



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas - ICEA  
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção

---



## **Trabalho de Conclusão de Curso**

# **REDUÇÃO DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO**

**Plínio Duarte Bazílio**

**João Monlevade, MG  
2020**

**Plínio Duarte Bazílio**

**REDUÇÃO DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS DE FALHAS EM  
EQUIPAMENTOS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.  
Orientadora: Profa. Elisângela Fátima de Oliveira

**Universidade Federal de Ouro Preto  
João Monlevade  
2020**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B363r Bazilio, Plinio Duarte .  
Redução do número de ocorrências de falhas em equipamentos no  
processo de laminação. [manuscrito] / Plinio Duarte Bazilio. - 2021.  
54 f.: il.: color., gráf., tab., mapa. + Fluxograma.

Orientadora: Profa. Dra. Elisângela Fátima de Oliveira.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de  
Produção .

1. Aço - Indústria - Qualidade. 2. Confiabilidade. 3. Controle de  
produção. 4. Equipamentos industriais - Localização de falhas  
(Engenharia) . 5. Laminação (Metalurgia). 6. Siderurgia . I. Oliveira,  
Elisângela Fátima de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Plínio Duarte Bazílio

### Redução do número de ocorrências de falhas em equipamentos no processo de laminação

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção

Aprovada em 18 de dezembro de 2020, com nota 7,5.

#### Membros da banca

[Dra] - Elisângela Fátima de Oliveira - Orientadora (UFOP)

[Dra] - Clarissa Barros da Cruz - (UFOP)

[Eng<sup>a</sup>.] - Aline Mara Alves Soares (UFOP)

Elisângela Fátima de Oliveira, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26 de janeiro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Wagner Ragi Curi Filho, COORDENADOR(A) DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - JM**, em 26/01/2021, às 18:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0127827** e o código CRC **54A29C85**.

## RESUMO

Com a alta demanda de produção do aço e devido a fatores econômicos e de segurança do trabalho, as indústrias siderúrgicas têm buscado melhorar cada vez mais a eficiência nos processos produtivos evitando assim, falhas e perdas. Os equipamentos utilizados na produção possuem diversos componentes e em caso de falhas acarretam em prejuízos por longas paradas na linha de produção, sucateamento do material em linha, exposição da equipe de trabalho à riscos de segurança para restabelecimento do processo, falhas no material, atraso na entrega de pedidos, entre outros. Diante dessa situação, o presente trabalho foi realizado em uma indústria siderúrgica, que será chamada de *Siderurgia A* por questões de sigilo empresarial. Tem-se como objetivo geral de propor soluções para mitigar e/ou eliminar as falhas dos equipamentos do “caminho da barra” no processo de laminação da *Siderurgia A*, reduzindo consequentemente o número de ocorrências de sucatas no processo e o tempo de parada. Para tal o estudo foi desenvolvido a partir de uma abordagem metodológica natureza qualitativa através de uma pesquisa aplicada. Dentre os resultados, destacam-se os ganhos tangíveis na melhoria dos resultados da oficina e do laminador e, como intangíveis, o emprego de novas metodologias aplicadas ao processo produtivo como a utilização do Diagrama de Causa e Efeito com Adição de Cartões - CEDAC, análise sistemática de anomalias e a cultura nas ações preventivas a partir das revisões de normas e de planos de inspeções.

Palavras chave: Melhoria Contínua. Qualidade. Produção de aço. Confiabilidade, Gestão da manutenção. Redução de falhas.

## ABSTRACT

With the high demand for steel production and due to economic and safety factors at work, industries have sought to increasingly improve efficiency in production processes, thus avoiding failures and losses during steel production. The equipment used in the production has several components and in the event of failures, they result in losses due to long stops in the production line, scrapping of the material in line, exposure of the work team to safety risks to reestablish the process, poor quality, delay in delivery of orders, among others. In view of this situation, the present work was carried out in a steel industry, which will be called Siderurgia A for reasons of business secrecy, with the general objective of proposing solutions to mitigate and / or eliminate the failures of the equipment of the “path of the bar” in the rolling process of Siderurgia A, consequently reducing the number of scraps in the process and downtime in the production process. The methodology of this research is classified as an applied research and the methodological approach used is of a qualitative and quantitative nature. Among the results, the main one was the tangible gains such as the improvement in the results of the workshop and the laminator and intangible gains for the development of the team in the participation of Cause and Effect Diagram with Adding Cards - CEDAC, analysis of anomalies besides improving the work methodologies focusing on the preventive actions from the revisions of standards and inspection plans.

Key words: Continuous improvement. Quality. Steel production. Reliability, Maintenance management. Failure reduction.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
1.2 Justificativa e Relevância do Trabalho.....	15
1.3 Organização Do Trabalho.....	15
2. METODOLOGIA DE PESQUISA .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	17
3.1 Gestão da Manutenção.....	18
3.2 Confiabilidade na Manutenção .....	18
3.3 Redução de Falhas no Processo Produtivo .....	19
3.5 Indicadores de Gestão da Qualidade .....	20
3.5.2 MASP .....	22
3.5.3 Método de Análise de Pareto.....	24
3.5.4 Diagrama de Causa e Efeito com Adição de Cartões - CEDAC .....	26
3.5.5 FMEA .....	27
3.6 Siderurgia .....	29
3.7 Laminação .....	30
3.8 Manutenção Industrial .....	32
3.9 Tipos de Manutenção.....	32
3.9.1 Manutenção corretiva .....	33
3.9.2 Manutenção preventiva.....	34
3.9.3 Manutenção preditiva .....	35
3.10 Confiabilidade e Manutenção dos Ativos Industriais.....	35
4.1 Caracterização da Área de Estudo .....	36

4.4 Levantamento de dados das causas do problema .....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.1 Análise do deslocamento do anel de WC .....	45
5.2 Análise da quebra do eixo RE25 .....	47
5.3 Análise de quebra do rolete .....	51
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55



## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a sociedade é extremamente dependente da indústria do aço. Por ser um material com ótima resistência mecânica e podendo ser trabalhado de diversas formas, o material é utilizado em inúmeras aplicações, tanto nas estruturas de construções, como em utensílios domésticos. Com a alta demanda de produção e devido a fatores econômicos e de segurança do trabalho, as indústrias, segundo Barbosa (2019), têm buscado melhorar cada vez mais a eficiência nos processos produtivos evitando assim, falhas e perdas durante a produção do aço. Pois quanto maior a otimização de processos e monitoramento de dados, melhor e mais fácil será prever os resultados e melhorar a qualidade do produto final (BARBOSA, 2019).

A globalização estreitou as fronteiras em todo o mercado mundial. Com isso, o livre comércio ampliou as oportunidades para os clientes, tornando-os cada vez mais exigentes e a tecnologia facilitou ainda mais a análise comparativa. Um dos critérios decisórios para a compra de uma mercadoria é o seu preço. Visto isso, as empresas buscam cada vez mais reduzi-los para se manter competitivos. (SALES, et al., 2015).

A concorrência tem aumentado substancialmente, indústrias passaram a exportar competindo com mercados antes nunca ameaçados internamente e para se tornar ou continuar competitivo é necessário aumentar a eficiência do sistema. Há várias formas de se investir para tornar a empresa mais competitiva, a confiabilidade, conhecimento, custo, inovação, qualidade, rapidez, relacionamento com os clientes, técnicas de produção, sistemas de controle, de informação e comunicação são fatores empresariais que podemos considerar no âmbito interno (SALES, et al., 2015).

É natural a busca pela quantificação desses fatores, para tanto existem alguns indicadores que mesmo não retratando toda a realidade, uma vez que é difícil isolar completamente esses fatores devido ao fato de um influenciar no outro, auxiliam na análise do cenário para definição de estratégias e tomada de decisão.

As siderúrgicas empregam amplamente um processo conhecido como laminação. De acordo com Medeiros et al. (2008), a laminação é um processo de conformidade na qual o material é forçado a passar entre dois cilindros que giram em sentidos opostos e tem praticamente a mesma velocidade. Esse material é deformado ao longo de cada cilindro, com objetivo de diminuir a espessura e aumentar o comprimento, e a largura podendo ou não ser aumentada. Coda (2018) conceitua laminação como um processo de

conformação mecânica executado por compressão direta, sem retirada de material, visando obter deformações plásticas no material, mantendo sua massa.

No geral, esse processo possui diversos equipamentos e componentes de máquinas, e os principais equipamentos da linha produtiva que são a base para do processo de laminação são em algumas siderúrgicas, conhecidos como equipamentos do “caminho da barra”, termo utilizado para expressar que estes têm contato direto com o produto em processo. Esses equipamentos possuem diversos componentes e em caso de falhas acarretam em prejuízos por longas paradas na linha de produção, sucateamento do material em linha, exposição da equipe de trabalho à riscos de segurança para restabelecimento do processo, má qualidade, atraso na entrega de pedidos, entre outros.

Diante de tal situação, quais seriam as soluções para mitigar a ocorrência de sucatas no caminho da barra e o tempo de parada no processo de laminação? O presente estudo foi realizado em uma indústria siderúrgica, que será chamada de *Siderurgia A*, por questões de sigilo empresarial, com o objetivo de mitigar as principais falhas dos equipamentos do caminho da barra do processo de produtivo.

## 1.1 Objetivos

Este estudo tem por finalidade os seguintes objetivos:

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa foi propor soluções para mitigar as falhas dos equipamentos do “caminho da barra” no processo de laminação da *Siderurgia A*, reduzindo, conseqüentemente, o número de ocorrências de sucatas no processo e o tempo de parada do processo produtivo.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar um diagnóstico de falhas nos equipamentos do caminho da barra de laminação;
- b) Evidenciar os principais equipamentos que geram perdas expressas na forma de sucata no processo;
- c) Analisar as causas fundamentais das falhas;

d) Propor a aplicação de ferramentas da qualidade associadas à Gestão da Manutenção como forma eficaz de mitigar o número de falhas e seus impactos na linha de produção;

## **1.2 Justificativa e Relevância do Trabalho**

O atual cenário de paradas não programadas, cerca de 16 no ano de 2018, e geração de sucata na empresa em estudo afeta diretamente a qualidade, segurança e os lucros da empresa, em virtude de perdas de produção, tempo, materiais, equipamentos e maquinários. Sendo assim, conhecer e tratar os pontos considerados críticos no processo se tornam indispensáveis para o planejamento, aperfeiçoamento e melhoria da qualidade, bem como na diminuição dos custos.

Com isso, o presente trabalho se justifica visando obter uma melhor compreensão das causas geradoras da sucata além de abordar soluções para aprimorar o funcionamento do processo de laminação da *Siderurgia A* utilizando conhecimentos adquiridos durante a graduação no curso de Engenharia de Produção na Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP Campus ICEA.

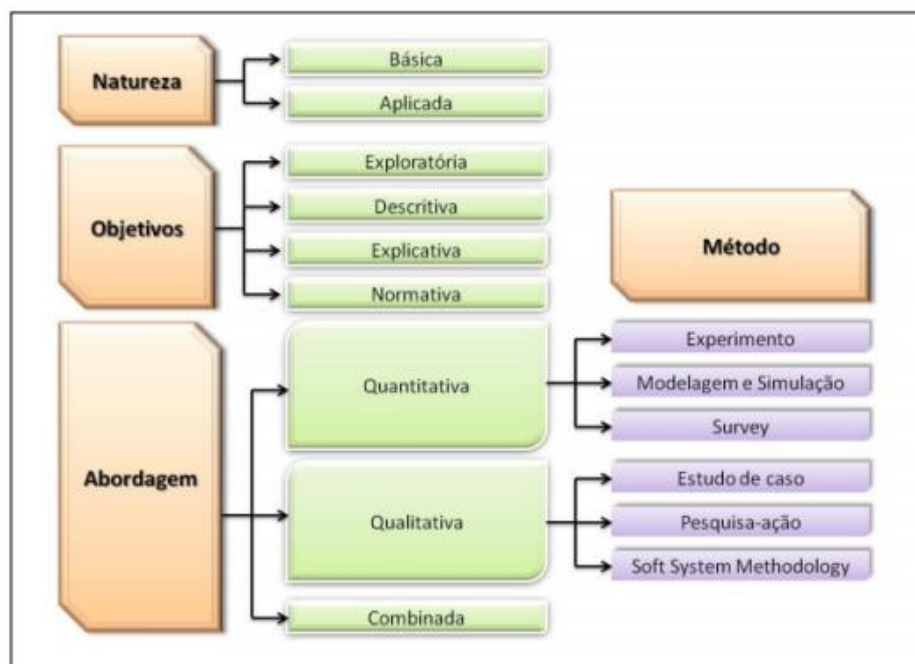
## **1.3 Organização Do Trabalho**

Este trabalho de conclusão de curso encontra-se dividido em seis (6) seções. Sendo a Introdução, na qual é apresentada a problemática da pesquisa, bem como os objetivos gerais específicos e a justificativa do trabalho. Na segunda seção, é descrita a Metodologia que caracteriza a presente pesquisa. A terceira apresenta a revisão de literatura, que consiste na abordagem do assunto tratado neste trabalho por diversos autores. Na quarta seção é abordado o Material e Métodos, que consiste na apresentação do passo a passo do desenvolvimento do trabalho. Na quinta, é apresentada a análise dos Resultados e Discussões e por último, as Considerações Finais deste trabalho de conclusão de curso.

## **2. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Turrioni e Mello (2012) explicitam que, uma das formas clássicas de classificar uma pesquisa é quanto a sua natureza, os objetivos do trabalho, a forma de abordagem e, por fim, o método utilizado que são esquematizados na Figura 1.

Figura 1: Classificação da pesquisa científica



Fonte: Turrione; Mello (2012, p. 80).

Esses autores descrevem a pesquisa de natureza básica como aquela que busca a ampliação de conhecimentos teóricos, sem a preocupação de utilizá-los na prática, enquanto a pesquisa aplicada possui um interesse prático, dirigido à solução de problemas específicos. Assim, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa de natureza aplicada, pois utilizou-se conhecimentos teóricos da área da qualidade e gestão da manutenção aplicados em uma situação real.

