo que se quer eliminar através da melhoria da montagem e adequação nas especificações da bucha nos modelos de cilindro do laminador mais utilizados para diminuir o tempo de montagem visando aumentar a disponibilidade e manutenibilidade deste componente crítico do processo de laminação.



Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

O mandrilhamento do diâmetro interno é um processo de acabamento para ajustar a qualidade geométrica e dimensional conforme os limites de tolerância especificados e dar o encaixe perfeito ao conjunto sem a necessidade de pressão, aquecimento ou esforços adicionais que possam danificar o cilindro e/ou ocorrer o problema de não montagem, garantindo a circularidade ao longo do comprimento do cilindro e dos resultados de retitude nas diferentes posições de medição. Este procedimento de acabamento é um dos mais demorados do processo de montagem

da bucha no cilindro demorando em média 2 minutos, aproximadamente dois minutos, durante as análises realizadas antes da adequação da especificação da bucha, perfazendo aproximadamente 16,67% do tempo total (12 minutos) entre preparação; montagem e acabamento e 9,51% contando com o arrefecimento (9 minutos).

Cabe ressaltar que a bucha representa em média 0,02% da massa total do conjunto montado (cilindro + bucha), sendo assim, o arrefecimento colabora para que a bucha tenha uma contração dimensional, utilizando-se “gelo seco” obtido através de cilindros de CO₂, que é a opção mais econômica para a execução da montagem por interferência nesse tipo de projeto, sendo ideal para submeter a bucha do cilindro ao arrefecimento. A Figura 7 apresenta o conjunto (cilindro e bucha) desmontado e o equipamento onde se realiza o processo de arrefecimento.

Figura 7 – Conjunto (cilindro e bucha) e caixa de arrefecimento.



Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

Como visto, após o arrefecimento e montagem da bucha no furo do cilindro, normalmente acrescenta-se o processo de usinagem para realização do ajuste por interferência no diâmetro interno da bucha, porém, este ajuste pode ser tido como perda ou retrabalho devido a inadequações no projeto e especificações do conjunto do cilindro laminador realizado por operadores antigos pela falta de padronização do processo de arrefecimento e para evitar o processo de não montagem a qualquer custo, que gera ainda mais retrabalhos e custos elevados de manutenção, além da perda de produtividade pelo maior tempo do equipamento parado.

A Figura 8 mostra o conjunto da bucha já montado no cilindro do jeito correto e sem retrabalhos.

Figura 8 – Conjunto cilindro e bucha montados.



Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

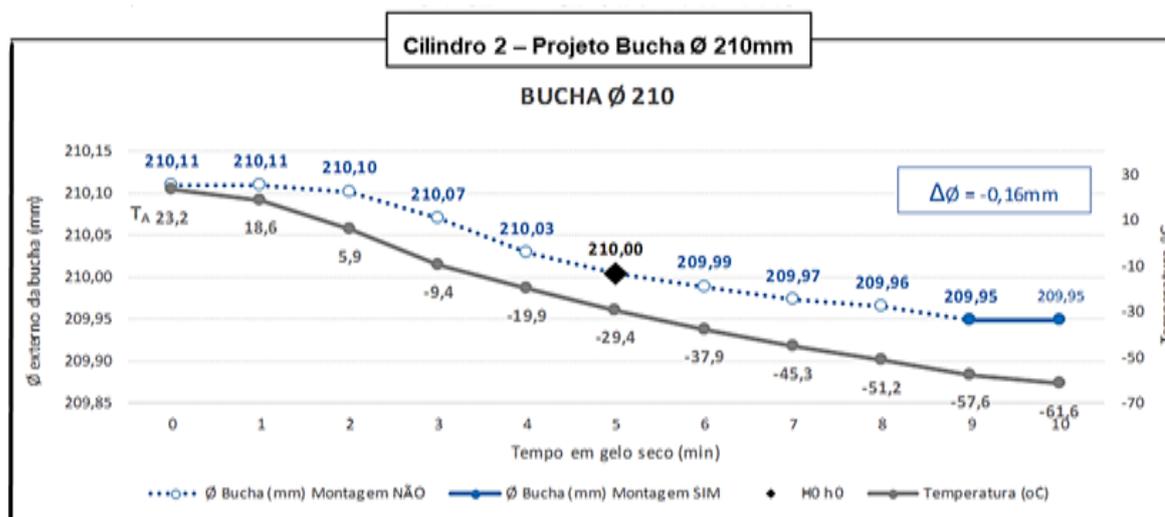
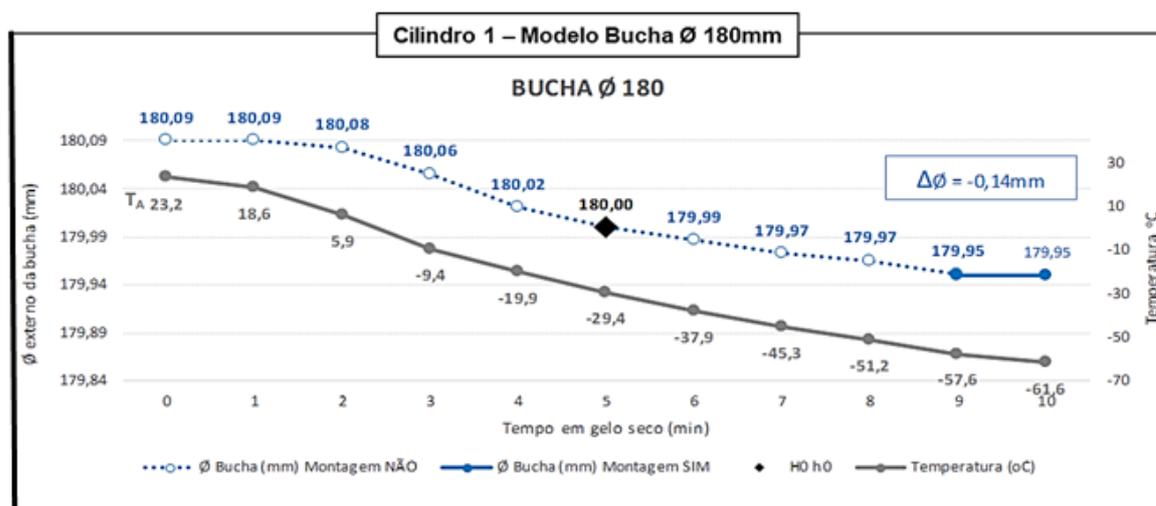
Deste modo, realizou-se uma análise das possíveis causas das falhas, que segundo os operadores e a equipe de manutenção responsável, a não conformidade na montagem se dá pelo dimensional proveniente da usinagem do furo, estando atrelada ao inadequado resfriamento da bucha; e ao desconhecimento da relação diâmetro (\varnothing milímetros (mm)) x temperatura (graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$)) x tempo de arrefecimento (minutos (min.)).

