



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



---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA ANÁLISE E REDUÇÃO DOS ÍNDICES  
DE SUCATA NA LAMINAÇÃO**

**DÁVILA COSTA LOPES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

João Monlevade / Minas Gerais

Setembro 2017



---

**DÁVILA COSTA LOPES**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA ANÁLISE E REDUÇÃO DOS ÍNDICES  
DE SUCATA NA LAMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

*Orientação: Prof<sup>a</sup> Rafael Lucas Machado Pinto*

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

João Monlevade / Minas Gerais

Setembro 2017



## RESUMO

As empresas do setor siderúrgico precisam buscar estratégias para permanecerem competitivas no mercado. Por se tratar de um produto de difícil diferenciação, o meio encontrado de se destacar é pelo nível de serviço oferecido ao cliente, qualidade do produto e custo baixo. Reduzir desperdícios de recursos é uma estratégia no setor siderúrgico para prosseguir competitivas, e um desses recursos trata-se do tempo que a máquina está produzindo. Dentre outros fatores, esse tempo depende do tempo gasto com paradas na produção para a retirada da sucata de linha e atividades de manutenção, essas atividades não podem deixar de ser realizadas, pois é preciso que tenha continuidade do funcionamento da linha de produção. Logo, o índice de sucata deve ser minimizado para que tenha menos paradas e a produção seja maximizada. O presente estudo apresenta um estudo de caso de uma indústria siderúrgica sobre o alto índice de sucata de linha na Laminação. Esse índice estando alto afeta na produção, nos custos da empresa e nos riscos de machucar dos funcionários. O intuito é identificar os índices de sucata de linha através de entrevistas com funcionários que trabalhem nessa parte e descobrir nas diferentes origens, equipamentos e turmas responsáveis pela maior ocorrência utilizando-se de ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade. O tipo de pesquisa, quanto à natureza, o trabalho visa resolver os problemas na vida real. Já em relação aos objetivos, possui aspectos relacionados à explicativa e também exploratória. Quanto à classificação dos métodos, é relacionado ao estudo de caso e também ao *survey*. A respeito da abordagem, foi feita uma combinação das abordagens quantitativas e qualitativas. E, em seguida, criar medidas que solucionem esses problemas.

**Palavras Chave:** Laminação, Controle Estatístico da Qualidade, Sucata de Linha.



## ABSTRACT

Companies in the steel sector need to seek strategies to remain competitive in the market. The reason is because it is a product of difficult differentiation, the way they found to stand out is the level of service offered to the customer, product quality and low cost. Reducing waste of resources is a strategy in the steel industry to stay competitive, and one of these features is about how long the machine is producing. Among other factors, this time depends on the time spent with production stops for the removal of scrap and maintenance activities, these activities can not be stopped, as it is necessary to have continuity of production line operation. Therefore, the scrap index should be minimized to have fewer stops and maximize production. The present study presents a case study of a steel industry on the high index of scrap of line in Lamination. This high score affects production, company costs, and the risk of employee injury. The aim is to identify the scrap indices of line through interviews with employees who work in this part and to discover in the different origins, equipment and classes responsible for the greater occurrence using Statistical Quality Control tools. The type of research, as for nature, the work aims to solve the problems in real life. Already in relation to the objectives, it has aspects related to explanatory and also exploratory. As for the classification of the methods, it is related to the case study and also to the survey. Regarding the approach, a combination of quantitative and qualitative approaches was made. And then create measures that solve these problems.