O presente trabalho tem como objeto de estudo, o estudo de caso que, de acordo com Ventura (2007), tem uma análise de modo detalhado de um caso individual. Com este procedimento se supõe que se pode adquirir conhecimento do fenômeno estudado a partir da exploração intensa de um único caso.

A abordagem metodológica utilizada é de natureza qualitativa, pois constitui-se de disponibilidade de dados a serem coletados e analisados e situações de natureza física que podem e devem ser analisados cuidadosamente afim de se realizar conclusões

técnicas com base em suas características. Esta concepção é destacada por Santos et. al. (2017, p. 2) que conduz diferentes situações em que o método misto pode ser utilizado. Após a execução das ações estabelecidas, houve um acompanhamento para verificar a eficácia das mesmas, percorrendo assim todas as etapas do ciclo do PDCA.

Posteriormente foram utilizados critérios para priorização dos KPI's. Uma vez estratificados utilizou-se a metodologia de Pareto para priorizar os indicadores mais relevantes.

A fase de coleta de dados foi realizada no ano de 2019 até setembro de 2020 e verificado também o comportamento no ano de 2018. Para a realização desta foi utilizado sistema de execução de manufatura (MES) <sup>®</sup>, que são sistemas computadorizados usados na manufatura para rastrear e documentar a transformação de matérias-primas em produtos acabados pela empresa em estudo.

O MES<sup>®</sup> fornece informações que ajudam os tomadores de decisão de manufatura a entender como as condições atuais no chão de fábrica podem ser otimizadas para melhorar a produção. Nesse sistema são apontadas algumas variáveis do processo como produção, ocorrências de paradas no processo e perdas de produtos em processo, permitindo a exportação desses dados para análises.

Em conjunto, foi utilizado a metodologia MASP para organização e direcionamento da investigação dos problemas, suas prováveis causas e as soluções factíveis para reduzi-las ou eliminá-las.

Análises em laboratório metalúrgico de macro e micrografia, fraturas, ensaios destrutivos e não destrutivos foram utilizados para complementação das análises qualitativas para direcionamento das causas e caracterização das falhas nos equipamentos.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

Para o desenvolvimento desse estudo serão abordados alguns tópicos relevantes e necessários como conhecimento prévio para cumprimento dos objetivos. Como parte desse arcabouço, estudos de confiabilidade e gestão de falhas na área de manutenção mecânica, ferramentas e metodologias para análise embasaram o desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, técnicas para resolução de problemas e análises em laboratórios de macro, micrografias e ensaios metalúrgicos instalados na *Siderurgia A* também se mostraram relevantes

### **3.1 Gestão da Manutenção**

A manutenção, embora despercebida, sempre existiu, mesmo nas épocas mais remotas. Começou a ser conhecida com o nome de manutenção por volta do século XVI na Europa central, juntamente com o surgimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Tomou corpo ao longo da Revolução Industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na Segunda Guerra Mundial. No princípio da reconstrução pós-guerra, Inglaterra, Alemanha, Itália e principalmente o Japão alicerçaram seu desempenho industrial nas bases da engenharia de manutenção. (MARTINS, 2019).

Segundo Osada (1993), o gerenciamento da manutenção deve considerar os seguintes pontos:

- Restringir os investimentos em equipamentos desnecessários;
- Utilizar ao máximo os equipamentos existentes;
- Melhorar a taxa de utilização do equipamento para a produção;
- Garantir a qualidade do produto, através do uso do equipamento;
- Reduzir o custo com a mão de obra, através de ações que otimizem os serviços no equipamento;
- Reduzir os custos de energia e de materiais adquiridos, através de inovações no equipamento e melhoria dos métodos de sua utilização.

### **3.2 Confiabilidade na Manutenção**

Um ativo pode ser definido como algo que tem valor real ou potencial para uma organização. A confiabilidade de um ativo corresponde a sua probabilidade de desempenhar de forma adequada o seu propósito conforme especificação, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais e operacionais predeterminadas. Os métodos para análises de confiabilidade foram gradualmente sendo inseridos como ferramentas padronizadas para o planejamento e operação de sistemas

complexos automatizados, como por exemplo, no segmento de mineração, no qual teve a sua aplicação iniciada na década de 1980.

O conceito de confiabilidade foi introduzido na manutenção por um trabalho seminal sobre falhas em equipamentos eletrônicos de uso militar nos anos 1950, nos Estados Unidos da América. A tarefa foi conduzida por um grupo de estudos da *Federal Aviation Administration*, cujas conclusões reorientaram os procedimentos de manutenção até então vigentes: (i) se um item não possui um modo predominante e característico de falha, revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade do item; e (ii) para muitos itens, a prática de manutenção preventiva não é eficaz. (MOUBRAY, 1996)

### **3.3 Redução de Falhas no Processo Produtivo**

A otimização contínua dos processos produtivos nas organizações tornou-se de suma importância, para adquirir vantagens competitivas no mercado, aumentar a satisfação do cliente e atingir um dos seus principais objetivos que é a maximização do lucro. Logo, diminuir a onerosidade e aumentar a eficiência na produção, e controlar corretamente a cadeia de suprimentos, é essencial para alcançar a excelência. Neste contexto, é inviável que as empresas tenham grande volume de retrabalho e desperdícios em sua linha de produção. (BARROS; VASCONCELOS, 2017)

Uma das formas de melhorar os processos produtivos é eliminar essas perdas, ao identificar as causas e as medindo. Na visão de Graeml e Peinado (2007), as perdas são gastos, geralmente previstos, que não geram um novo produto, portanto, não agregam valor ao produto final, aumenta os custos e interferem nos resultados finais. Apesar de serem previstas, são indesejáveis e devem ser continuamente controladas.

### **3.4 Gestão da Qualidade**

A qualidade tem sido cada vez mais presente nas organizações. Porém, existem diferentes percepções e interpretações abordadas por diversos autores sobre o conceito de qualidade. Segundo Deming (1990, p.125):

A qualidade só pode ser definida em termos de quem a avalia, na opinião do operário, ele produz qualidade se puder se orgulhar de seu trabalho, uma vez que baixa qualidade significa perda de negócios e talvez de seu emprego.

Alta qualidade pensa ele, manterá a empresa no ramo. Qualidade para o administrador de fábrica significa produzir a quantidade planejada e atender às especificações.

Ainda segundo o mesmo autor (1990), citando uma de suas mais famosas frases: “Qualidade é atender continuamente às necessidades e expectativas dos clientes a um preço que eles estejam dispostos a pagar”.

Segundo Silva (2009, p. 11), qualidade deriva da palavra latina *qualitate* e “é sinônimo da procura contínua de melhoria em todas as vertentes, desde a política e estratégia da organização até aos indicadores financeiros mais relevantes, passando pelos níveis de satisfação de todos os *stakeholders*”.

Lopes (2014), constatou que a gestão da qualidade pode constituir um verdadeiro recurso estratégico para as empresas se houver compromisso da gestão e envolvimento dos colaboradores.

Qualidade é muitas vezes empregada com o significado de excelência de um produto ou serviço. Em algumas companhias de engenharia, a palavra pode ser usada para indicar que a peça de metal está de acordo com certas características físicas, dimensionais, estabelecidas muitas vezes na forma de uma especificação particularmente apertada. Já em um hospital a palavra pode ser referida ao profissionalismo. É preciso atender as necessidades, expectativas e exigências de cada cliente (OAKLAND, 2007).

### **3.5 Indicadores de Gestão da Qualidade**

Indicadores de qualidade são ferramentas utilizadas para medir e acompanhar o desempenho de uma empresa e estão entre os principais tipos de indicadores de desempenho de processos, os famosos KPIs (*Key Performance Indicators*). Ou seja, os indicadores nada mais são do que a ferramenta utilizada para chegar ao objetivo previamente estabelecido. (NEVES, 2012)

Existem milhares de indicadores que podem ser medidos. Porém cada um deve estar intrinsecamente ligado aos objetivos por um motivo muito simples: são eles que medem a performance de cada um dos objetivos.

Os indicadores de qualidade são aqueles indicadores que mostram tanto se há produtos ou serviços entregues com inconformidades, defeitos ou descumprindo os procedimentos determinados, assim como indicando se, mesmo dentro desses limites



aceitáveis, estão suprindo as necessidades e desejos dos clientes e até se conseguem superar suas expectativas.

Os indicadores de qualidade podem ser diversificados e possuem a função de, por meio de padrões preestabelecidos pela empresa e clientes, mensurar o resultado final. Exemplo: Uma empresa garantiu cem por cento das entregas dentro do prazo. Então esse é um indicador de qualidade. Ao utilizar indicadores de qualidade, é extremamente importante acessar regularmente dados precisos, confiáveis e de boa qualidade. (DOYLE, 2018).

As ferramentas utilizadas como indicadores de qualidade no presente estudo foram o Ciclo PDCA, MASP, Método de Análise de Pareto, Método CEDC E FMEA que estão descritas nas seções a seguir.

### 3.5.1 Ciclo PDCA

Na década de XX, o Dr. W Edwards Deming, em visita a algumas empresas verificou que estas realizavam inspeção nos produtos somente ao final do processo, para identificar erros. Na sua visão, aquele procedimento estava incorreto, pois representava apenas uma ação corretiva e não preventiva gerando custos maiores. Logo a seguir, Dr. Deming conheceu Walter A. Shewhart, engenheiro do departamento de controle de qualidade da empresa americana Western Electric que foi o precursor na identificação da causa de variações nos processos de produção e desenvolveu métodos estatísticos que permitiam o controle das variações do produto. (CAMARGO, 2011)

Nos anos de 30 a 40, Deming se dedicou ao aperfeiçoamento e aplicação prática de suas concepções. E com isto desenvolveu uma das bases mais solidificadas e utilizadas até os dias de hoje, no que se diz respeito a “QUALIDADE”. (CAMARGO, 2011)

O ciclo de Deming ou ciclo PDCA, (do inglês – *Plan, Do, Check and Action*), é um método gerencial que deve ser utilizado para planejamento e implantação de processos, melhorias e/ou correções em processos já existentes. O conceito PDCA é atualmente aplicado na melhoria continua de processos de gestão.

A qualidade não é apenas mais uma opção das organizações, mas sim, um fator de competitividade, pois a concorrência utiliza-se de metodologias e ferramentas com o objetivo de extrair delas todo o potencial de melhoria nos processos e inovação nos produtos. São ferramentas simples e muito eficazes que auxiliam o gestor na solução de

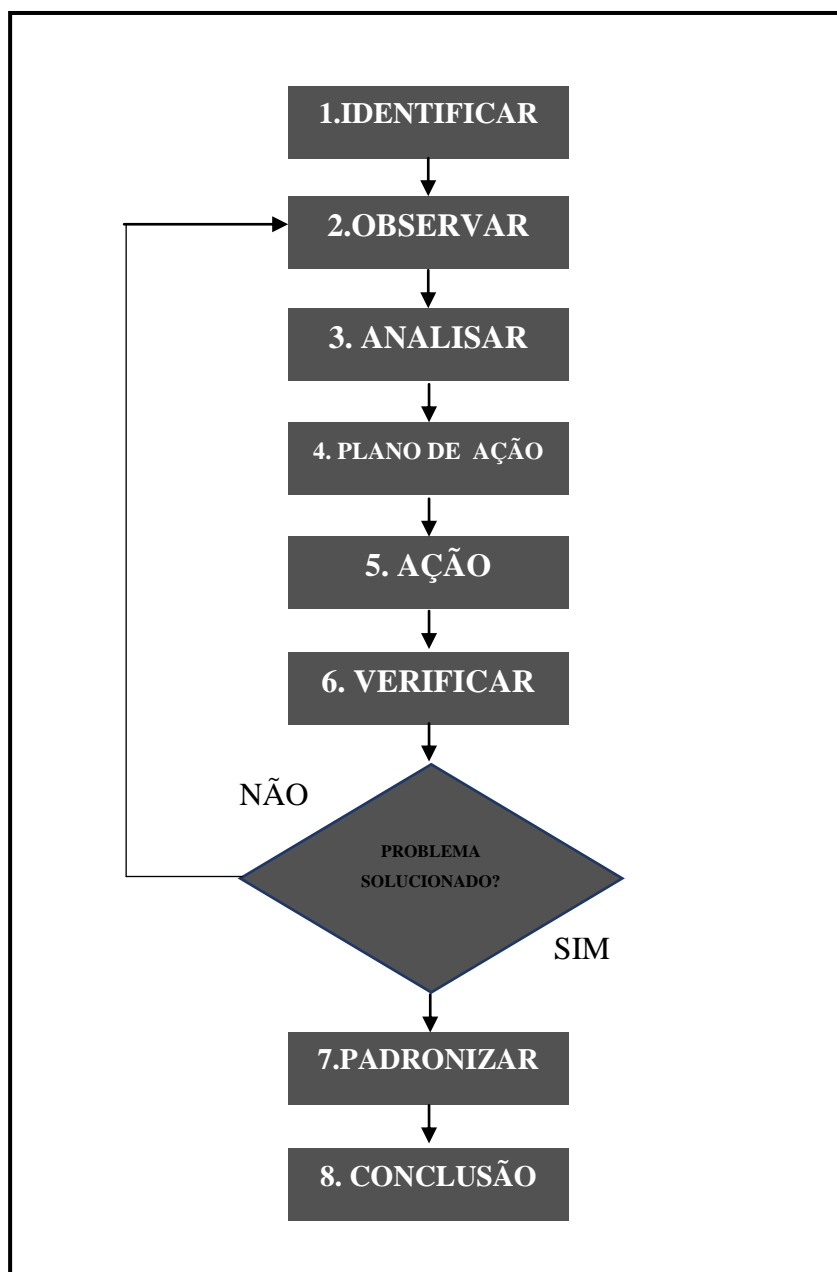
problemas organizacionais dos mais simples aos mais complexos. (DOPKE; SPREDEMANN, 2015)

Gestão da qualidade e melhoria contínua são assuntos correlatos e o ciclo PDCA é uma das ferramentas mais utilizadas para que se consiga manter a qualidade e a melhoria continuamente no processo produtivo de uma organização. (MACHADO, 2012).

### 3.5.2 MASP

É uma das metodologias empregadas como ferramentas da qualidade e é um método utilizado para encontrar, de forma sistematizada, as soluções mais adequadas para os problemas, com base na utilização do PDCA e outras ferramentas de qualidade. Os passos para a aplicação do MASP são esquematizados na Figura 2.