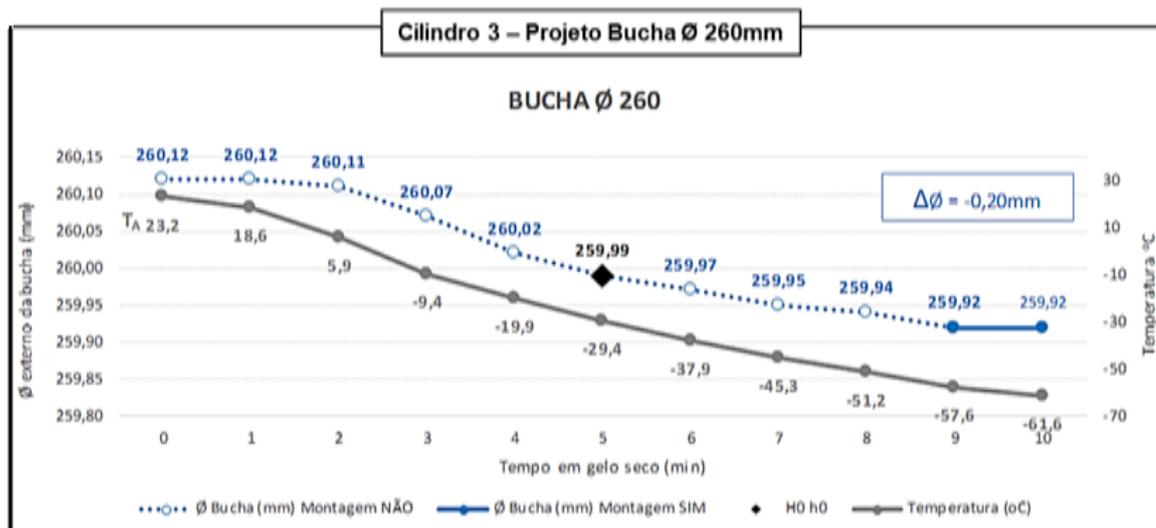
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS

O Gráfico 1.a, 1.b e 1.c apresentam os resultados das medições do diâmetro externo (mm) e temperatura (°C) na superfície da bucha a cada 1 minuto para cada modelo de cilindro. A relação tempo (min.) x diâmetro (mm) x temperatura (°C) indica a condição ideal para a montagem da bucha, que está representada no gráfico como “montagem SIM” em linha contínua, a qual foi determinada a partir da estabilização da taxa de redução do diâmetro. Em todos os modelos a contração do diâmetro foi estabilizada após 9 min de exposição ao gelo seco.

Gráfico 1.a/ 1.b e 1.c – Relação tempo (min.) x diâmetro (mm) x temperatura (°C).





Percebe-se que a bucha contraiu em valor absoluto (mm) durante o processo de arrefecimento, que está representado no gráfico como $\Delta\phi$, que é a diferença entre o diâmetro final em $t= 10$ min. e o diâmetro inicial em $t= 0$ min. na temperatura ambiente T_a . Com isso, constatou, que na média a variação percentual do Ø final há um padrão de contração em todos os modelos em relação ao Ø inicial, que foi de menos 0,080%, aonde se chega nos três casos ao diâmetro necessário com 9 minutos na caixa de arrefecimento, sendo que a contração ideal para o ajuste por interferência é de 0,068% de contração para o cilindro 1 a 7 minutos; 0,052% para contração do cilindro 2 a 7 minutos; e 0,046% para contração do cilindro 3 com média de 6 minutos e 40 segundos, que dá em média aproximadamente 6 minutos e 53 segundos por operação.

Com esta análise em consonância as medições realizadas para tirar a média da interferência nos modelos de cilindros analisados pode-se especificar o diâmetro mais adequado da bucha, tendo como base o limite de $- 0,08\%$ de contração, que será o limite de ajuste por interferência máximo. A Tabela 2 apresenta os dados tratados da medição do diâmetro interno do cilindro e externo da bucha nas últimas trocas realizadas nos cilindros que obtiveram êxito na montagem em relação.