**Keywords:** Lamination, Statistical Quality Control, Line Scrap.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Produção de Aço Bruto.....	2
Figura 2-Etapas do Processo da Produção de Aço .....	7
Figura 3-Processo de Laminação.....	8
Figura 4- Teste t bilateral.....	10
Figura 5-Teste t unilateral à esquerda .....	11
Figura 6-Teste t unilateral à direita .....	11
Figura 7- Exemplo do gráfico de Pareto.....	13
Figura 8- Diagrama de Causa e Efeito.....	14
Figura 9-Classificação da Pesquisa Científica em Engenharia de Produção.....	19
Figura 10-Ocorrência de Sucata de Linha .....	24
Figura 11- Gráfico da Produção de Fio Máquina no Laminador .....	26
Figura 12- Gráfico do Tempo de Utilização do Laminador .....	27
Figura 13- Gráfico do Percentual da Meta de Sucata de Linha – 2016.....	28
Figura 14- Gráfico de Distribuição de Probabilidade do Teste t.....	29
Figura 15-Índice de Sucata das Origens em Relação à Meta .....	31
Figura 16- Pareto de Sucatas nas Origens em Número .....	32
Figura 17- Layout do Laminador.....	33
Figura 18- Gráfico de Pareto de Sucatas Operacionais em Cada Equipamento.....	34
Figura 19- Índice de Sucata Operacional por Turma .....	35
Figura 20- Gráfico de Tukey .....	37
Figura 21- Diagrama de Ishiwaka com as Possíveis Causas .....	38



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela dos resultados ANOVA.....	17
Tabela 2- Percentual de Sucatas Diferentes da Meta .....	31
Tabela 3- Resultados da ANOVA .....	35
Tabela 4- Turmas que Apresentaram Diferenças Significativas Quanto ao Número médio de Tarugos Defeituosos .....	36
Tabela 5- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas – Matéria-Prima .....	39
Tabela 6- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas – Meio Ambiente .....	40
Tabela 7- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas – Mão de Obra .....	40
Tabela 8- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas - Medição .....	41
Tabela 9- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas - Método.....	41
Tabela 10- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas - Máquina.....	42
Tabela 11- Plano de ação para mão de obra .....	43
Tabela 12- Plano de Ação Máquina .....	43
Tabela 13- Plano de Ação Meio Ambiente .....	43
Tabela 14- Plano de Ação Medição.....	44
Tabela 15- Plano de Ação Método .....	44
Tabela 16- Plano de Ação Matéria-Prima .....	44



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Problema de pesquisa .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Objetivo geral .....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>1.4 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>4</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Siderurgia.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Teste de Significância t.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Aplicando as Ferramentas da Qualidade .....</b>	<b>12</b>
2.3.1 Gráfico de Pareto .....	12
2.3.2 Diagrama de Causa e Efeito .....	13
2.3.3 5W2H .....	14
2.3.4 Plano de Ação.....	15
2.3.5 Análise de Variância.....	15
2.3.6 Comparações Múltiplas de Médias .....	17
2.3.6.1 Teste de Tukey.....	17
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Classificação da Pesquisa.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Etapas de Desenvolvimento .....</b>	<b>21</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Apresentação da Empresa .....</b>	<b>23</b>
4.1.1 Descrição da empresa .....	23
<b>4.2 Indicadores de Desempenho .....</b>	<b>24</b>
4.2.1 Sucata de Linha .....	24
4.2.2 Paradas.....	25
4.2.3 Tempo de Utilização – TU (h).....	25
<b>5. DESCRIÇÃO DE PROBLEMA .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 Teste de significância t.....</b>	<b>28</b>
<b>5.2 Análises das Sucatas .....</b>	<b>30</b>



5.2.1	Análise das Origens das Sucatas .....	30
5.2.1.1	Análise das Sucatas Operacionais por Equipamento.....	33
5.2.1.2	Análise das Sucatas Operacionais por Turma nas Cadeiras 1 a 16 .....	34
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1</b>	<b>Resumo dos Resultados .....</b>	<b>38</b>
<b>7.</b>	<b>SUGESTÃO DE MELHORIA .....</b>	<b>43</b>
<b>7.1</b>	<b>5W2H.....</b>	<b>43</b>
<b>8.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>45</b>
<b>9.</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>





### ATA DE DEFESA

Ao 1º dia do mês de Setembro de 2017, às 14:00 horas, na sala B 303 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pela aluna Dávila Costa Lopes, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Profº Rafael Lucas Machado Pinto, orientador, e pelos convidados Profº. Izabel Cristina da Silva e Profº. Thairone Ezequiel de Almeida. A aluna apresentou o trabalho intitulado: "Aplicação de ferramentas da qualidade para análise e redução dos índices de sucata na laminação". A comissão examinadora deliberou pela:

Aprovação

Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: \_\_\_\_\_

Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: \_\_\_\_\_


Reprovação

da aluna, com a nota 90. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 4/2017, foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela aluna.