Figura 2: Passos para aplicação do MASP



Fonte: Formentini, 2014.

Rodrigues (2016) explica as oito etapas do MASP:

1) Identificação do problema: A etapa onde o problema é selecionado, cria-se um histórico do mesmo, definição das propriedades e nomeação de responsáveis;

- 2) Observação do Problema: Observação de forma sistêmica, buscando elencar as características e informações relevantes através de coleta de dados, observação do local e definição de metas e orçamentos;
- 3) Análise: Nessa etapa descobre-se as causas fundamentais do problema, definindo as mais influentes e selecionando as mais prováveis;
- 4) Planejamento da ação ou Plano de ação: Elaboração de procedimentos e estratégias de ação que possibilite a solução do problema;
- 5) Ação: Divulgação do plano de ação e estratégias, através de treinamento e reuniões participativas, execução da ação para bloquear as causas do problema;
- 6) Verificação: Comparação de resultados, listagem de efeitos, observação da continuidade ou não do problema. O plano de ação resolveu o problema?;
- 7) Padronização: Adota-se o procedimento que foi criado ou alterado no plano de ação, através de comunicação, educação e treinamentos;
- 8) Conclusão: Cria-se uma relação dos problemas remanescentes, avalia-se a aplicação do método e faz-se uma reflexão fortalecendo as lições aprendidas.

Para Martins (2018), o método MASP é concebido de forma ordenada, composto de várias etapas e destina-se à escolha de um problema para solucionar certa situação, após segmentar a análise de causas, determinar e planejar um conjunto de ações, verificar o resultado da solução e disseminar de aprendizado decorrido de sua aplicação.

“O MASP é um método que permanece atual e em prática contínua, resistindo às ondas do modismo, incluindo aí a da Gestão da Qualidade Total, sendo aplicado regularmente até progressivamente por organizações de todos os portes e ramos.” Esta é uma citação de Guedes et al. (2015) p. 4, em um artigo publicado sobre o estudo da Aplicação da Ferramenta MASP na Solução de Problemas de Concepção e/ou não Conformidade no Sistema de Climatização Automotivo.

### 3.5.3 Método de Análise de Pareto

O método de análise de Pareto é uma ferramenta utilizada para resolução de problemas. Segundo Silva *et. al.* (2015) p. 82:

um determinado evento é considerado um problema a partir do momento em que começa a produzir resultados indesejáveis para uma empresa. A partir de então, dever-se-ia iniciar uma mobilização em busca da resolução deste problema. Porém, nem sempre é o que acontece. O que se vê na maioria dos casos são tentativas de eliminar a todo custo esses resultados indesejáveis, o que não significa trabalhar para resolver de fato o problema. Esta típica atitude é conhecida como ação sobre os efeitos e não sobre as causas.

Conforme Campos (2004), os processos e seus equipamentos geram uma quantidade muito grande de dados que para a mente humana torna-se difícil de processá-las transformando-as em informações e conhecimentos úteis eliminando a subjetividade.

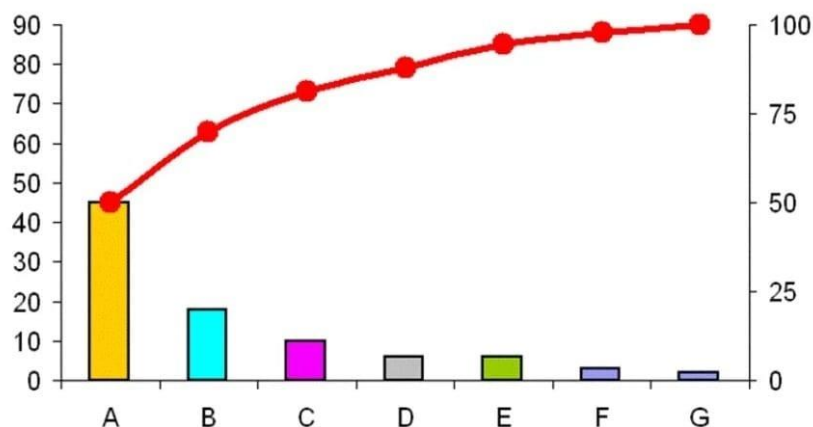
Para auxiliar nessa tarefa pós estratificação dos dados, o método de Pareto é uma ferramenta eficaz que permite elencar os fatores presentes nos dados de forma hierárquica e agrupada. Ainda conforme o autor, a Análise de Pareto é um método simples e de grande valia para os gerentes, por classificar os problemas conforme prioridade, partindo do princípio que os problemas estão em duas classes: os poucos vitais e os muitos triviais. (DOYLE, 2018).

A análise de Pareto é a técnica propriamente dita onde se quantifica possíveis proporções desequilibradas entre as causas e os resultados. Também conhecido como curva ABC ou gráfico de Pareto, o Diagrama de Pareto é um recurso utilizado para visualizar e classificar processos organizacionais por sua ordem de importância – listando quais são os problemas, erros, riscos e demais efeitos relacionados a eles. Os problemas classificados como poucos vitais, são processos que representam poucos problemas, mas que resultariam em grandes perdas e os muitos triviais, são processos que representam muitos problemas, mas que resultariam em poucas perdas (REIS, 2018).

Segundo o mesmo autor, o Diagrama de Pareto é uma ótima ferramenta para auxiliar na tomada de decisões, principalmente em momentos de crise. Com ele é possível mensurar os efeitos que uma ação pode causar, conhecer quais problemas são mais graves e ordenar aqueles que devem ser resolvidos primeiro.

Na Figura 3, é exemplificado um gráfico do Diagrama de Pareto, no qual mostra de forma decrescente quais processos causam um impacto geral maior.

Figura 3: Diagrama de Pareto



Fonte: Reis, 2018.

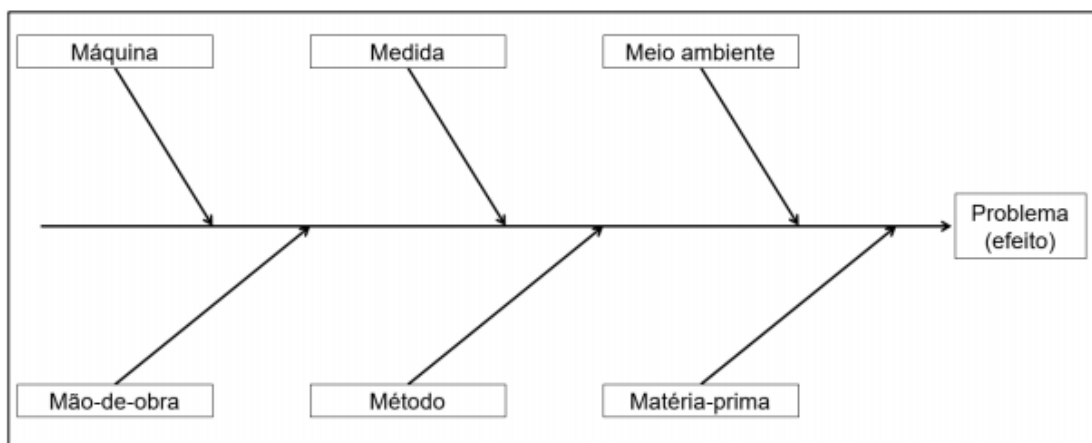
### 3.5.4 Diagrama de Causa e Efeito com Adição de Cartões - CEDAC

O diagrama de causa e efeito com adição de cartões - CEDAC (do inglês – *Cause and Effect Diagram with Addition of Cards*) é uma modificação do diagrama de causa e efeito (ou diagrama de Ishikawa), uma ferramenta da gestão da qualidade bastante utilizada por grupos de solução de problemas. O diagrama CEDAC foi criado para lidar com situações onde um método confiável para evitar a ocorrência de não-conformidades não foi estabelecido (MELLO *et al.*, 2012).

Ainda de acordo com os mesmos autores: “o diagrama CEDAC é uma ferramenta que permite que os grupos de melhorias trabalhem com uma grande quantidade de informação qualitativa disponível na empresa e que não é, ou ainda não é, quantificável.” (REZENDE, 2018, p. 42).

Para permitir que os problemas se expressem e contribuam para a melhoria contínua, segundo Campos (1992), o CEDAC aborda uma maior participação de equipes de trabalho, da gestão à vista, e das ferramentas para solução de problemas, como por exemplo, o ciclo PDCA. O CEDAC nada mais é do que um quadro que fica exposto em um local estratégico com maior proximidade aos empregados que participam do processo em que se deseja solucionar um determinado problema. E para a utilização desse quadro, a melhor maneira é a forma escrita, pois facilita a transferência de informações. Na Figura 4 é possível observar um modelo de CEDAC que pode ser implementado em uma empresa.

Figura 4: Modelo de CEDAC



Fonte: Martins, 2018.

Caso os padrões atuais da empresa permitem que problemas ou defeitos ocorram e não forem alterados, isso significa que o processo continuará a produzir defeitos. Neste caso, o emprego do diagrama CEDAC auxiliará no processo de estabelecer padrões confiáveis para eliminar os defeitos graves causados pela inconsistência do padrão estabelecido. (MELLO *ET AL*, 2012)

### 3.5.5 FMEA

A FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha) é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar condições que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo. (AMIGO, 2012)

A FMEA traduz, em uma sequência lógica e sistemática, a avaliação das formas possíveis pela qual um sistema ou processo está mais sujeito a falhas. Considera a severidade (S) das falhas, a frequência como as mesmas ocorrerem (O) e, como eventualmente poderiam ser detectadas (D). Assim, com base nestes três índices: severidade, ocorrência e detecção, é realizada uma priorização de quais modos de falha do produto podem causar maior risco (BONANOMI *et al.*, 2010).

Para Flogiatto e Ribeiro (2011), a FMEA de projeto é uma técnica analítica utilizada pela equipe ou engenheiro de projeto como um meio para assegurar que os modos

potenciais de falha e seus efeitos e causas serão considerados e suficientemente discutidos.

Em estudos de FMEA de projeto, o produto final, seus subsistemas e componentes são detalhadamente analisados. De certa forma, o estudo de FMEA é um resumo dos pensamentos da equipe de projeto, e inclui a análise dos itens que podem dar errado, baseado na experiência dos engenheiros. (FLOGIATTO; RIBEIRO, 2011).

Trata-se de um enfoque sistemático, que formaliza e documenta o raciocínio da equipe ao longo das etapas do projeto. A FMEA de projeto auxilia a reduzir os riscos de falha, uma vez que ajuda na avaliação objetiva dos requerimentos de projeto, ampliando a probabilidade de que todos os modos potenciais de falha e seus respectivos efeitos serão analisados.

Entre as vantagens do uso da FMEA reportadas na literatura, encontram-se:

- Ajuda na avaliação objetiva das alternativas de projeto.
- Aumenta o conhecimento de todos os engenheiros em relação aos aspectos importantes da qualidade/confiabilidade do produto.
- Prioriza os aspectos relativos à qualidade/confiabilidade do produto, estabelecendo uma ordem para as ações de melhoria.
- Promove alterações no projeto que facilitam a manufatura e montagem.
- Fornece um formato aberto de análise, que permite rastrear as recomendações e ações associadas com a redução de risco.
- Fornece um referencial que auxilia na avaliação e implementação de futuras alterações ou desenvolvimentos em cima do projeto base.

O usuário final é o principal cliente da FMEA de projeto, uma vez que ele poderá tirar vantagem de um produto mais confiável, livre de falhas previsíveis. No entanto, em uma FMEA de projeto, o cliente não é apenas o usuário final. Também são clientes os projetistas dos subsistemas que interagem com aquele que está sendo analisado e os engenheiros responsáveis pela manufatura, montagem ou assistência técnica do item em estudo.



Segundo a autora Amigo (2012):

O FMEA traz à empresa um melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos. O método gera uma forma sistemática de se hierarquizar informações sobre as falhas dos produtos/processos, estabelecendo-se, portanto, um sistema de prioridades de melhorias, investimento, desenvolvimento, análises teste e validação.

A aplicação da ferramenta gera arquivos que servem como uma referência para o futuro ao nível das evoluções possíveis, da documentação de erros do passado, do desenvolvimento de técnicas avançadas de projeto e do incentivo para a necessidade constante de desenvolvimento. Desta maneira são geradas ações de melhoria no projeto do produto/processo, que devem ser devidamente monitoradas (melhoria contínua). (AMIGO, 2012) [s.p.]

Além de ser uma atividade formal, muitas vezes exigida em contratos, a FMEA deve ser um catalisador para estimular o intercâmbio de ideias entre os setores envolvidos após o esboço do produto, e então ser continuamente atualizado, à medida que alterações ou informações adicionais sejam incorporadas.

Flogiatto; Ribeiro (2011), dizem que:

A FMEA de projeto considera que a manufatura e a montagem irão atender aos requisitos do projeto. Modos de falha que podem ser agregados durante a manufatura e a montagem não devem ser incluídos na FMEA de projeto. A identificação, o efeito e o controle dos modos de falha associados com a manufatura e a montagem são cobertos pela FMEA de processo. (FLOGIATTO; RIBEIRO, 2011).

No entanto, os mesmos autores concluem que a FMEA de projeto não deve basear-se em controle do processo para superar deficiências no projeto. Em vez disso, deve enfatizar a melhoria contínua do projeto, considerando os limites tecnológicos dos processos implantados, que podem envolver limitações referentes ao acabamento superficial, limitações referentes à dureza e resistência dos materiais, dimensões das ferramentas de usinagem e capacidade dos processos de manufatura. (FLOGIATTO; RIBEIRO, 2011).

### **3.6 Siderurgia**

A indústria siderúrgica é uma importante fornecedora de insumos para produtos de diversas indústrias e para a construção civil. É formada por grandes empresas, em geral verticalizadas, que operam as diversas fases do processo produtivo, da transformação do minério em ferro primário (gusa) à produção de bobinas laminadas, para aplicação em produtos em diversas indústrias. (CARVALHO *et al.*, 2014)

De acordo com os mesmos autores: “a indústria siderúrgica brasileira consegue atender à quase totalidade da demanda do mercado doméstico, produzindo uma ampla gama de produtos de aços planos e longos”. (CARVALHO *et al.*, 2014, p. 182)

O setor siderúrgico é conhecido como o setor da metalurgia do aço (MME, 2015), ou ainda de um ramo da metalurgia que está voltado ao tratamento de aços e ferros fundidos. Para Bizatto (2017), o Brasil apresenta um dos menores custos operacionais do mundo em relação a indústria siderúrgica devido a disponibilidade e proximidade de grandes jazidas de minério de ferro, como também reduzidos custos com força de trabalho e energia.