Tabela 2 – Especificações ideais dos diâmetros da bucha por projeto.

Modelo	Bucha usada	Bucha ideal	Diferença	Contração ideal	Tempo de arrefecimento ideal
Cilindro 1	Ø 180,11	Ø 180,070	- 0,040 mm	0,038%	6 minutos e 16 segundos
Cilindro 2	Ø 210,11	Ø 210,070	- 0,040 mm	0,033%	6 minutos
Cilindro 3	Ø 260,12	Ø 260,080	- 0,040 mm	0,031%	5 minutos e 50 segundos

Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

Como se vê, os diâmetros ideais passam em $- 0,010$ mm a tolerância padronizada ($\pm 0,030$ mm), mostrando que as especificações das suas buchas devem ser adequadas para que não se necessite o mandrilhamento para o encaixe ideal ou maior tempo de arrefecimento, já que com o diâmetro da bucha ideal o tempo de arrefecimento para chegar no ajuste por interferência ideal da bucha também é diminuído, em média de 6 minutos e 2 segundos com arrefecimento com “gelo seco”, sendo alcançado por volta de $- 40$ °C, porém, a contração máxima ainda se mantém inalterada em 9 minutos a $- 57,6$ °C.

Apesar da pequena alteração na especificação da bucha, o impacto no tempo de operação é considerável, tendo em vista que a operação é corriqueira nos vários cilindros do laminador analisado, que em conjunto com a operação de mandrilhamento do diâmetro interno pós-operação eliminado se diminui ainda mais o tempo da operação de manutenção por volta de 51 segundos em média ou redução de aproximadamente 12,35%.

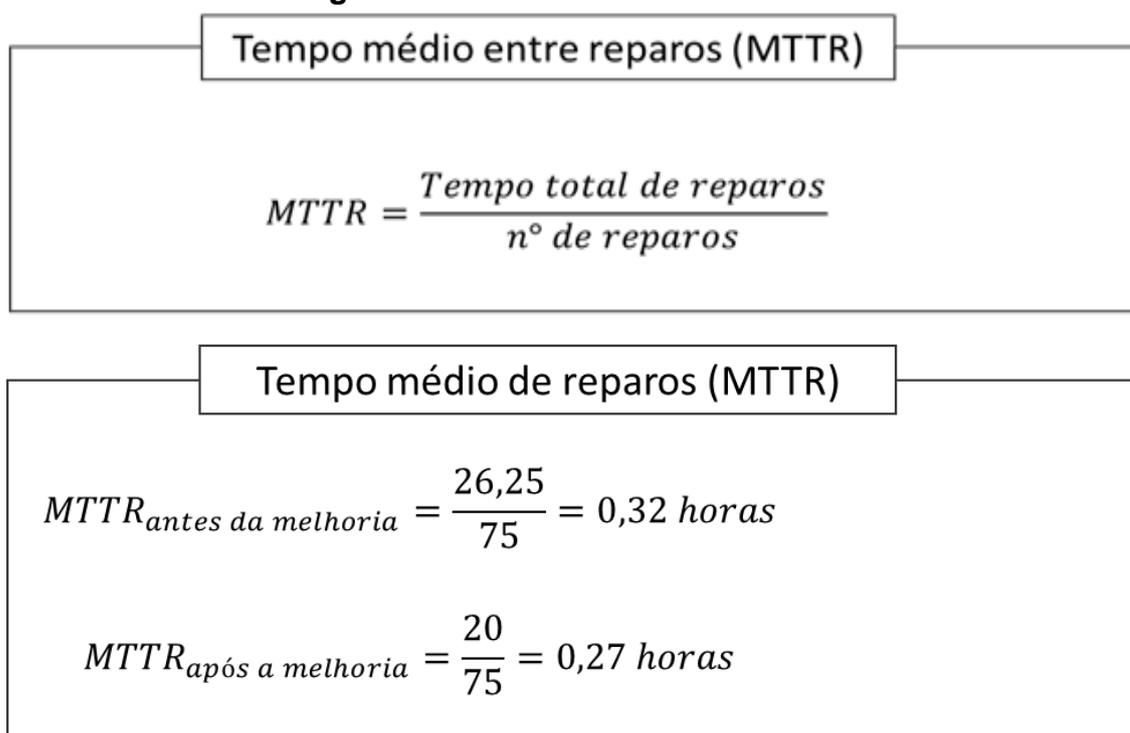
Neste cenário, torna-se necessário a análise dos possíveis motivos que podem ocasionar a não montagem da bucha no furo, pois, estas ocorrências acarretam baixos índices de desempenho e custos extras para evidenciar ainda mais os aspectos positivos da melhoria proposta. Tendo em vista que a hora parada de um laminador acarreta altos custos, que variam de acordo com o tipo de processo de laminação, a montagem eficaz da bucha no furo do cilindro de laminação tem potencial para diminuir os custos produtivos. Assim, observa-se que a correta especificação da bucha no furo do cilindro de laminação é dada quando a largura da bucha é totalmente introduzida no furo com ajuste por interferência sem danos ou desgastes na região de montagem.