João Monlevade, 1 de Setembro de 2017.

  
Rafael Lucas Machado Pinto - Orientador

  
Izabel Cristina da Silva - Convidada

  
Thairone Ezequiel de Almeida - Convidado

  
Dávila Costa Lopes - Graduanda



### TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado "Aplicação de ferramentas para análise e redução dos índices de sucata na laminação" é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Morlevade, 02 de fevereiro de 2018

Denise Costa Lopes

Nome completo do aluno

## 1. INTRODUÇÃO

O setor siderúrgico é responsável pela produção de aço e ferro fundido. Portanto, ele abastece várias outras indústrias que utilizam o aço como matéria prima para seus produtos. Com o desenvolvimento das atividades humanas, o aço passou a ser amplamente utilizado para uma infinidade de aplicações.

De acordo com ABM Brasil (2015), “a siderurgia vem sendo protagonista em termos do esforço de modernização tecnológica e da adoção das melhores práticas de gerenciamento ambiental”. E o consumo doméstico de produtos siderúrgicos vem sendo impulsionado pelo ressurgimento de indústrias consumidoras de aço.

A indústria siderúrgica produz materiais chamados intermediários, ou seja, que são responsáveis por abastecer outros setores, como a indústria automotiva e a de construção. Logo, sua demanda é diretamente dependente do contexto macroeconômico mundial (FONSECA, 2011).

Segundo o Instituto Aço Brasil (2015):

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo, o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial.

O aço é uma liga de ferro com carbono, e na siderurgia é utilizado o carvão para sua fabricação em duas funções: como combustível para fundir o minério e como redutor para separar o oxigênio do ferro. Ele está presente em diversas formas no dia a dia das pessoas, isso por ser resistente, durável e reciclável. É essencial na produção de veículos, utilidades domésticas, construção civil, embalagens e recipientes, entre outros (Instituto Aço Brasil, 2015). A Figura 1 apresenta a produção de aço bruto desde 1950 no mundo está representado a seguir, o que evidencia como o aço vem ganhando espaço e se tornando mais importante e consumido nos dias de hoje.

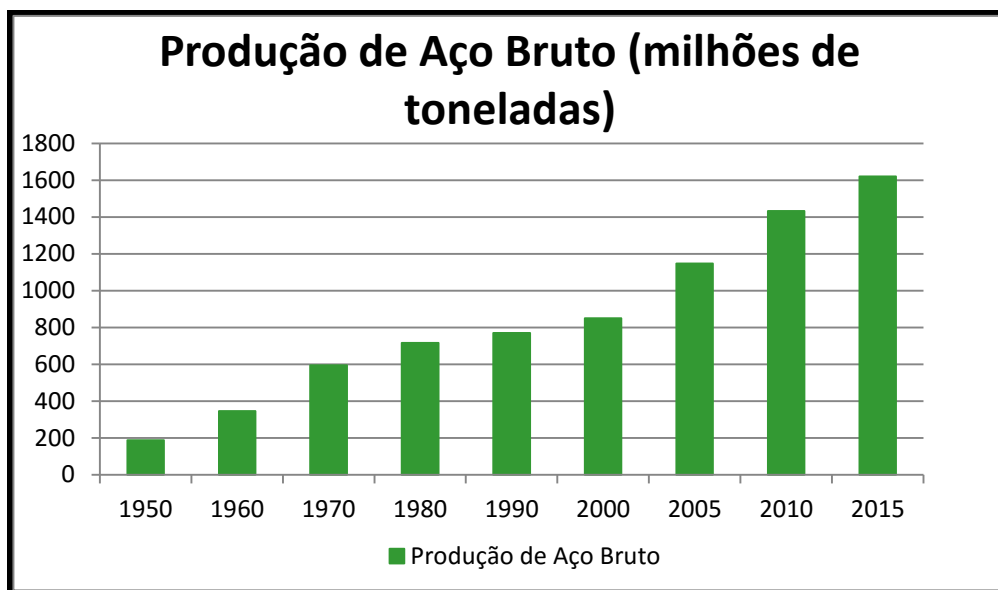


Figura 1-Produção de Aço Bruto  
Fonte: World Steel (2015)

Segundo World Steel (2015), o Brasil é o oitavo país que mais produz aço no mundo, atrás da China, Japão, Índia, EUA, Rússia, Coreia do Sul e Alemanha, nesta ordem. O aço pode ser transformado infinitas vezes em um novo aço sem perder a qualidade, a sucata é, então, reutilizada.