O estado de Minas Gerais conta com grandes indústrias siderúrgicas, que ao longo do tempo, foram se firmando em território mineiro, contribuindo, assim, para o desenvolvimento da indústria no estado. As indústrias estão distribuídas estrategicamente, ou seja, elas se encontram em regiões que favorece o desenvolvimento da indústria e grande parte delas se encontram perto de rodovias federais e/ou ferrovias que ajudam a escoar a produção. (MAIA;VIEIRA, 2014).

A empresa que mais detém unidades industriais no estado de Minas Gerais é a ArcelorMittal, contando com quatro unidades distribuídas entre Itaúna, Juiz de Fora, João Monlevade e Sabará. A ArcelorMittal é um empresa multinacional, constituída em 2006 pela fusão da Mittal Steel e da Arcelor, é considerada a maior empresa siderúrgica do mundo. Presente em 61 países chegou a uma produção de 103,3 milhões de toneladas de aço em 2008, o que correspondeu a cerca de 10% da produção mundial de aço daquele ano (IAB, 2013).

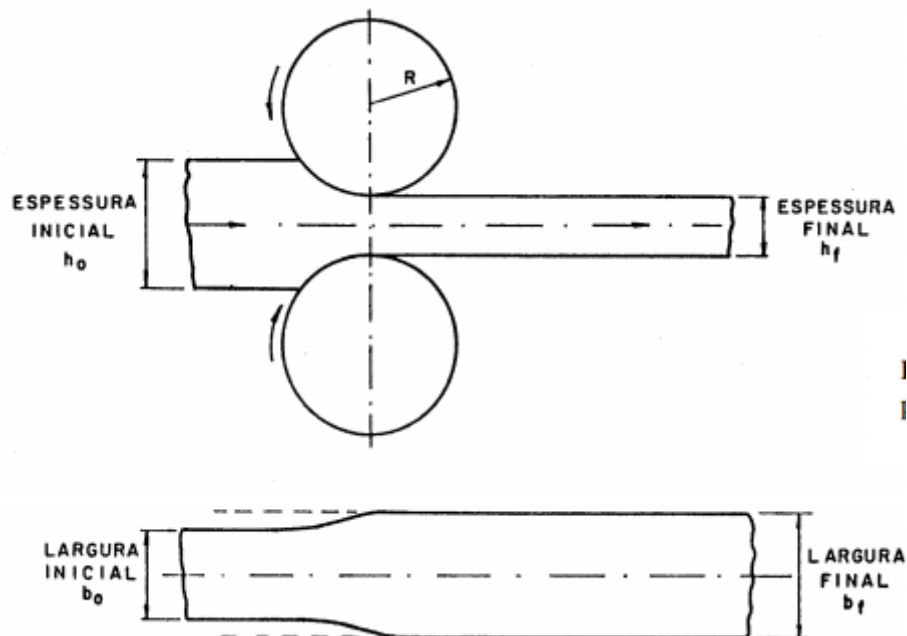
Os produtos da ArcelorMittal são destinados para várias aplicações, entre elas as indústrias automobilística, de eletrodomésticos, embalagens, construção civil e naval, entre outras. Para fazer o escoamento da produção a empresa conta uma rede de distribuição com mais de 100 unidades em todo o Brasil. O objetivo é comercializar soluções em aço para atender o mercado demandante (ARCELLORMITTAL, 2013).

### **3.7 Laminação**

O processo de deformação plástica de metais através de sua passagem entre rolos é denominado laminação. Filho *et al.* (2011) explica que, nesse processo, o material é submetido a altas tensões de compressão sendo espremido por entre dois rolos, que giram sobre a mesma velocidade, mas em sentidos contrários. Como pode ser

observado na Figura 5 o corpo inicial da peça possui um tamanho maior do que a distância entre os dois cilindros.

Figura 5: Ilustração do processo de laminação



Fonte: Filho et al, 2011.

O objetivo principal da laminação é a redução seção transversal do material e pode ser classificada como laminação a quente ou a frio (RODRIGUES, 2012).

Filho et al. (2011) explicam ainda que na laminação a quente, a peça inicial é comumente um lingote fundido obtido de lingotamento convencional. Portanto, comumente se aplica em operações iniciais, onde são necessárias grandes reduções de seções transversais. Também na etapa de laminação a quente emprega-se um conjunto de dois cilindros para as primeiras etapas de redução, de tal modo que a peça é conduzida diversas vezes para o passe entre esses cilindros.

Já na laminação a frio, a peça inicial para o processamento é um produto semiacabado, previamente laminado a quente. A laminação a frio é aplicada para as operações de acabamento, quando as especificações do produto indicam a necessidade de acabamento superficial superior e de estrutura do metal encruada com ou sem recozimento final. Nas etapas finais da laminação a frio, e na maioria das etapas de laminação a frio, o trabalho é efetuado em diversos conjuntos de cilindros dispostos em sequência chamados de trem de laminação. (FILHO et al. 2011)

### **3.8 Manutenção Industrial**

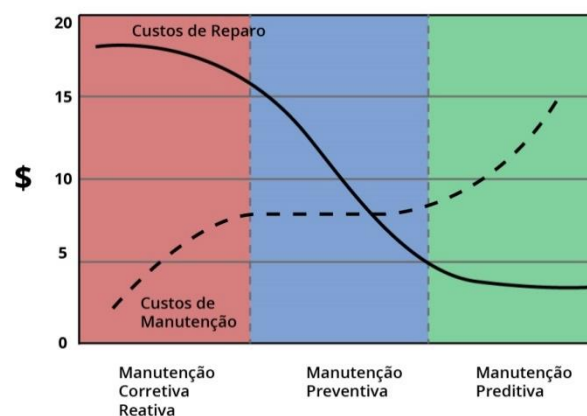
A evolução da manutenção teve seu marco após a Segunda Guerra Mundial, quando a indústria necessitou se adequar para atender a demanda do mercado. Antes deste período as máquinas eram pouco mecanizadas e muitas vezes superdimensionadas, prevalecendo a presença da mão-de-obra industrial. Com isso, a mecanização dos processos se deu após a Segunda Guerra Mundial com a pressão de mercado. Mas naquela época, a manutenção dos equipamentos era cara e considerada como um custo indesejável até os dias de hoje (SILVA, 2010).

Na década de 70, os Sistemas de Produção da Toyota criam e desenvolvem uma técnica de manutenção designada por TPM (*Total Productive Maintenance*). As empresas Japonesas, até então famosas pela fabricação de produtos de baixa qualidade e arrasadas pela destruição causada pela guerra, buscaram, na excelência da qualidade, uma alternativa para reverter o quadro na qual se encontravam. (SILVA, 2010)

### **3.9 Tipos de Manutenção**

Segundo Viana (2002), existem diversos tipos de manutenção que são baseados de acordo com as intervenções nos instrumentos de produção. Dependendo da forma em que a manutenção é realizada, esta pode ser classificada como: Corretiva (Não-Planejada ou Planejada); Preventiva; Preditiva. Elas envolvem a conservação, adequação, restauração, substituição e prevenção de falhas em equipamentos. Na Figura 6 está apresentado a relação custo benefício de cada tipo de manutenção.

Figura 6: Comparação entre custos de reparo e de aplicação de diferentes metodologias de manutenção



Fonte: página da Dynamox sobre manutenção

Disponível em: < <https://dynamox.net/manutencao-corretiva/>>. Acesso em: 09 nov. 2019.

Manutenção em máquinas, sejam elas preventivas ou corretivas, dependendo do tipo de equipamento e processo, onera muito o caixa da empresa. A Figura 1 compara os custos de reparo e de aplicação de três diferentes metodologias de manutenção: Corretiva, Preventiva e Preditiva. A Manutenção Corretiva possui o maior custo de reparo, porque as falhas normalmente são catastróficas e requerem a substituição completa de componentes. Por outro lado, apresenta o menor custo de aplicação, pois as atividades de manutenção são simples, pouco instrumentadas e rápidas. (Kardec e Nascif, 2005)

Os três tipos de manutenção são explicados nas seções 3.9.1, 3.9.2 e 3.9.3.

### 3.9.1 Manutenção corretiva

Segundo a Norma ANBR 5462 (1994), manutenção corretiva são ações efetuadas após a ocorrência de uma falha, destinada a recolocar um item ou equipamentos em funcionamento nas suas condições específicas. São divididas em dois tipos manutenção corretivas não planejadas e planejadas.

A manutenção corretiva não planejada não possui tempo para a preparação de componentes e nem de planejar o serviço, ou seja, esse tipo de manutenção é a correção

da falha de modo aleatório a fim de evitar outras consequências. (WILLIANS, 1994 apud CASTELLA, 2001)

Normalmente este tipo de manutenção implica em altos custos, pois a quebra inesperada produz perdas de operação, perda de qualidade do produto e elevados custos indiretos de operação (Kardec e Nascif, 2005).

Quando não se possui planejamento e informação da falha, acarreta-se em problemas ainda maiores que agravam as consequências vindas da manutenção corretiva não planejada como exposição a riscos de segurança, parada no processo produtivo, aumentando os custos podendo ocasionar em atrasos na entrega dos pedidos.

Em contrapartida, a manutenção corretiva tem como objetivo restabelecer o sistema para um funcionamento satisfatório dentro do menor tempo possível. Já a manutenção corretiva planejada é uma correção que se realiza em função de um acompanhamento preditivo, detectivo, ou até pela decisão gerencial de se operar até a falha. Normalmente, baseia-se na alteração dos parâmetros observados pela manutenção preditiva nas inspeções dos equipamentos.

### 3.9.2 Manutenção preventiva

Conforme a ABNT (1994) a manutenção preventiva é realizada de acordo com critérios predeterminados, destinada a diminuir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um equipamento. Baseado nisso, conclui-se que a manutenção preventiva visa evitar a falha antes que ela aconteça, diferentemente da manutenção corretiva, que espera que a falha aconteça para posteriormente corrigi-la. A manutenção preventiva reduz o risco de paradas não planejadas causadas por falhas nos equipamentos.

Antes de qualquer ação preventiva, é necessário se ter uma pré-análise dos técnicos de manutenção, pois assim torna o serviço mais especializado, mais adequado a cada processo e equipamento além de reduzir significativamente o fator subjetivo já que há um conhecimento bem maior sobre o funcionamento das máquinas (VIANA, 2002).

### 3.9.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é realizada através do acompanhamento de parâmetros das máquinas tais como vibrações, temperatura, ruído, pressão, análise do óleo, que permite que o equipamento permaneça em operação com monitoramento constante das variáveis que podem indicar uma necessidade de intervenção, evitando a substituição prematura de peças e a troca antes que a falha ocorra.

A ABNT (1994), define a manutenção preditiva como sendo aquela que garante uma qualidade de serviço esperada, com base na aplicação sistemática de métodos de análise, usando de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para diminuir a manutenção corretiva e reduzir ao mínimo a manutenção preventiva. Os objetivos principais são: impedir o aumento de danos; reduzir trabalho de emergência não-planejado e otimizar a troca de componentes, estendendo o intervalo de manutenção; dentre outros.

Para esse tipo de manutenção é necessária uma mão de obra mais qualificada para o trabalho por necessitar de tecnologias para mensuração dos valores das variáveis sendo necessário configurá-las e interpretar adequadamente os seus resultados além de ter que efetuar análises do comportamento histórico. O alto custo empregado é recompensado por seus resultados.

## 3.10 Confiabilidade e Manutenção dos Ativos Industriais

Para Lemis (1995) *apud* Fogliatto; Ribeiro (2011), “A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas.”

Um dos aspectos da definição de confiabilidade diz respeito às condições ambientais do uso do item. Por exemplo, um mesmo item pode apresentar desempenho distinto se operado em condições de calor e condições climáticas amenas. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Os trabalhos de (CAVALCANTI, 2001) e (FONSECA et al., 2010) corroboram com a ideia de que as empresas sempre buscaram melhorias em seus processos e essa demanda, principalmente no período pós globalização, vem aumentando e solicitando

respostas rápidas puxadas pelo mercado consumidor que é cada vez mais exigente e bem informado. Nesse contexto, estão inseridas as empresas do ramo siderúrgico, que precisam estimular e desafiar os seus profissionais a inovarem no desenvolvimento de projetos que sustentem os seus objetivos estratégicos de curto, médio e longo prazo.

Os indicadores de desempenho representam a quantificação dos processos e podem ser definidos como números que descrevem a realidade de uma organização (FERNANDES, 2004). De acordo com Fischmann e Zilber (1999) os indicadores auxiliam os gestores a identificar a performance de seu negócio, e assim dão suporte para tomada de decisão e reestruturação dos investimentos para alcance dos objetivos.

Entre os diversos KPI's citados por estes autores, estão os de taxa de utilização, que se referem ao percentual de aproveitamento do tempo disponível para se produzir e o índice ou número de sucata de material na linha de produção. Esses indicadores são diretamente afetados por paradas no processo produtivo que pode ser oriundo de falhas em equipamentos da linha de produção.

Nesse mesmo cenário, anualmente, as grandes empresas atualizam as suas estratégias utilizando metodologias como a análise SWOT, definem o seu mapa estratégico, suas metas e idealizam os projetos que servem de base para atingimento de cada objetivo definido.

Este trabalho está centrado na mudança estratégica da gestão da manutenção dos equipamentos do “caminho da barra” introduzindo as técnicas de manutenção preventiva e preditiva.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Nesta seção, serão descritos os procedimentos metodológicos que possibilitaram o desenvolvimento da presente pesquisa.