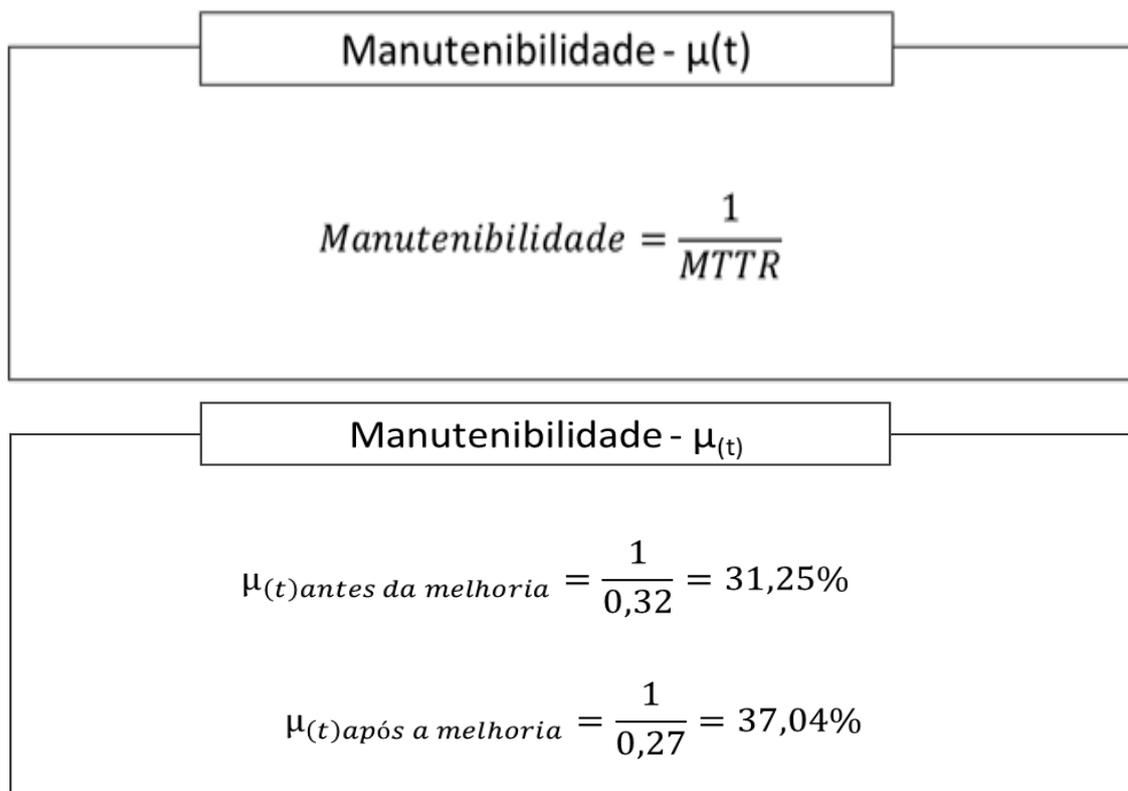
4.1.1 Análise do impacto da melhoria nos indicadores de manutenção

Para a análise do impacto da melhoria nos indicadores de desempenho da manutenção com a melhoria promovida pelo projeto da manutenção mecânica para adequação da especificação das buchas do cilindro do laminador elencou-se a manutenibilidade, a disponibilidade, a confiabilidade, Hora Homem por Ordem de Serviço e os custos de manutenção. Após o cálculo destes indicadores será feita a comparação com o processo de montagem da bucha no furo do cilindro laminador. Todas as fórmulas utilizadas para o estabelecimento dos KPIs estão em anexo.

A manutenibilidade, que é a probabilidade de que um o ativo com falha funcional ou potencial possa ser colocado novamente em seu estado operacional, em um período predefinido, quando o processo de montagem da bucha no furo do cilindro laminador é realizado em condições determinadas, sendo efetuada com a adequação da especificação da bucha e os procedimentos estabelecidos. A Figura 9 apresenta o cálculo realizado para se obter a manutenibilidade ($\mu(t)$), sendo que para facilitar os cálculos realizados utilizou-se o tempo em horas e se contabilizou 75 ordens de serviços para o componente no primeiro trimestre de 2023.

Figura 9 – Índice de manutenibilidade.

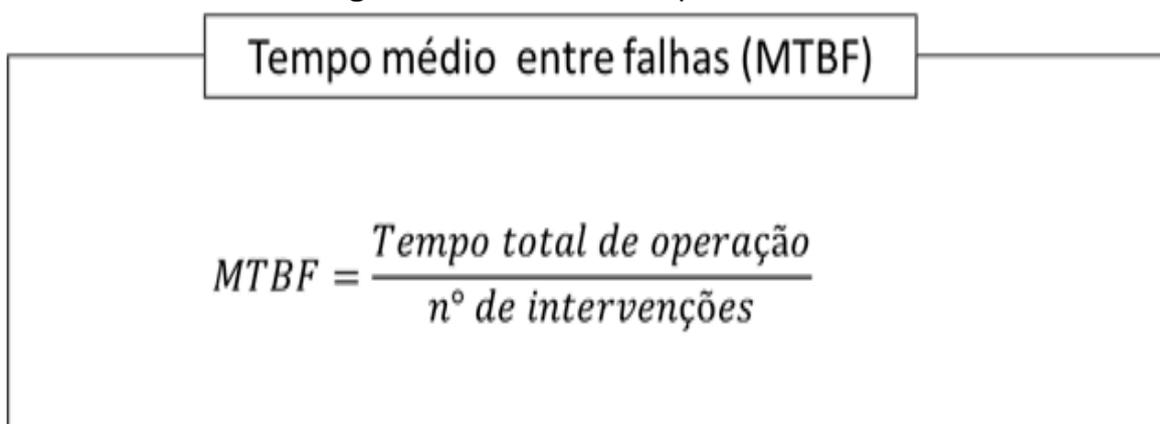




Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

Já a disponibilidade, que é a porcentagem de tempo em que um equipamento esteve disponível para operação em um determinado período. Esse é um indicador muito importante para manutenção, pois o principal objetivo da manutenção é garantir a maior disponibilidade possível para um equipamento. Para padrões de Classe Mundial os valores de disponibilidade dos equipamentos devem estar acima de 90%, apesar de valores acima de 80% serem competitivos. A Figura 10 apresenta os cálculos realizados para mensurar o índice de disponibilidade antes e após a melhoria, considerando o tempo total de operação dos três projetos.