A busca por tais melhorias pode ser atingida através da utilização de métodos de controle estatístico de processos e ferramentas de gestão da qualidade. Assim, dados do processo são absorvidos e analisados de forma a gerar informações que proporcionam tomar decisões que venham a trazer melhorias ao processo.

A empresa em estudo é uma unidade de um grupo multinacional, com atuação no segmento siderúrgico. O produto final é a bobina de fio-máquina, que é a matéria prima para outros produtos, como construção civil, agropecuária e outras.

Para aumentar a eficiência e eficácia operacional, é inevitável buscar entender melhor como funciona a estrutura organizacional e a dos processos. Não se tratando somente disso, mas também para responderem com rapidez às mudanças contínuas do setor e continuarem sendo competitivas no mercado, elas precisam melhorar seus processos internos, buscando capacitar os empregados a utilizarem as máquinas de forma correta a fim de obter melhores resultados econômicos e financeiros. Dessa forma, o devido trabalho torna-se importante por ter como objetivo abaixar o índice de sucata, e conseqüentemente, diminuir a quantidade de paradas, aplicando as ferramentas da qualidade.

Para alcançar este objetivo realizou-se uma Revisão Bibliográfica, de acordo com as ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade relacionadas ao problema em questão, com intuito de trazer melhorias a esse processo como, por exemplo, aumentar o índice de produtividade e diminuir paradas relacionadas à sucata na laminação.

### **1.1 Problema de pesquisa**

No presente trabalho é analisado o processo de laminação em uma empresa do setor siderúrgico e o ponto a ser estudado é o alto índice de sucata na atividade de laminação.

A sucata de linha é caracterizada como todo tarugo que não tem comportamento normal durante a laminação, ou seja, aquele que sofre alguma interrupção por algum motivo. Seja pela causa elétrica, que é quando ocorrem quedas de energia, por exemplo; mecânica, que pode ser o desalinhamento de equipamentos fazendo que a barra seja interrompida; operacional, que são erros dos operadores; externo, que são as interrupções que o laminador não controla, ou oficina, causada por problemas no desgaste das guias, por exemplo.

Atualmente, existe um significativo número de paradas no processo devido às sucatas, ocasionando queda na produção. Graças a isso, surge a necessidade de analisar o sistema de controle das paradas do processo de laminação causadas pelas sucatas, pois têm consequências devido às paradas, como: alto custo de produção, danos ao equipamento, atraso na entrega dos pedidos e risco de acidentes aos funcionários.

Desta forma, destaca-se como sendo ponto crucial o estudo para buscar soluções para o problema em questão.

Pergunta problema: O que contribui para elevação do índice de sucata e como minimizar esse percentual?

### **1.2 Justificativa**

No cenário atual do mercado siderúrgico, no qual a competição é acentuada e os clientes exigem cada vez mais produtos e serviços de qualidade a um preço acessível, as empresas precisam estar preparadas para enfrentar os problemas diários e estarem buscando o melhor para seu crescimento. Procuram produzir o máximo gastando o mínimo, sem esquecer-se da qualidade dos produtos.

Problemas no Laminador devido à sucata de linha afetam na produção, pois é necessário pará-la para restabelecer o processo, retirar a sucata e verificar o equipamento;

apresenta risco de danos ao equipamento; gera custo, uma vez que terão que produzir novamente, causando perdas no processo; afeta o atendimento ao cliente, devido ao tempo de entrega tornar-se maior, além de apresentar risco de acidente aos funcionários que estão propensos.