### **4.1 Caracterização da Área de Estudo**

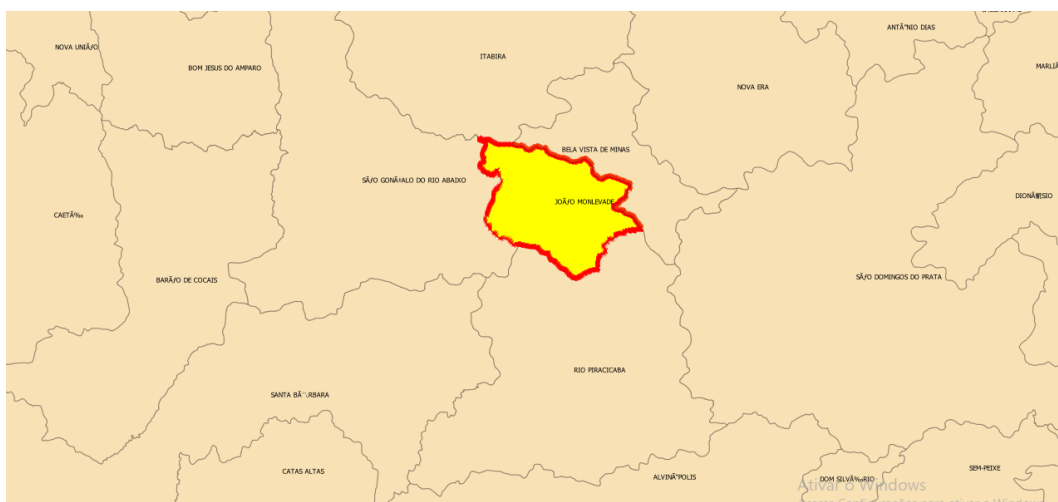
Este trabalho foi realizado no Município de João Monlevade, Minas Gerais, localizado a cerca de 110 quilômetros da capital mineira Belo Horizonte. Possui extensão territorial de 99,158 km<sup>2</sup> e o Bioma de cobertura original é a Mata Atlântica (IBGE, 2010).



A população do Município em 2010 era de 73.610 habitantes e densidade demográfica de 742,35 hab/km<sup>2</sup>. E, a população estimada para 2019 é de 79.910 pessoas (IBGE, 2010). Ainda de acordo com o mesmo órgão, o território criado com a denominação de João Monlevade, era um distrito subordinado ao Município de Rio Piracicaba, que se emancipou em 29/04/1964 pela Lei Estadual N° 12.030/1964 sendo assim elevado à categoria município denominado João Monlevade. (IBGE, 2010).

A agropecuária é o setor menos relevante para a economia do município. O comércio é diversificado e na indústria, a principal fonte de renda é a *Siderurgia A*<sup>1</sup> que atualmente pertence ao maior grupo siderúrgico do mundo. Este setor foi vital para o surgimento e o desenvolvimento do município e entorno. Na Figura 7 se encontra um mapa do município no qual a *Siderurgia A* está instalada.

Figura 7: Município de João Monlevade/MG



Fonte: QGis (2020).

A *Siderurgia A* é uma usina integrada e está presente em mais de 60 países. Além disso, tem como estratégia de mercado a produção de fio-máquina de alto valor agregado para aplicação em diversas áreas, desde produtos para a indústria petrolífera, automobilística, geração de energia e outros.

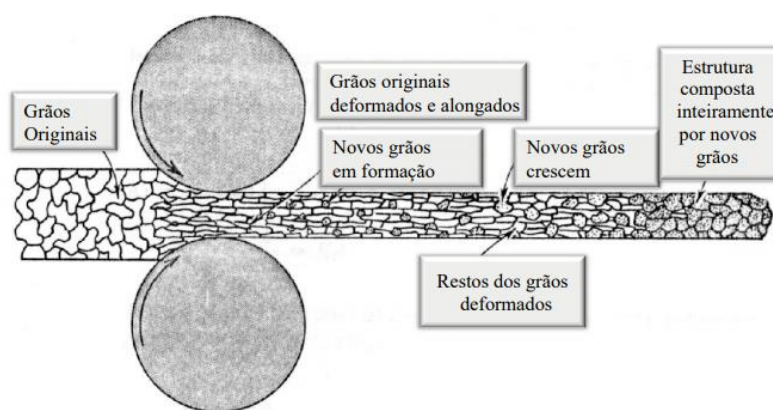
<sup>1</sup>.Por motivo de privacidade, o nome da empresa objeto de estudo será resguardado utilizando-se assim um nome fictício

Por outro lado, para se tornar cada vez mais competitiva, a empresa deve investir em melhoria contínua em toda sua cadeia produtiva e uma dessas oportunidades é a evolução do método de manutenção em seus equipamentos para reduzir suas falhas.

#### 4.2 Processo de Laminação na *Siderurgia A*

No processo de laminação da Siderurgia A o material a ser deformado é introduzido entre dois cilindros que giram em sentidos opostos, sofrendo deformação durante sua passagem entre os cilindros. Esta deformação genericamente consiste em redução de altura, aumento de comprimento e aumento de largura. Além disso, os cristais do aço sofrem deformações como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8: Recristalização do aço.

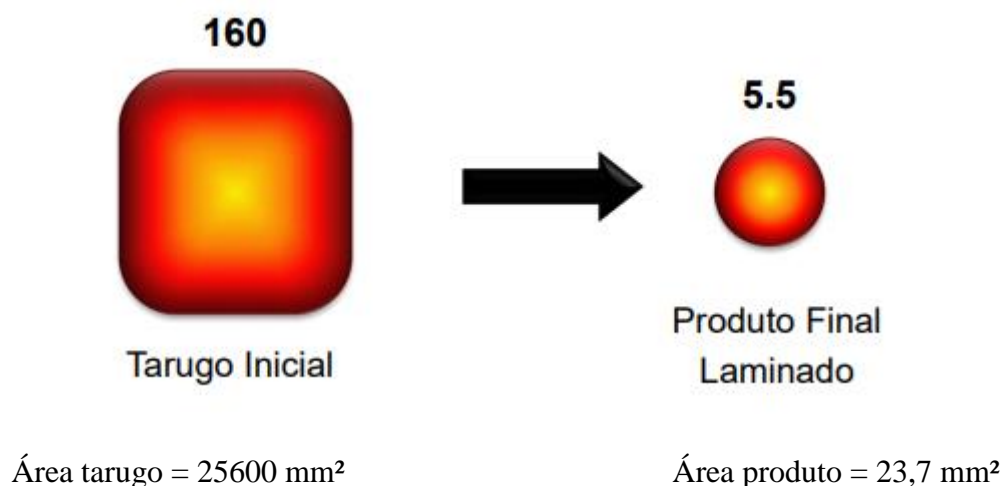


Fonte: Arcelor Mittal.

O processo é feito em alta temperatura, entre 1000°C e 1100°C para diminuir a resistência do aço nos passes determinando menores esforços para a recristalização e deformação da estrutura do aço.

O objetivo de um laminador é deformar o aço e deformar significa reduzir a área. Na Figura 9 é possível verificar um exemplo da redução de área do tarugo inicial para o produto final.

Figura 9: Redução de área do tarugo



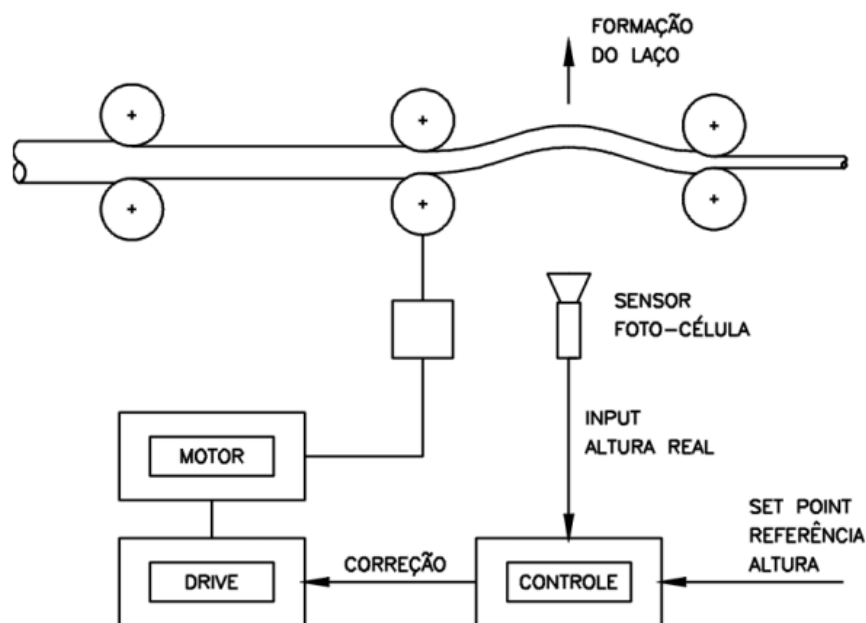
Fonte: Arcelor Mittal.

No exemplo a área do produto é 1080 vezes menor que a área do tarugo.

Além da temperatura, a velocidade com o ocorre o processo de laminação também interfere na deformação do aço, a velocidade de saída da barra no passe de laminação é maior do que a velocidade periférica dos cilindros.

Em um processo contínuo de laminação é muito importante a análise da vazão do material nos passes, o que é difícil devido às constantes variações de área transversal da barra (alargamento, desgaste e outros) e da velocidade real de laminação (velocidade de saída do passe). Diante disso, é utilizado no laminador sistemas de controle de vazão diretos (formador de laço ou controle de tração) e indiretos (metal duro como material de cilindros). O sistema de formador de laço é exemplificado na Figura 10.

Figura 10: Formador de laço



Fonte: Arcelor Mittal.

O sensor fotocélula fica constantemente medindo a altura real do laço e informando para o sistema controle. O sistema controle compara esta altura real do laço com o set-point de referência para a altura. Quando a altura real do laço tende a sair fora da faixa de referência, o sistema controle atua corrigindo a velocidade do motor através do sistema drive. Com isso, é possível manter a vazão do material constante.

Após o processo de laminação, o fio-máquina passa pelo leito de resfriamento ao ar. Em algumas situações é usado ventilador ou sprays água. O próximo passo é o corte a frio do material e para o acabamento, o fio-máquina passa pelo bloco acabador, onde são formadas as espiras como na Figura 11.

Figura 11: Bobina de aço.



Fonte: Arcelor Mittal.

### 4.3 Descrição do Problema

O “caminho da barra” do laminador da *Siderurgia A*, possui aproximadamente 350 elementos, entre eles estão cilindros de laminação, guias estáticas, guias roletadas, tubos refrigerados, formadores de laço. Para cada um deles existem inúmeros elementos de máquinas, cada um desses equipamentos recebe em média uma barra laminada por minuto o que aumenta a ocorrência de falhas

Uma falha em algum componente do equipamento pode acarretar diversos problemas de acordo com o grau da mesma. Uma falha em grau baixo pode ocasionar uma parada no processo produtivo para substituição da peça do equipamento. Em grau mediano, a falha pode provocar a parada em conjunto a uma ou mais sucatas da matéria prima.

No caso de um Laminador, o tarugo demanda exposição da equipe de trabalho à diversos agentes de risco para removê-lo da linha. Além dos problemas já citados, pode haver também a perda de material devido à má qualidade de parte ao todo material que se encontra dentro do forno de reaquecimento, uma vez que este fica tempo demasiado sob atmosfera oxidante à altas temperaturas, normalmente essa perda é por descarbonetação. Inerente à perda por parada estão as perdas de energia elétrica consumida, energéticos como gás natural e oxigênio para manter o forno de

reaquecimento aquecido. Utilidades como ar comprimido, nitrogênio e outros são demandas do laminador mesmo na condição de parada.

Uma vez descoberto o mecanismo que levou à falha do equipamento, consegue-se estimar o limiar entre a manutenção preventiva e a corretiva, ou seja, o momento em que o equipamento fadiga assim, estabelecer controles para inspeção e troca de componentes. Além disso, esse conhecimento instiga e abre a mente do investigador para idealizar melhorias que aumentam a vida útil desse equipamento e desenvolver sistemas para manutenção preditiva.

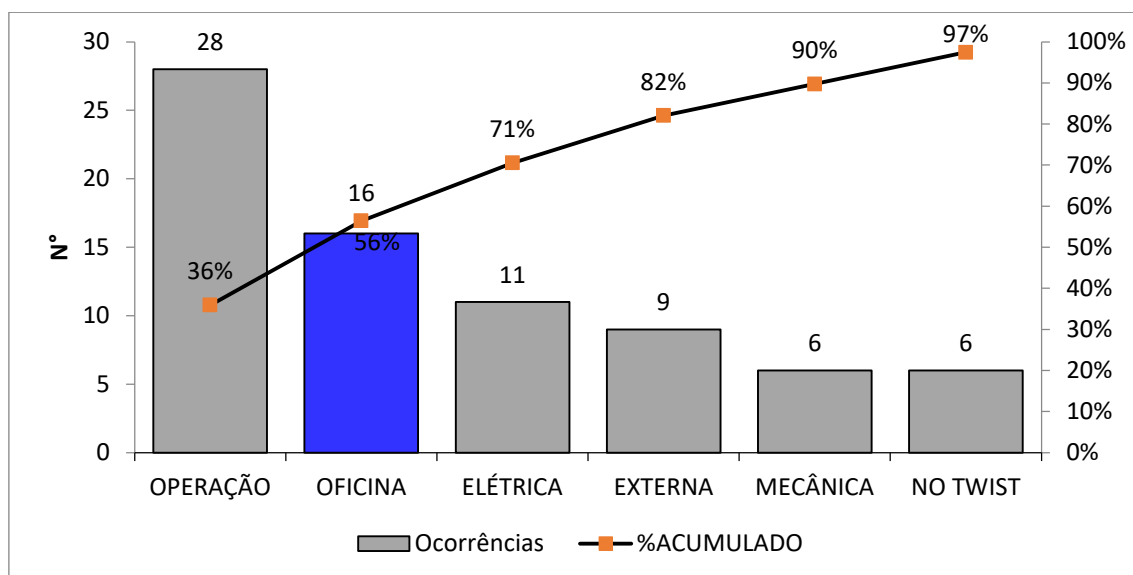
Após mitigar as ocorrências de falhas nos equipamentos do caminho da barra, aumenta-se substancialmente o desempenho do laminador, uma vez que este estará mais estável evitando os prejuízos anteriormente citados. Diante disso, este trabalho além de demonstrar os impactos da redução de falhas em equipamentos do “caminho da barra”, aborda também o impacto desta variável em outros KPI's de forma indireta os quais podem variar conforme a característica de cada laminador na Siderurgia (qualidade, consumo de gás, energia elétrica, segurança, entre outros) que impactam no custo final do produto e, conseqüentemente, em prejuízos financeiros de grande magnitude.