Figura 10 – Índice de disponibilidade.



Tempo médio entre reparos (MTBF)

$$MTBF_{\text{antes da melhoria}} = \frac{2.160 - 26,25}{75} = 28,45 \text{ horas}$$

$$MTBF_{\text{após a melhoria}} = \frac{2.160 - 20}{75} = 28,54 \text{ horas}$$

Disponibilidade

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Disponibilidade

$$Disponibilidade_{\text{antes da melhoria}} = \frac{28,45}{28,45 + 0,32} = 98\%$$

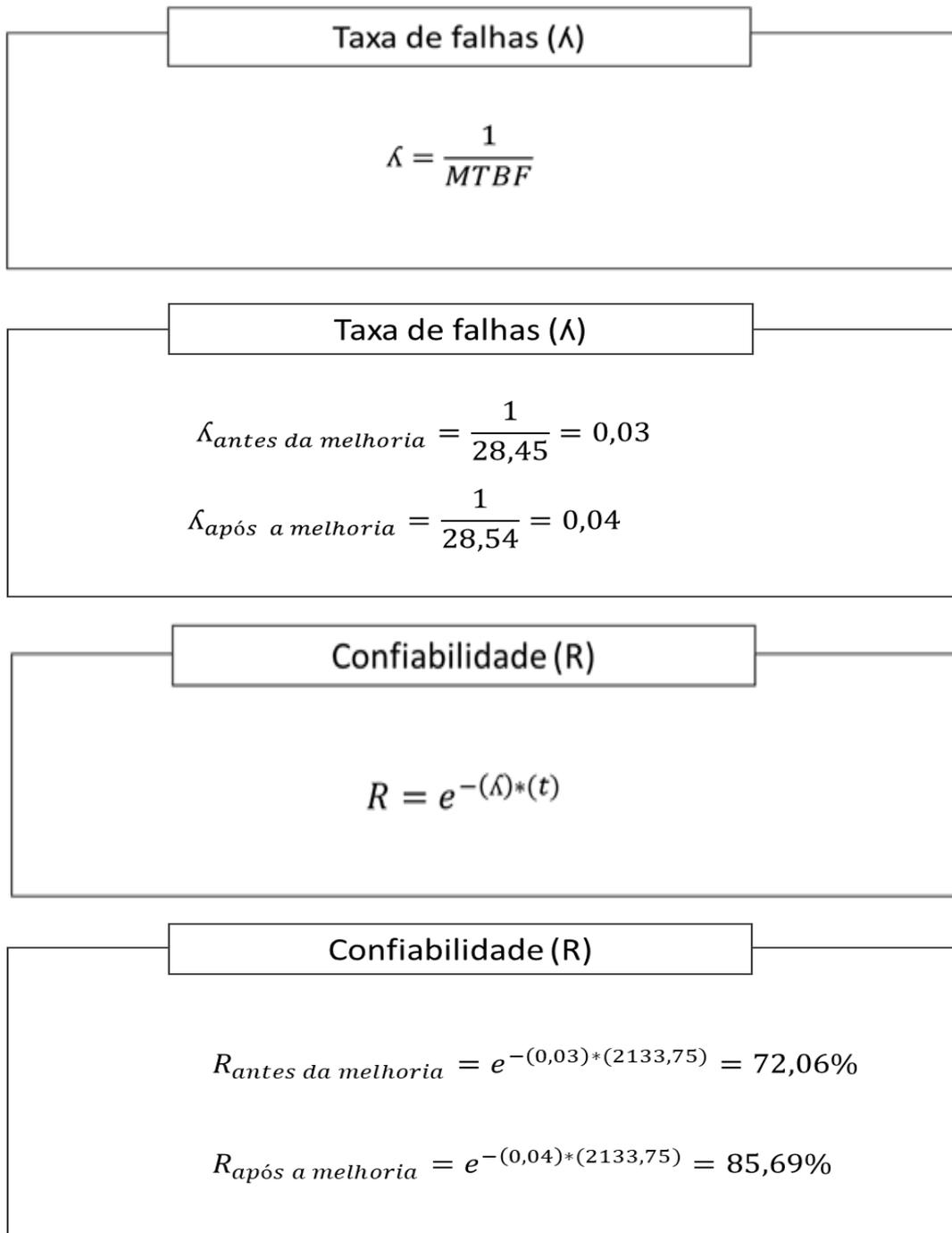
$$Disponibilidade_{\text{após a melhoria}} = \frac{28,54}{28,54 + 0,27} = 99\%$$

Fonte – Elaborado pelos autores (2023)

Quanto a confiabilidade (R), que é a probabilidade de um item, componente, equipamento, máquina ou sistema performar a sua função especificada no projeto, conforme as condições de operação especificadas, em um intervalo específico de tempo, sendo que elevados índices de confiabilidade refletem um eficaz plano de manutenção e adequado sistema de manutenção, pois, quanto maior o seu nível, menor foi as falhas e perdas provenientes dos equipamentos no período em análise.