Diante disto, é preciso buscar uma solução a partir da aplicação de ferramentas de controle estatístico e da qualidade para otimizar os processos internos e combater ineficiências no processo. O presente trabalho se justifica pela necessidade de reduzir tais sucatas indevidamente.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Aplicar ferramentas da Engenharia da Qualidade para analisar a causa e propor possíveis soluções para redução do índice de sucata em uma empresa siderúrgica.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar quais são os fatores que exercem maior influência no índice de sucata de linha, e conseqüentemente, que afetam no tempo de utilização e na perda de produção do Laminador;
- Realizar estudo do processo de laminação, a fim de compreendê-lo e colaborar no processo de análise de pontos críticos;
- Fazer uma proposta de melhorias para o processo na forma de ações que visam à correção de causas dos altos índices.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está dividido em oito seções. Iniciando com a introdução do assunto que foi desenvolvido o trabalho, a definição do problema, os objetivos esperados e a justificativa para a realização do trabalho. Na segunda seção tem-se a revisão bibliográfica, apresentando os conceitos mais relevantes do processo de siderurgia e as ferramentas do controle estatístico que serão utilizadas. Em seguida, na terceira seção, descreve-se a metodologia, na qual se classifica a pesquisa empregada para a obtenção e coleta de dados e a etapa de desenvolvimento no estudo de caso. Na quarta seção apresenta-se o estudo de caso, sobre a empresa estudada, o processo de laminação da mesma e os indicadores de

desempenho. Na quinta seção descreve-se o problema, com o intuito de analisar as adversidades encontradas e de aplicar algumas ferramentas, além do resumo desses resultados. Na sexta seção procedem-se os resultados e discussões, com sugestões de melhorias dos problemas encontrados e analisados e aplicação de mais algumas ferramentas. E finalmente, na sétima seção apresenta-se a conclusão do trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será realizado um levantamento bibliográfico em livros, artigos, teses e dissertações sobre os temas relativos ao trabalho para desenvolvimento do tema com o intuito de contextualizar e conseguir embasamento teórico para o tratamento do problema da melhor forma. Foram extraídas as ideias centrais do tema principal dos arquivos lidos com a intenção de integrar com o que já foi feito em diversos estudos.

### 2.1 Siderurgia

Siderurgia é o setor da metalurgia responsável pelos processos de transformação do minério de ferro em ferro ou em aço. A transformação ocorre com o aquecimento do minério de ferro, cálcio, coque e outras matérias-primas em caldeirões elétricos, e, logo após é derramado em moldes para que o metal fundido resfrie (MOURÃO, 2007).

O aço é composto por uma liga de ferro e carbono, e seu processo de fabricação pode ser dividido em quatro etapas, de acordo com o Instituto Aço Brasil (2015):

- ✓ Preparação da carga: O minério de ferro recebe cal e coque, o que resulta é chamado de sinter e o carvão é transformado em coque na coqueria.
- ✓ Redução: Agora preparadas, as matérias-primas são levadas ao alto forno, a carga metálica é fundida devido à alta temperatura e inicia-se a redução do minério de ferro em metal líquido, que é o ferro-gusa (metal feito de ferro com um teor elevado de carbono).
- ✓ Refino: É na aciaria que o ferro gusa é transformado em aço e parte do carbono e algumas impurezas são removidas da liga. O aço, então, segue para o lingotamento contínuo, e sua parte líquida se solidifica em equipamentos, produzindo tarugos semiacabados ou blocos.
- ✓ Laminação: Os semiacabados e blocos de aço passam por processos em laminadores que os transformarão em diversos produtos siderúrgicos. Na próxima seção o processo será detalhado melhor, uma vez que o trabalho tem como local o Laminador.



A Figura 2 demonstra, de forma resumida, o processo produtivo do aço, desde a preparação das matérias primas até o produto final, na mesma ordem de produção que os processos descritos anteriormente.