#### **4.4 Levantamento de dados das causas do problema**

A primeira etapa do processo consistiu na identificação da principal falha ocorrida no Laminador 2 da *Siderurgia A*. Uma vez apontada como o alto índice de ocorrências de sucata de linha as análises se focaram neste indicador. Cabe ressaltar que nesse equipamento a geração de sucata no ano de 2018 correspondeu a aproximadamente 21%, totalizando 1.338 minutos de parada acidental. Para mensurar a falha foi utilizado o número de sucatas, devido ao volume de material perdido no processo, estratificado por responsabilidade da oficina em uma parte do processo.

Para garantir a confiabilidade dos dados bem como o conhecimento das causas dessas variáveis, foi realizado uma estratificação das descrições de cada ocorrência do ano de 2018 conforme é possível observar no Gráfico 1.

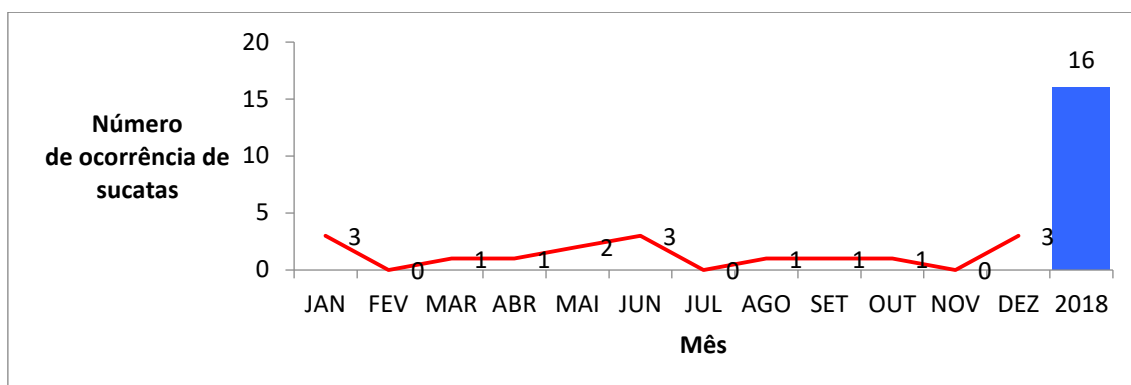
Gráfico 1: Ocorrências de sucata por responsabilidade no ano de 2018



Fonte: Autor (2019).

Conforme mostrado no Gráfico 2, é possível observar um comportamento estável, com número médio mensal de uma ocorrência com picos de três ocorrências nos meses de janeiro, junho e dezembro de 2018 totalizando dezesseis ocorrências no ano.

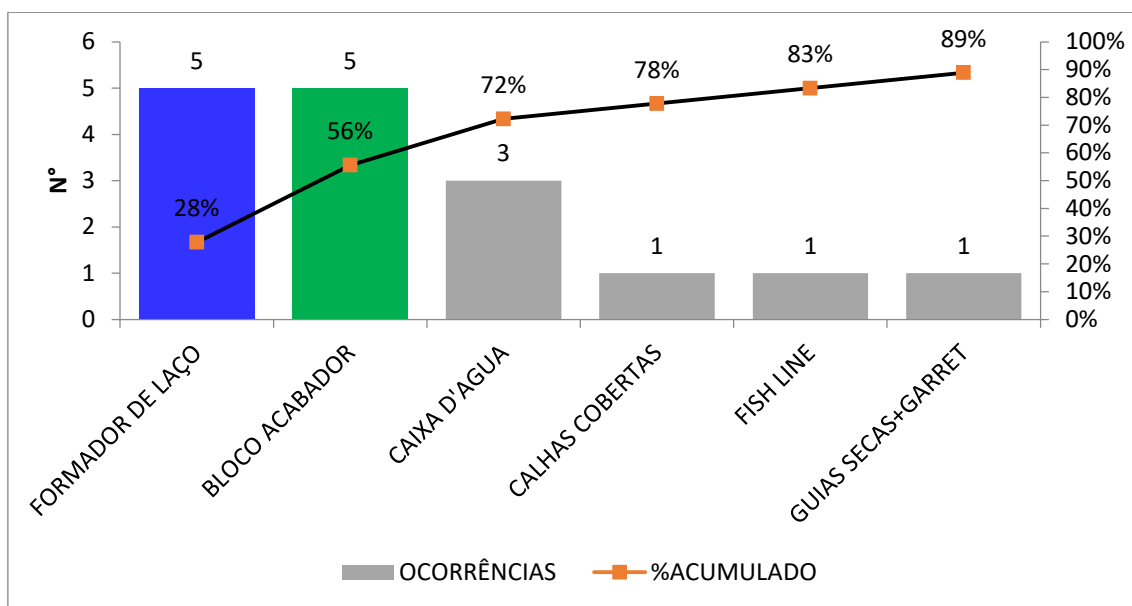
Gráfico 2: Número de ocorrências de sucata de oficina no laminador 2



Fonte: Autor (2019).

Além do número de ocorrências de sucatas no ano de 2018 levantadas mensalmente, foi levantado o número de ocorrência em cada equipamento no mesmo ano para melhor entendimento do problema em estudo, como se pode observar no Gráfico 3.

Gráfico 3: Ocorrências de Sucata de Oficina por Equipamento em 2018.

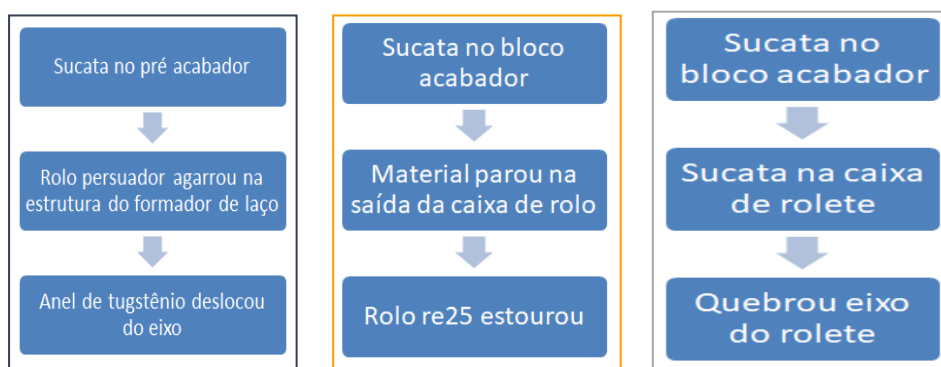


Fonte: Autor (2019).

É de fácil observação no Gráfico 3 que a maior ocorrência de formação de sucatas ocorreu no formador de laço, sendo cinco vezes no ano de 2018, e os menores números de ocorrências foram nas calhas cobertas, *Fish Line* e guias secas+garret, com apenas uma ocorrência em cada no mesmo ano.

São várias as consequências da formação de sucata durante o processo de laminação, a Figura 12 apresenta as principais delas.

Figura 12: Consequências da formação de sucata



Fonte: Autor, 2019.

Percebe-se que para cada formação de sucata existe uma consequência. Essas, foram estudadas e analisadas utilizando-se o modelo CEDAC que se inclui dentro do ciclo



PDCA para causas e soluções de problemas e serão descritas na seção 5, Resultados e Discussão deste trabalho.

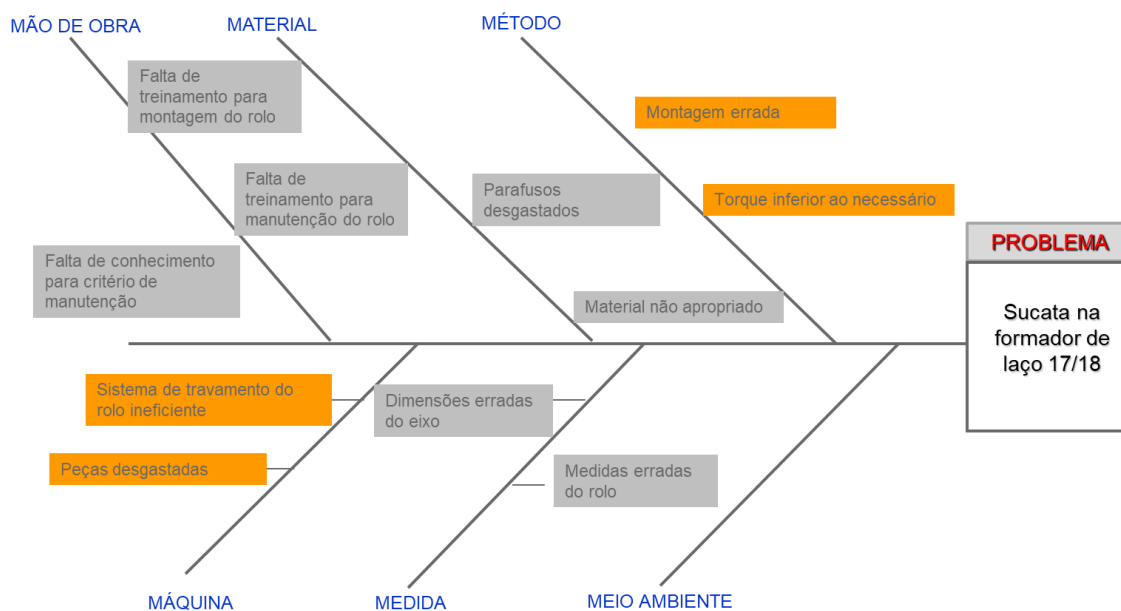
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são discutidos os resultados do presente estudo, no qual foram analisados peças e equipamentos do caminho da barra no processo de laminação que apresentaram problemas. São eles: o anel de WC, eixo RE25 e rolo RE25.

### 5.1 Análise do deslocamento do anel de WC

Foram analisadas as causas advindas da mão de obra e a principal foi a falta de treinamento dos funcionários para lidar com montagem e manutenção do rolo. Com isso, vários problemas são ocasionados e gerando a sucata no formador de laço conforme a Figura 13.

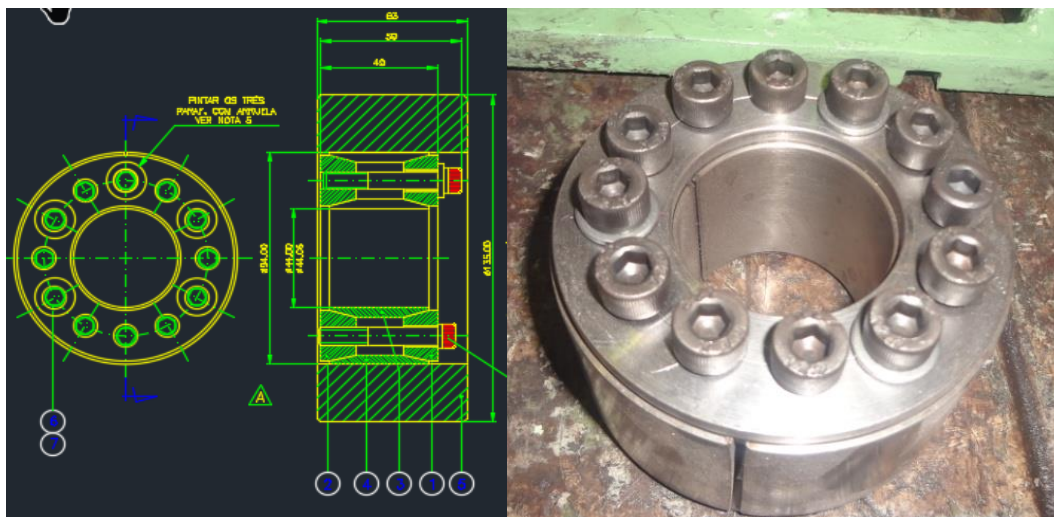
Figura 13: deslocamento do anel de WC.



Fonte: Autor, 2019

A fixação do anel de WC no eixo do rolo persuador é feito através de um anel de expansão. Nas falhas que houveram no rolo, foi notado que não havia critério de montagem e para troca de componentes.

Figura 14 e 15: Desenho técnico e bucha de expansão do rolo

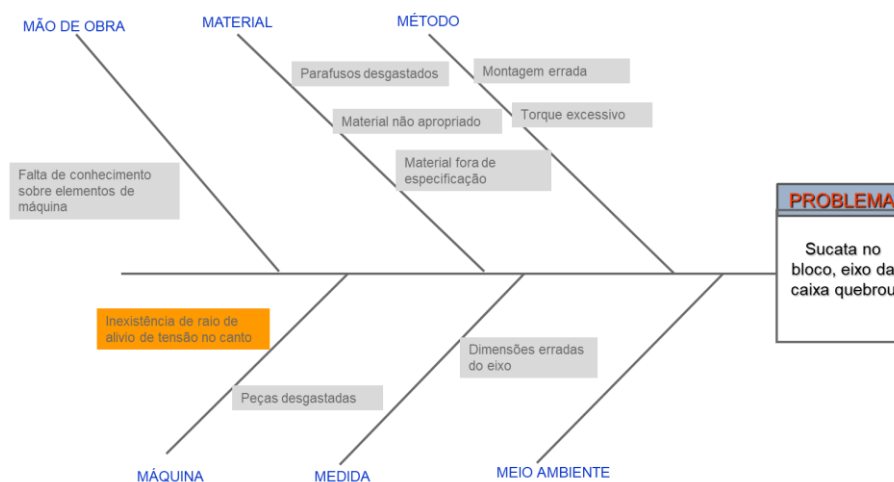


Fonte: Autor, 2019.

## 5.2 Análise da quebra do eixo RE25

Para a análise das causas de quebra do eixo RE25, foi feito uma análise utilizando o método do brainstorm conforme figura 16 com a participação de oito empregados que possuem conhecimento técnico em manutenção das caixas de rolos além de análises laboratoriais.