A Figura 11 traz o cálculo da confiabilidade, utilizado para prospectar um cenário futuro baseado no histórico de falhas funcionais e potenciais do ativo crítico no passado. Assim, o tempo total trimestral de operação, neste caso, é do funcionamento do equipamento crítico e não de cada um dos três elementos analisados, removendo-se o tempo de parada produtiva, como observado nos documentos e relatórios de produtividade disponibilizados pela empresa.

Figura 11 – Índice de Confiabilidade.



Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

O percentual de Hora Homem (HH) alocados em ordens de serviço (OS) da manutenção em relação ao total de HH instalado ao período analisado. Este indicador da manutenção auxilia no aperfeiçoamento do treinamento dos colaboradores na manutenção industrial, pois, pode-se mensurar o percentual de HH dedicado a melhoria proposta em relação ao HH instalado no período considerado, assim, quanto menor for o índice melhor, pois, menos colaboradores da manutenção são utilizados para fazer o reparo. A Figura 12 apresenta o cálculo do índice de HHOS para o percentual de alocação da mão de obra antes e após a melhoria realizada em um mês.

Figura 12 – Índice HHOS.

Hora Homem por Ordem de Serviço (HHOS))

$$\% HH OS = \frac{\sum HH \text{ indicado em OS}}{\sum HH \text{ instalado em um mês}} \times 100\%$$

Hora Homem por Ordem de Serviço (HHOS))

$$HHOS_{\text{antes da melhoria}} = \frac{(0,32 * 25) * 3}{240} = 10\%$$

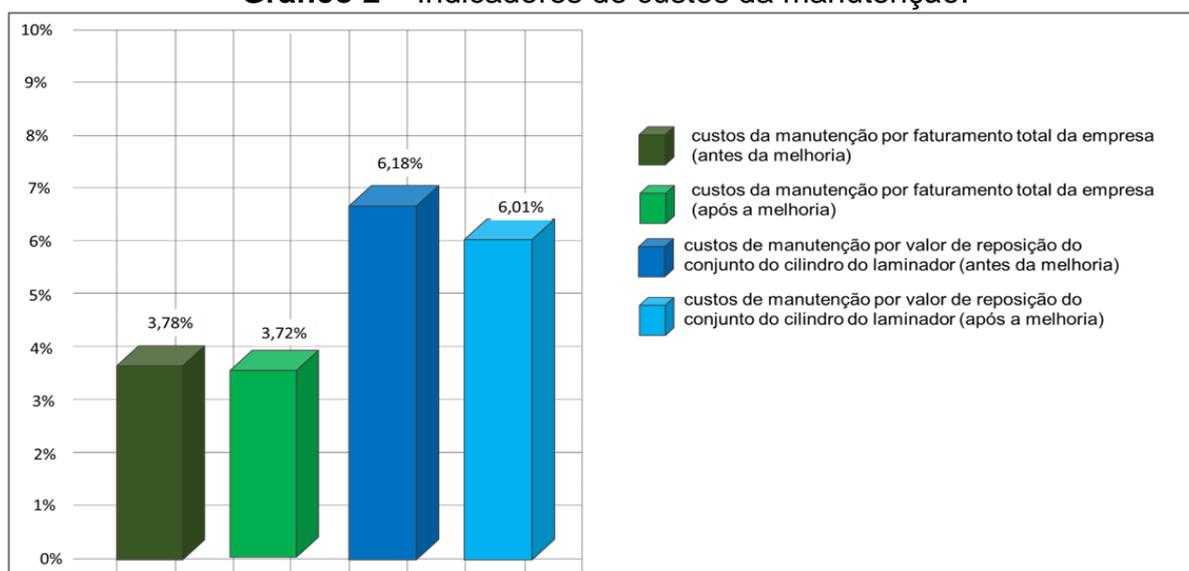
$$HHOS_{\text{após a melhoria}} = \frac{(0,27 * 25) * 3}{240} = 8,4\%$$

Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

Quanto aos custos da manutenção relevantes para análise da melhoria proposta se relatou dois tipos diferentes, além da alocação por HH que pode refletir a diminuição do custo com mão de obra, são os custos por faturamento, que é a diferença entre os gastos totais com a manutenção e o faturamento total da empresa, ou seja, a porcentagem do faturamento que é gasto na manutenção dos cilindros de manutenção em relação aos gastos totais da manutenção na empresa; e os custos de manutenção por valor de reposição, que dizem respeito ao custo de

manutenção do laminador pelo valor percentual de compra do conjunto (cilindro e bucha) ou destes componentes críticos isolados para troca e/ou reparo do laminador. A Gráfico 2 mostra os percentuais dos indicadores de custos da manutenção, que pela privacidade não serão demonstrados os cálculos.

Gráfico 2 – Indicadores de custos da manutenção.



Fonte – Elaborado pelos autores (2023).

Com esses dados, se realizou um *benchmarking* para comparação dos resultados sem a adequação da especificação e com os parâmetros buscados pela manutenção Classe Mundial, ou seja, no estado de ótima competitividade para os ativos críticos do setor industrial. A Tabela 3 apresenta o benchmarking realizado para analisar a efetividade das melhorias propostas.

Tabela 3 – Benchmarking.