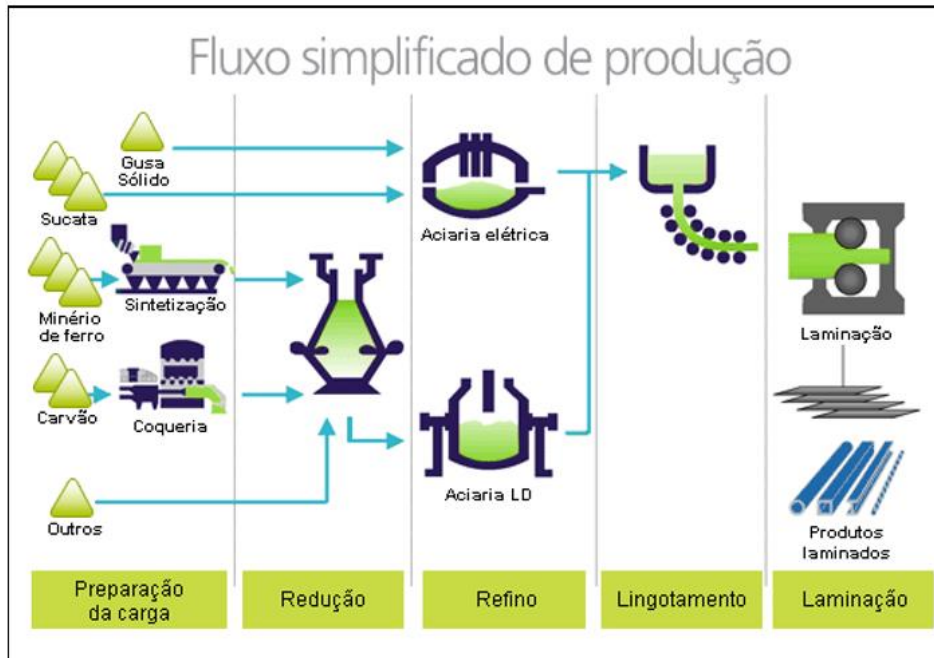


Figura 2-Etapas do Processo da Produção de Aço  
Fonte: Instituto Aço Brasil

O processo é dividido em quatro etapas, sendo elas:

**Processo de Sinterização:** Esta é a primeira etapa que o minério passa ao chegar à usina. A composição é especificada de acordo com os pedidos dos clientes, e em seguida os elementos são levados ao forno, misturados, passando pelos processos de fundição e resfriamento. Após ser resfriada, ocorre a britagem para atingir a granulometria. A última etapa é o processo de sinterização que consiste na redução do minério de ferro utilizando o coque e outros fundentes. Posteriormente, esse material é transportado para o alto forno. O produto final nesse processo é denominado de sinter (SILVA, 2011).

**Processo de Alto Forno:** O alto forno é um reator termicamente eficiente, que funciona em regime de contracorrente: gás-sólido (coque e minério). Nesse processo é realizada a queima de coque, promovendo a redução do minério. No alto forno é produzido o ferro gusa, que é transportado para o forno panela denominado de aciaria, onde ocorre o processo de lingotamento contínuo transformando o ferro gusa em aço (INFOMET, 2015).

Lingotamento Contínuo: A próxima etapa é a fabricação de tarugos, que é a transformação do aço líquido que sai do forno panela e solidificado em moldes de tamanho pré-determinado. O corte dos tarugos é feito com um maçarico e eles são armazenados em um pátio de estocagem até seguirem para o próximo passo que é o processo de laminação (SILVA, 2011).

Processo de Laminação: De acordo com CODA (2006), laminação é uma conformação mecânica onde as peças são alongadas através das forças de fricção que são feitas para puxar o metal, causando tal alongamento. O processo pode ser feito de três maneiras: laminação a quente, laminação a frio e laminação contínua.

O material passa por dois cilindros, girando em sentidos opostos, que estão dispostos a uma distância menor que a dimensão inicial do material, como mostra a Figura 3. Essa tensão ocasiona na deformação plástica, e sua espessura diminui (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 2008).

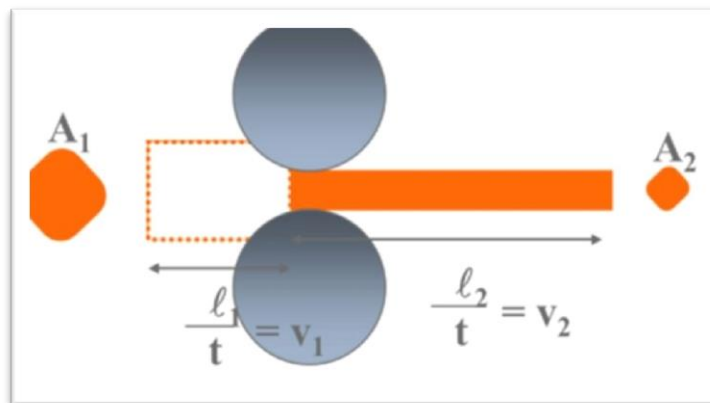


Figura 3-Processo de Laminação  
Fonte: Acervo da Empresa.