Figura 16: Análise da quebra do eixo RE25



Fonte: Autor, 2019

Com objetivo de identificar a causa da falha, foi enviado três peças do lote que apresentou problema, proveniente do fabricante B, e para comparação, recebemos também uma peça considerada boa, do fabricante A. O Quadro 1 mostra as condições das peças recebidas para análise.

Quadro 1: Peças de acordo com suas marcas.

EIXO	FABRICANTE	CONDIÇÃO DOS EIXOS	LOTE
1	A	Usada e inteira	Considerado bom
2	B	Nova (sem usar)	Com problema
3 e 4	B	Usadas, com fratura na haste rosqueada	Com problema

Fonte: Autor, 2019.

Figura 17: Aspecto macrográfico das amostras de eixo recebidas para análise, sendo duas com fratura na haste rosqueada - Aumento: 1x



Fonte: Autor, 2019.

As fraturas nos dois eixos do fabricante B ocorreram em uma das quatro regiões de concordância da peça, mais exatamente no ponto de início da parte rosqueada, como foi mostrado na Figura 16. As duas peças apresentaram “fratura frágil”. A região de início e propagação da trinca, caracterizada por superfície de fratura mais lisa, atingiu cerca de 60% da espessura da peça até a ruptura catastrófica, caracterizada por região com superfície mais grosseira, conforme mostra a Figura 18.

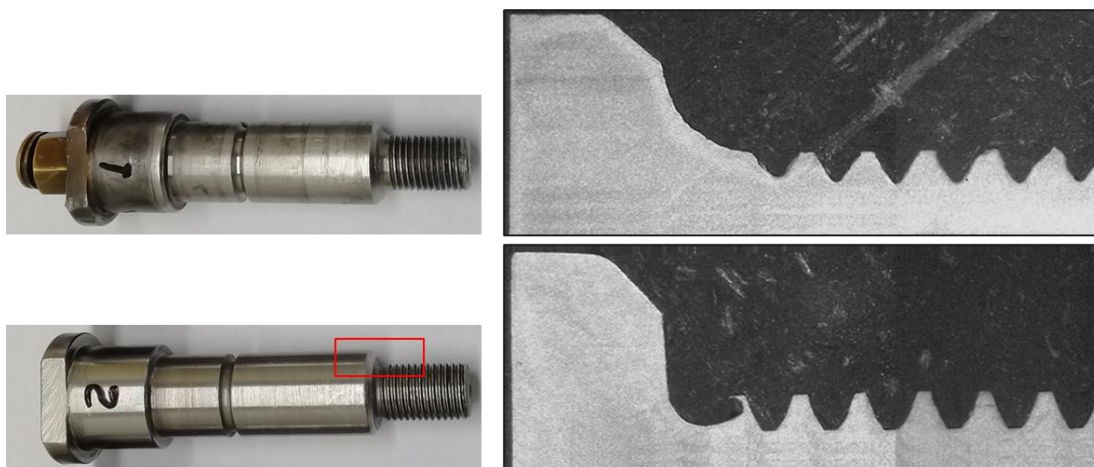
Figura 18: Aspecto macrográfico da face de fratura dos dois eixos do fabricante Líder. A porca com a parte rosqueada do eixo pertence ao eixo 4 – Aumento: 2x



Fonte: Autor, 2019.

Foi realizada análise micrográfica, por um laboratório de confiança da *Siderurgia A*, na seção transversal dos dois parafusos, polida e com ataque Nital 2%, utilizando microscópio ótico Aristomet acoplado a analisador de imagens Quantimet Q600. Foi feita também análise química via espectrometria ótica e ensaios de dureza Dureza Rockwell C. Como resultado dessa análise, foi encontrada diferença importante na haste rosqueada das peças dos dois fabricantes. A peça do fabricante A (1) apresentou raio de concordância com melhor distribuição de tensão do que as peças do fabricante B (2), tanto na junção da parte usinada com a rosqueada quanto no fundo dos filetes, conforme mostra a Figura 19.

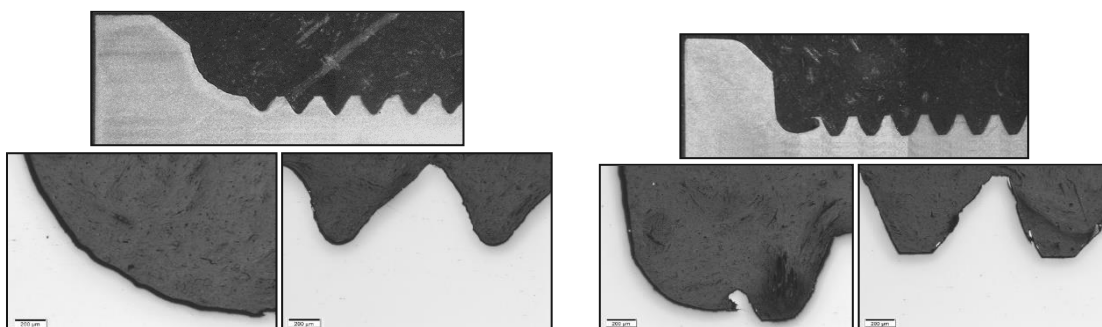
Figura19: Detalhes das regiões de concordância nas peças dos fabricantes A (amostra 1) e B (amostra 2) – Aumentos: 1x e 6x.



Fonte: Autor, 2019.

As Figuras 20 e 21 abaixo ressaltam diferenças no desenho das peças dos dois fabricantes, tanto na região de junção da parte lisa com a parte rosqueada quanto na região do fundo dos filetes da rosca. Em ambos os casos, a peça do fabricante A apresentou melhor distribuição de tensões e sem ângulos retos.

Figura 20 e 21: Montagens mostrando detalhes das regiões de junção e rosca das peças dos fabricantes A e B - Aumentos: 6x e 50x



Fonte: Autor, 2019.

Os dois eixos de fabricação B apresentaram fraturas frágeis em regiões de concordância. Numa peça a ruptura se deu na junção da haste rosqueada com o corpo usinado e, na outra, a quebra iniciou no fundo do primeiro filete.. Sabe-se que, nesse tipo de fratura, ocorre uma rápida formação e propagação das trincas, acarretando uma rápida ruptura do material com a ocorrência de pouca ou nenhuma deformação plástica no processo. esse contexto, a análise micrográfica da fratura ratificou o carácter frágil da fratura.

Em ambos os casos, as peças apresentaram raio de concordância menor se comparadas ao eixo do fabricante A, que tem raio de concordância com melhor distribuição de tensões. Além disso, as amostras de eixos apresentaram valores de dureza bastante similares, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2 - Comparativo de durezas entre os eixos

<b>Dureza Rockwell C</b>			
<b>Eixos</b>	<b>Centro</b>	<b>Meio raio</b>	<b>Média</b>
1, 2	49	50 – 50 – 52 – 50	50
3, 4	48	49 – 50 – 50 – 51	50

Fonte: Autor, 2020.

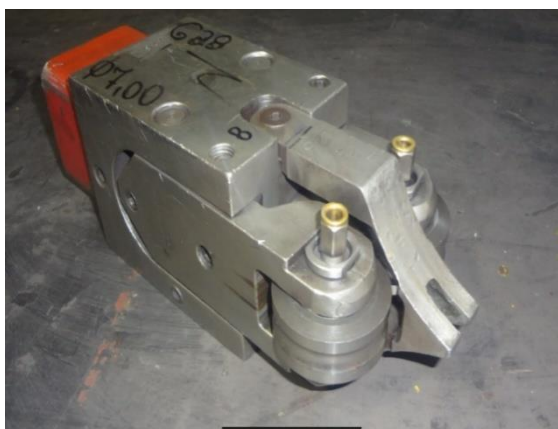
De acordo com os resultados da análise química, os eixos foram fabricados com aço SAE4140, o que está em conformidade com o material definido em projeto para o eixo, conforme mostra o Quadro 3:

Quadro 3 - Comparativo entre o aço SAE4140 e o resultado da espectrometria dos eixos

Eixo	%S	%C	%Mn	%P	%Si	%Al	%Cr	%Cu	%Ni	%Mo	%V
1,2,3,4	0,011	0,404	0,880	0,022	0,251	0,016	0,957	0,145	0,052	0,169	0,006
SAE4140	-	0,380 0,430	0,750 1,000	-	0,100 0,350	-	0,800 1,100	-	-	0,150 0,250	-

Fonte: Autor, 2020.

Figura 22: Caixa de rolo RE25



Fonte: Autor, 2019.

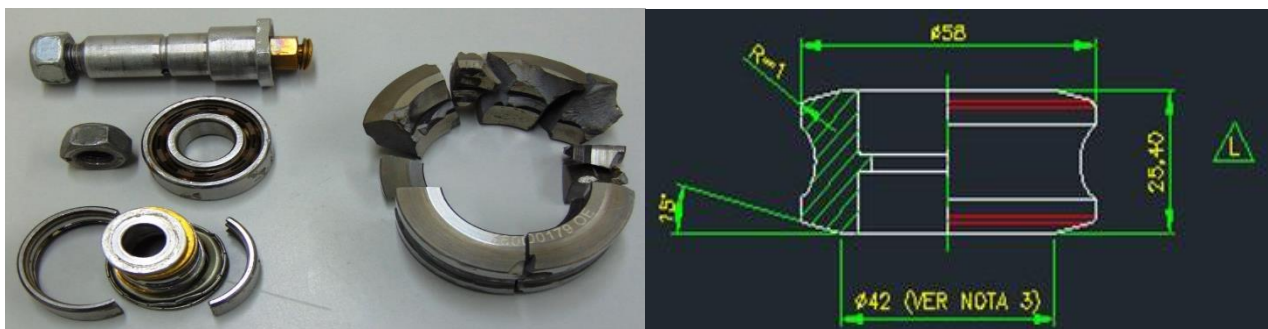
Foi padronizado o raio de alívio de tensão que já era praticado positivamente pelo fabricante A alterando o projeto do eixo, substituindo todos os eixos que foram considerados inadequados, conforme ações presentes na figura 28.

### 5.3 Análise de quebra do rolete

A Siderurgia A enviou a um laboratório um conjunto de peças da guia roletada re25, entre eles um rolete fraturado para análise física, química e metalográfica e disponibilizou seus resultados para fim de pesquisa no presente trabalho de conclusão de curso. A peça constituída de Ferro TiC (ferro + carbetto de titânio) apresentou fratura com fragmentação. As Ffiguras 23 e 24 mostram informações e detalhes das peças recebidas para análise.



Figuras 23 e 24: Conjunto de peças da caixa de rolos, entre elas o rolete fraturado e o desenho técnico dessa peça.



Fonte: Autor, 2019.

A peça apresentou fraturas em vários pontos, fragmentando-se. E em um desses pontos foi observada abrasão mecânica, caracterizada pelo desgaste na peça e mudança de coloração (amarelo e azul) que evidencia ocorrência de superaquecimento, conforme mostram as Figuras 25 e 26.

Figuras 25 e 26: Aspecto da região de início da fratura, onde nota-se forte abrasão e uma coloração que evidencia superaquecimento da região - Aumento: 1,1 x.



Fonte: Autor, 2019.

A fratura do rolete, representada pelas setas nas Figuras 25 e 26, está associada à ocorrência de desgaste por atrito em sua superfície externa. O atrito, provavelmente, foi gerado por travamento da peça durante operação, gerando desgaste, aumento de temperatura localizada e surgimento de micro trincas. Acredita-se que esse atrito tenha origem no acabamento superficial e/ou excentricidade da peça.

Figura 27: Diferença no acabamento entre rolete lixado e rolete retificado





Fonte: Autor, 2019.

Após as análises e conforme ações presentes na figura 28, houve a padronização do método de usinagem dos roletes, alterando para retífica de precisão para garantir valores extremamente baixos de excentricidade

#### 5.4 Plano de ação

Com os problemas e suas causas definidas, partiu-se para a elaboração de um plano de ação para resolvê-los. As principais ações estão listadas nas figuras 28A e 28B a seguir:

Figura 28: Plano de ação

PLANO DE AÇÃO					
Gerência: Gapla2				Responsavel: Tiago Torres	
Objetivo: Eliminar as ocorrências de sucata de Oficina no trem acabador.				Prazo: Junho	
Problema ( Problem)	O que? (What?)	Por que? (Why?)	Onde?(Where?)	Quem?(Who?)	Quando? (When?)
Alto número de sucatas no FL17/18	Abrir CEDAC referente sucata no formadores de laço 17/18.	Colaboradores darem sugestões e idéias.	Oficina de cilindros TL2	Leandro Salomão	21/03/2019
Rolo FL 17/18 deslocou	Projetar novo acoplamento para fixação da rolo de tungstênio	Fixação não está eficiente	Oficina de cilindros TL2	Leandro Salomão	15/03/2019
Rolo FL 17/18 deslocou	Criar critério para montagem e manutenção do rolo	Deficiência no torque dos parafusos	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres	15/03/2019
Rolo FL 17/18 deslocou	Adicionar compensador de folga entre o rolo e a bucha de expansão	Fixação não está eficiente	Oficina de cilindros TL2	Leandro Salomão	15/03/2019
Sucata nos rolos do FL17/18	Criar plano de troca sistemática de todos rolos do FL17/18	Evitar quebrar acidentais , troca preventiva	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres	12/04/2019
Rolete re25 estourou	Retificar todos roletes após campanha	Garantir excentricidade e balanceamento de massa	Oficina externa	Nelmar Araújo	15/03/2019
Rolete re25 estourou	Colocar proteção em todas guias para transporte e armazenamento	Evitar rolete exposto	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres	12/04/2019
Eixo da caixa re25 quebrou	Adicionar no desenho ,raio de alívio no corpo da rosca dos eixos	Ponto onde concentra tensão com ângulo reto.	Arquivo tecnico	Tiago Torres	15/03/2019
Eixo da caixa re25 quebrou	Trocar todos eixos não conformes	Garantir eixos conformes.	Oficina de cilindros TL2	Nelmar Araújo	30/03/2019

Fonte: Autor, 2019.

Figura 29: Continuação do plano de ação.