	Antes da melhoria	Após a melhoria	Nível médio do mercado	Classe Mundial
Manutenibilidade	31,25%	37,04%	35,89%	> 50%
Disponibilidade	98%	99%	90%	> 90%
Confiabilidade	72,06%	85,69%	81,45%	> 98%
HHOS	10%	8,4%	18%	< 50%
Custo por faturamento	3,78%	3,72%	4,75%	< 2%
Custo de reposição	6,18 %	6,01 %	8,33%	< 6%

Fonte – Baseado em Bueno (2020).

Por fim, cabe ressaltar algumas limitações que podem ter atrapalhado a exposição da real amplitude do projeto de melhoria, entre elas, a impossibilidade de

se expor dados realistas obtidos com o acesso as ordens de serviço da manutenção, pois, nem todas as intervenções relatadas teve como alvo a remoção e montagem do componente crítico. Porém, no sistema foram adotadas como intervenção todas paradas relativas ao componente, independentemente do tipo de técnica e ajuste realizado que podem refletir em um menor ou maior tempo de parada do equipamento ao final, assim como não foram levadas em conta outras paradas produtivas não relatadas em documentos da manutenção.

Assim, o exposto pode não refletir os impactos exatos da melhoria, mas, vantagens já podem ser visualizadas para indicar quais são os índices que mais foram impactados com a melhoria, no caso, a manutenibilidade e disponibilidade, pelo menor tempo e padronização da operação para montagem mecânica da bucha no furo do cilindro.

4.2 DISCUSSÃO

Primeiramente, relata-se que ao analisar as especificações determinadas pelo projetista do fornecedor para a montagem mecânica com ajuste por interferência da bucha no furo do cilindro de laminação foi necessário realizar um estudo para identificar padrões nas operações em conformidade para estabelecer medidas e procedimentos ótimos visando colaborar para otimização dos KPIs da manutenção. Além disso, foram analisadas as causas das ocorrências da não correta montagem, ou seja, as que causam o travamento da bucha antes de atingir a profundidade do furo e a conseqüente não montagem.

Acredita-se que com uma melhor especificação e eliminação do desbaste por mandrilhamento para adequação dimensional no componente crítico repostado pode-se deteriorar a bucha, diminuindo o ciclo de vida útil do equipamento e, impactando sobretudo, no custo de reposição e na produtividade, pois, pelos altos custos do conjunto (buchas e cilindro) a falha funcional ou potencial pode acarretar milhares de reais direta e indiretamente por ocorrência.

Portanto, apesar de ainda não estar dentro das metas para manutenção Classe Mundial as melhorias propostas para melhor adequação das especificações do conjunto bucha e cilindro de manutenção melhorou os principais índices de manutenção, com destaque, para os custos de reposição, faturamento e

manutenibilidade, que refletem que a inadequação das especificações de componentes críticos do processo pode levar a perdas econômicas.

Deste modo, tendo em vista a diminuição do percentual dos custos parecer baixa, pelo alto valor de recursos dispendido com a manutenção na empresa siderúrgica reflete em uma economia anual significativa, além de se aproximar muito da Classe Mundial e se destacar em relação aos concorrentes. O maior destaque nas reduções é quanto à diminuição do tempo do processo de preparação, arrefecimento e montagem/acabamento, que reflete em ganhos diretos e indiretos, como maior manutenibilidade, menor tempo de reparo e maior tempo entre falhas.

Entretanto, visualizou-se que, com a avaliação do desempenho e controle do processo realizado, ainda é necessário estabelecer na Gestão da Manutenção da empresa formas para prospectar melhorias contínuas nos processos de manutenção, principalmente para itens críticos, visando colaborar para o crescimento da efetividade dos processos técnicos e gerenciais para atingir o estado ótimo de operação, principalmente quanto a manutenibilidade e disponibilidade destes equipamentos críticos, que ainda são itens a se melhorar, apesar de se mostrarem competitivos a nível do mercado brasileiro.

5 CONCLUSÃO

Contata-se que o objetivo principal foi contemplado, pois, ao desenvolver um projeto de melhoria para adequação das especificações e dos processos de montagem mecânica de um componente crítico pode-se perceber que ele obteve impactos positivos nos principais indicadores da manutenção industrial. Assim sendo, acredita que o controle e avaliação do desempenho destes KPIs, independentemente de melhorias planejadas, pode ajudar a prospectar melhorias contínuas nos processos gerenciais e técnicos da manutenção.

Assim, além do estudo de caso, observa-se que os outros objetivos específicos também foram contemplados e colaboraram para atingir com êxito o objetivo primário e a responder o problema da pesquisa. Deste modo, ao conceituar a gestão de performance de ativos críticos no setor industrial contatou-se que a manutenção passou de mera correção e reparos em ativos para um importante departamento estratégico, cujo principal cliente no setor industrial é a produção, que deve ter índices elevados de produtividade aos menores custos possíveis.

Quanto a discorrer sobre as particularidades da manutenção mecânica industrial, percebeu-se que suas intervenções são essenciais para garantir a efetividade não só dos sistemas mecânicos dos equipamentos e máquinas, mas também, de toda instalação. Pela grande amplitude de suas ações e pontos a se observar para garantir a performance dos ativos, geralmente, utiliza-se empresas terceirizadas para realizar as intervenções mais complexas que exijam uma maior qualificação e habilidades para execução.

Já ao investigar as métricas e indicadores da manutenção contatou-se que eles podem ser considerados ferramentas ótimas de gestão da manutenção, pois, além de ajudar avaliar a efetividade das melhorias propostas para aumentar a performance dos equipamentos, elas colaboram no controle e monitoramento dos processos gerenciais e técnicos. Além disso, elas colaboram para garantir as partes interessadas que os ativos de seu sistema produtivo irão conseguir atender plenamente a demanda prospectada.