PLANO DE AÇÃO					
Gerência: Gapla2				Responsavel: Tiago Torres	
Objetivo: Eliminar as ocorrências de sucata de Oficina no trem acabador.				Prazo:Junho	
Problema ( Problem)	O que? (What?)	Por que? (Why?)	Onde?(Where?)	Quem?(Who?)	Quando? (When?)
Alto número de sucatas no FL17/18	Criar procedimento para manutenção e inspeção nos formadores de laço.	Padronização	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres	21/03/2019
Rolo FL 17/18 deslocou	Atualizar desenho incluindo etapas de montagem do rolo .	Padronização	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres	15/03/2019
Roleta re25 estourou	Atualizar procedimento de manutenção de guias roletadas.	Padronização	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres	15/05/2019
Sucata	Treinar todos empregados da oficina nos procedimentos .	Agregar conhecimento	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres	15/05/2019
Sucata	Auditar rotina de manutenção da oficina.	Garantir excelência nas manutenções.	Oficina de cilindros TL2	Tiago Torres/ Plinio Duarte	Semanalmente

Fonte: Autor, 2019.

Para estimular a participação da equipe operacional no processo de identificação das possíveis causas das anomalias, foi utilizado o método CEDAC, explicado no item 3.5.4, o mesmo ficou em local exposto na área de trabalho da *Siderurgia A*.

Figura 30. CEDAC na área da oficina.



Fonte: Autor, 2019.

Além disso, foi projetado um novo sistema para fixação do anel de WC e colocado um manual de instrução para montagem e desmontagem do rolo.

A equipe operacional teve um papel importante na realização desse trabalho, uma vez que a ferramenta CEDAC tem esse propósito e algumas oportunidades foram observadas a partir do resultado dessa ferramenta conforme o Quadro 2.

Quadro 4: Estatística do CEDAC

ESTATÍSTICA DO CEDAC	
Início do Projeto	01/01/2019
Encerramento do Projeto	08/04/2019
Número de Participantes	6
Número de Participações	17
Número Total de Ideias Implementadas	09
Custo das melhorias	Não mensurado
Ganho anual com melhorias	Não mensurado
Índice de feedback	100%

Fonte: Autor, 2020.

Todas as mudanças foram baseadas em análises e implementadas com resultados satisfatórios, conforme apresentado no gráfico 4. Após avaliação técnica pela equipe, evidenciou-se que todas as ações eram viáveis, com recursos disponíveis para implementação. Nesse trabalho não foi mensurado os custos de implementação das

ações, uma vez que esses valores não são abertos aos solicitantes, pois as demandas de compras de serviços e produtos são de responsabilidade de uma gerência específica da empresa com protocolos restritos de abertura dos valores contratados.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

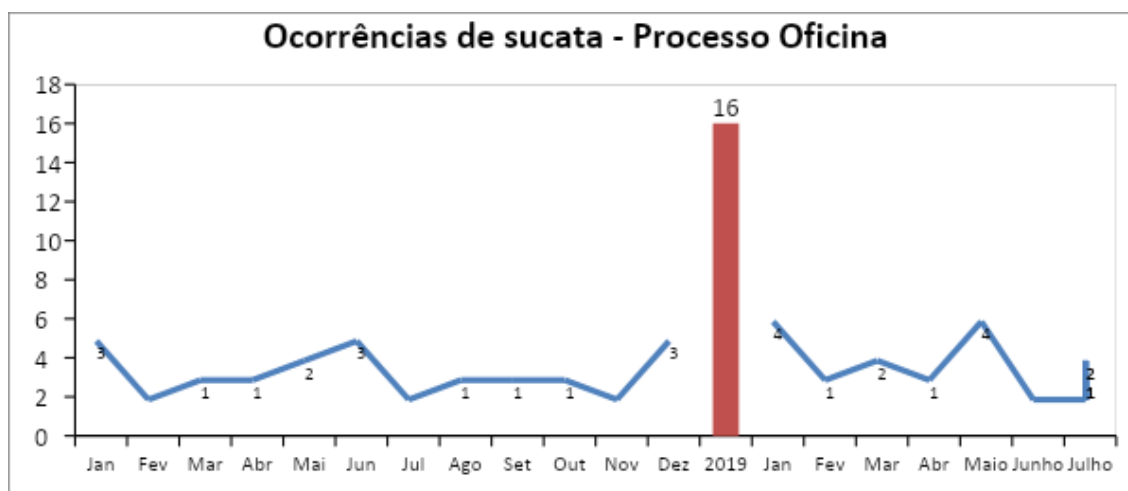
A partir da realização de um diagnóstico de falhas nos equipamentos do caminho da barra de laminação, utilizando o método CEDAC, constatou-se que a fratura do rolete da caixa rolos RE25 lado superior está associada à ocorrência de desgaste por atrito em sua superfície externa. O atrito provavelmente foi gerado por travamento da peça durante operação, gerando desgaste, aumento de temperatura localizada e surgimento de micro trincas. Analisou-se também o anel de WC, utilizando o mesmo método CEDAC, e a principal causa da falha desta peça é a falta de conhecimento por parte dos funcionários e falta de treinamento adequado por parte da empresa.

As ocorrências de quebra dos roletes de caixas de rolos da Cadeira 28 ganharam destaque e sugeriu-se um aprofundamento nas análises efetuadas pela empresa em estudo. Em atendimento a esta recomendação, o rolete foi encaminhado a um laboratório específico para análise de metal duro afim de investigar a causa fundamental. Os resultados dessas análises estão em constante acompanhamento para a validação da sua efetividade.

Como resultados desse estudo, houve a percepção da empresa quanto a ganhos tangíveis, como a melhoria nos resultados da oficina e do laminador e, ganhos intangíveis, relacionados ao desenvolvimento da equipe na participação de CEDAC, à cultura de gestão da manutenção, bem como do aperfeiçoamento das análises de anomalias em equipamentos, bem como o aprimoramento das ações e técnicas empregadas na rotina operacional com foco nas ações preventivas a partir das revisões de normas e de planos de inspeções.

É possível observar a redução de ocorrências de paradas no processo produtivo a partir das ações abordadas neste estudo através do gráfico 4:

Gráfico 4 – Ocorrências de sucatas



Fonte: Autor, 2020.

Conforme o Gráfico 4, podemos observar que no ano de 2019, apesar do total não ter tido uma redução considerável do número de ocorrências ao final do ano, após maio, mês do término de implantação de todas as ações, a frequência de ocorrências reduziu-se significativamente. Em 2020 observou-se uma tendência de fechamento de 6 ocorrências.

Sugere-se para trabalhos futuros a continuidade de aplicação de ferramentas da qualidade levantadas no presente estudo, além de análises estatísticas aprofundadas, viabilizando a redução significativa do número de falhas e geração de sucatas de produto na linha de produção de forma abrangente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMIGO, C. **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)**. USP São Carlos, 2012. Disponível em:  
<<http://www5.eesc.usp.br/portaldeconhecimentos/index.php/por/Conteudo/FMEA-Failure-Mode-and-Effect-Analysis#:~:text=O%20FMEA%20traz%20%C3%A0%20empresa,desenvolvimento%20an%C3%A1lises%20teste%20e%20valida%C3%A7%C3%A3o.>>. Acesso em: 09 dez. 2020.
- ARCELOR MITTAL. **Guia do Aço**. Disponível em:  
<<https://brasil.arcelormittal.com/pdf/produtos-solucoes/catalogos/catalogo-guia-aco.pdf?asCatalogo=pdf>>. Acesso em: 08 dez 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora 5462 – NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BARBOSA, M. de C. M. Mercado, Reciclagem e as Inovações da Indústria Siderúrgica. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2019.
- BARROS, J. M., VASCONCELOS, R.B. Análise de Perdas Durante o Processo Produtivo: Estudo de Caso em uma Linha de Fertilizantes. **UNIRV**, 2017.
- BIZATTO, L. S., HEIN, N., KROENKE, A. Análise do Posicionamento Econômico-Financeiro na Siderurgia e Metalurgia em Períodos de Crise. **Seminários em Administração**. Nov 2017.
- BONANOMI, R. C.; SILVA, W. V da. CORSO, J. M. D.; DUCLÓS, L. C. Aplicação da teoria Grey e FMEA – Análise dos modos de falha e efeitos na priorização de riscos de projeto de desenvolvimento de software produto. In: **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 06, n. 04, p. 70-92, 2010.
- CAMARGO, Wellington. **Controle de Qualidade Total**. Instituto Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2011. 150p.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Qualidade Total: Padronização de Empresas**. 4. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992
- CAMPOS, Vicenti Falconi. **Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. Nova Lima: Editora Falconi, 2004.
- CARVALHO, P. S. L. de, MESQUITA, P. P. D., ARAÚJO, E. D. G. de. **BNDES Setorial**. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. 2014. p. 146-181.

- CASTELLA, Marco César. Análise crítica da área de manutenção em uma empresa brasileira de geração de energia elétrica. 2001. 152 f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- CAVALCANTI, M. Gestão de empresas na sociedade do conhecimento: um roteiro para a ação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- CODA, R. Treinamento Qualidade Laminação. [S.l.]: COPAR Engenharia, 2018.
- DEMING, W. Edwards; Qualidade: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.
- DOPKE, M. SPREDEMANN, J. M. Ciclo PDCA: um Estudo de Caso Sobre as Sobras e Faltas de Biodiesel Numa Distribuidora de Combustível. **Faculdade Anhaguera Jaraguá do Sul**. Jaraguá do Sul-SC. 2015.
- DOYLE, D. O que são indicadores de qualidade? **Siteware**. Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/qualidade/kpis-indicadores-desempenho-qualidade/#:~:text=Os%20indicadores%20de%20qualidade%20podem,%C3%A9%20um%20indicador%20de%20qualidade.>>. Acesso em: 09 dez. 2020.
- FERNANDES, D.R. Uma contribuição sobre a construção de indicadores e sua importância para a gestão empresarial. Revista da FAE, 7(1), p.1-18, 2004.
- FILHO, E. B. SILVA, I. B. da, BATALHA, G. F., BUTTON, S. T. **Conformação Plástica dos Metais**. Campinas: Editora da Unicamp, 2011. 6<sup>a</sup> ed. 258p.
- FISCHMANN, A.; ZILBER, M. A. Utilização de indicadores de desempenho como instrumento de suporte à gestão estratégica. encontro da ANPAD, 23., Anais., 1999.
- FOGLIATTO, F. S., RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Industrial. **Elsevier**. 2011. 282 p.
- FONSECA, P. S. M.; CARVALHO, P. S. L.; SILVA, M. M. d. Investimentos na siderurgia brasileira. Perspectivas do Investimento 2010-2013, BNDES, 2010.
- FORMENTINI, F. Utilização do MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) em uma Empresa Calçadista. **Monografia**. Centro Universitário Univates. Lajeado, 2014.
- KARDEC, A. & NASCIF, J. Manutenção Função Estratégica. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- GRAEML, A. R.; PEINADO, J. Administração da Produção: operações industriais e de serviços. Curitiba: **UnicenP**, 2007.
- GUEDES, J. A., ELIZIO, M. A. P., GOMES, W. R., SILVA, N. R. da. Aplicação da Ferramenta Masp na Solução de Problemas de Concepção e/ou Não Conformidade no Sistema de Climatização Automotivo. **Associação Educacional Dom Bosco**. 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/joao-monlevade.html>>. Acesso em: 08 dez 2020.

LOPES, Janice Correia da Costa. **Gestão da Qualidade: Decisão ou Constrangimento Estratégico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Europeia. Lisboa, 2014. 76p.

MACHADO, S. S. Gestão da Qualidade. **Rede e-Tec**. Inhumas – GO. 2012.

MAIA, P. H. M. de M, VIEIRA, N. M. **Análise Espacial da Indústria Siderúrgica Mineira: Sua Importância em um Contexto Regional**. Disponível em: <<https://diamantina.cedeplar.ufmg.br/portal/download/diamantina-2014/analise-espacial-da-industria-siderurgica-mineira.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2020.

MARTINS, E. S., Aplicação dos Conceitos de 5s em uma Indústria Siderúrgica de Grande Porte. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. João Monlevade, MG. 2018.

MEDEIROS, E.; PEREIRA, G.; FILHO, H.; FILHO, L. Estudo prospectivo do setor siderúrgico. 2008.

MEIRELES, Manuel. **Ferramentas administrativas**. São Paulo: Arte e Ciência, 2001.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico**. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/Annu%C3%A1rio+Estat%C3%ADstico+do+Setor+Metal%C3%BArgico+2015.pdf/3cd2fe18-4daa-4e51-8899-53f0cba47573>>. Acesso em: 28 dez. 2020.

NEVES, A. O Uso de Indicadores Chave de Desempenho para Avaliar a Eficiência dos Sistemas de Gestão. **Instituto Superior de Educação e Ciências - ISEC**. Abril, 2012.

OAKLAND, John S. **Gerenciamento da Qualidade Total**. Nobel. São Paulo, SP. 2007. 455p.

QGIS. Disponível em: <[https://qgis.org/pt\\_BR/site/](https://qgis.org/pt_BR/site/)> Acesso em: 08 dez. 2020.

REIS, T. O que é o Diagrama de Pareto e como utilizá-lo para melhorar processos. **Suno Artigos**. 2018. Disponível em: < <https://www.sunoresearch.com.br/artigos/diagrama-de-pareto/> >. Acesso em: 09 dez. 2020.

REZENDE, D.D. Melhoria Contínua: Implementação de um modelo para melhoria de indicadores de desempenho fabril. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2018.

RODRIGUES, B. L. Análise da Aplicação do Masp para Redução dos Níveis de Consumo de Matéria Prima em uma Indústria Fabricante de Pás para Aerogeradores. **Monografia - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**. Fortaleza-CE, 2016.



SILVA, D. F. da, NICO, G. F., GALVÃO, K. C. F., LUPPI, M. S., CHÁCARA, A. B. P. **Revista Mundo Acadêmico**. Análise de Pareto na Resolução de Problemas Organizacionais: Estudo de Caso. V. 11, n. 16, p. 74-94. 2015.

Silva, M. Â. (2009). Desenvolvimento e implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade (Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal). Disponível: <http://hdl.handle.net/10773/1715>

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. [S.l.], 2012.

VENTURA, M.M. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Rev SOCERJ**. 2007; 20(5):383-386.

VIANA, H. R. G. PCM, Planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: Quallymark, 2002.