Ao apresentar os equipamentos críticos responsáveis pelo processo de laminação visualizou-se que o trem do laminador, a cadeira e seus cilindros de laminação estão entre os componentes que devem ser monitorados para que não ocorram paradas inesperadas que possam comprometer o nível de produtividade da

empresa, tendo em vista não só os esforços e ambiente adverso onde eles operam, como também, a alta produção em escala necessária para viabilizar as operações siderúrgicas e do setor metalmeccânico.

Quanto a relatar os procedimentos técnicos da manutenção nos ajustes por interferência, considerou que eles são de extrema importância para manutenção mecânica, tendo em vista que os elementos e componentes mecânicos têm zonas críticas onde a precisão é primordial, ou partes compostas por dois ou mais elementos reunidos entre si, como a bucha e o cilindro do laminador analisado durante o estudo de caso.

Enfim, tendo como suporte teórico-conceitual os objetivos específicos já mencionados, buscou-se desenvolver um projeto de melhoria para adequação das especificações de um componente mecânico crítico, onde se mostrou necessário investigar tanto os módulos de falha e suas causas, como as intervenções mais efetiva, além das variáveis do processo que poderiam afetar positivamente o processo de montagem mecânica do conjunto bucha e cilindro, sendo a principal o tempo e as medidas adequadas para um ajuste por interferência eficaz.

Como limitação, percebeu-se que a complexidade do estabelecimento dos indicadores de desempenho vem das coletas de dados, que deve ser eficaz para que o desempenho mensurado seja compatível com o real para que as tomadas de decisão sobre quais melhores planos de manutenção seguir sejam assertivas. Desta forma, relata-se que, por ter apenas os documentos e ordens de serviço ligadas as intervenções da manutenção, alguns dos indicadores que necessitam do tempo exato de produção descontando as várias paradas produtivas em um dado período podem não refletir a realidade, mas para os fins propostos é suficiente.

Por fim, respondendo a principal questionamento da pesquisa, indica-se que o principal indicador melhorado com o projeto foi a manutenibilidade, porém, cabe destacar que a redução dos custos de manutenção foi o mais sentido, já que apesar do pequeno percentual de redução, o custo real reflete em milhares de reais e praticamente coloca a manutenção da empresa em Classe Mundial, diferente da manutenibilidade que apesar de ter um aumento exponencial, ainda precisa melhorar muito para chegar a esse patamar.

Como sugestão para futuras pesquisas, indica-se abordar as ferramentas de gestão necessárias para avaliação e identificação dos ativos críticos de diferentes processos produtivos visando otimizar os planos e o controle da manutenção.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 55000: Gestão de Ativos**. Brasília: ABNT, 2014.

_____. **ABNT NBR 6158/1995**: sistema de tolerâncias e ajustes aplicados em desenho técnico. Brasília: ABNT, 1995.

ALMEIDA, P. S. D. **Manutenção Mecânica Industrial**: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada. 1ª edição. 2ª tiragem. São Paulo: Érica, 2016.

BASTOS, M., MANGABEIRA, R.C. **Análise da montagem de componentes mecânicos com ajuste por interferência em cilindros de laminação**. 2020. 66p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2020.

BUDYNAS, R. G., KEITH, J. N. **Elementos de Máquinas de Shigley**: Projeto de Engenharia Mecânica, 9ª edição. Rio de Janeiro: Bookman, 2016.

BUENO, E. R. F. **Gestão da Manutenção de Máquinas**. Curitiba: Contentus, 2020.

CASTRO, W. B. KIMINAMI, C. S. OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. 1ª edição digital. São Paulo: Blucher, 2018.

CARDOSO, T. N. R. **Metodologias de Gestão de Ativos na perspectiva do prestador de serviços da manutenção**. Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção. Instituto Politécnico de Setúbal. Portugal, 2017. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/19760>. Acesso em: 30 mar. 2023

COLLINS. J. A., **Projeto mecânico de elementos de máquinas**: Uma perspectiva de prevenção da falha. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CONTERATO, G. P. **Manutenção industrial mecânica**: estudo de caso sobre a gestão da manutenção. 2017. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15190/1/PB_DAMEC_2017_1_06.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. **Manutenção industrial**. Revisão técnica: Henrique Martins Rocha. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

GREGÓRIO, G. F. P.; PRATA, A. B. SANTOS, D. F. **Engenharia de manutenção**. Revisão técnica: André Shataloff. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

LIRA, V. M. **Princípios dos processos de fabricação utilizando metais e polímeros**. 1ª edição digital. São Paulo: Blucher, 2018.

LUCATO, A. V. R.; OLÍVIO, A.; SOEIRO, M. V. A. **Gestão da Manutenção**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S. A., 2017.

MACIEL, C. I. S. **Processos de Fabricação**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S. A., 2017.

MARTINS, J. C. **O papel da engenharia na gestão de ativos de uma unidade industrial**. Portugal, 2015. 187 p. Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Manutenção. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/5402/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2023.

MEGIOLARO, M. R. O. **Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos**. Pato Branco, 2015. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15030>. Acesso em: 31 mar. 2023.

PARRA FILHO, D.; SANTOS, J. A. **Metodologia científica**. 2ª edição. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

PINTO, A. K. XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. 5ª edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro: Qualitymark/ Petrobrás, 2020.

RIZZO, E. M. S. **Processos de Laminação dos Aços: Uma Introdução**. São Paulo: ABM, 2007.