De acordo com a Associação Brasileira do Alumínio (2015), o processo de laminação produz desde chapas grossas (de 150 mm) até as mais finas (com 0,005 mm), de acordo com a necessidade. Os materiais que mais são laminados são: chapas planas ou bobinas, folhas e discos - e são usados para transporte (equipamentos rodoviários), construção civil (telhas, calhas), embalagens (latas) e bens de consumo (panelas e utensílios domésticos).

## 2.2 Teste de Significância t

Segundo Pires (2000), um teste de hipótese visa tomar uma decisão a respeito das suposições baseadas em modelos, as hipóteses podem ser paramétricas com respeito a parâmetros de uma ou mais populações ou de ajustamento que tratam da distribuição da população. De acordo com Pires (2000), o teste pode ser simples quando se dá apenas um valor para o parâmetro ou composta quando é descrito mais de um valor para o parâmetro. Neste cenário, tem uma hipótese inicial que será chamada de hipótese nula  $H_0$  e uma hipótese alternativa que será chamada de hipótese alternativa  $H_1$ . A média em  $H_0$  geralmente recebe um valor fixo ( $H_0: \mu = \mu_0$ ) e a média em  $H_1$  pode alterar de acordo com o tipo de teste que se deseja fazer. O teste pode ser bilateral em que o valor da média de  $H_1$  deve ser diferente da média de  $H_0$  ( $H_1: \mu \neq \mu_0$ ), unilateral superior ou à direita quando o valor da média de  $H_1$  é maior do que a média de  $H_0$  ( $H_1: \mu > \mu_0$ ) e unilateral inferior ou à esquerda quando o valor da média de  $H_1$  é menor do que o valor da média de  $H_0$  ( $H_1: \mu < \mu_0$ ), (PIRES, 2000).

Conforme Braga (2010) a estatística do teste fica dentro da área determinada como região crítica,  $H_0$  será excluída. A região crítica é a área determinada pela hipótese alternativa, podendo ser superior, inferior ou bilateral em relação à distribuição de probabilidade da amostra.

O teste t tem a intenção de comparar duas médias para que uma decisão possa ser tomada a respeito de um determinado processo, este teste pode ser unilateral, quando a hipótese alternativa indica uma direção e bilateral quando ela não indica uma direção (LANDIM, 2003). O valor de t deve ser encontrado seguindo a Equação 1:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (1)$$

Onde:

- $\bar{x}$ : Média amostral;
- $\mu_0$ : Valor fixo usado na hipótese nula;
- $s$ : Desvio padrão amostral;
- $n$ : Tamanho da amostra.

De acordo com Landim (2003), o valor de t precisa ser calculado a partir da Fórmula 1 e seu resultado comparado a um valor  $t_{\alpha; n-1}$  encontrado em uma tabela da distribuição de valores t que obedece aos critérios de nível de confiança ( $\alpha$ ) e grau de liberdade (tamanho da

amostra - 1). O teste comprova se a média do processo está na região de aceitação ou na região crítica, onde os resultados não devem ser aceitos e, portanto, a hipótese nula deve ser rejeitada. As regiões críticas em suas 3 situações possíveis podem ser encontradas nas Figuras 4, 5 e 6.

Ao se comparar o valor de  $t$  encontrado com o valor de  $t_{\alpha; n-1}$  da tabela de distribuição  $t$ , é necessário proceder da seguinte forma:

- **Teste bilateral:** Se o valor encontrado de  $t$  for maior do que o valor de  $t_{\alpha/2; n-1}$  ou se o valor de  $t$  for menor do que  $-t_{\alpha/2; n-1}$ , a hipótese  $H_0$  deve ser rejeitada ou em caso contrário, a hipótese  $H_0$  não deve ser rejeitada. Quando a hipótese nula é aceita, verifica-se que as duas médias estão de acordo e quando a hipótese nula é rejeitada, as duas médias comparadas não fazem parte da mesma amostra. A Figura 4 ilustra um Teste  $t$  bilateral.

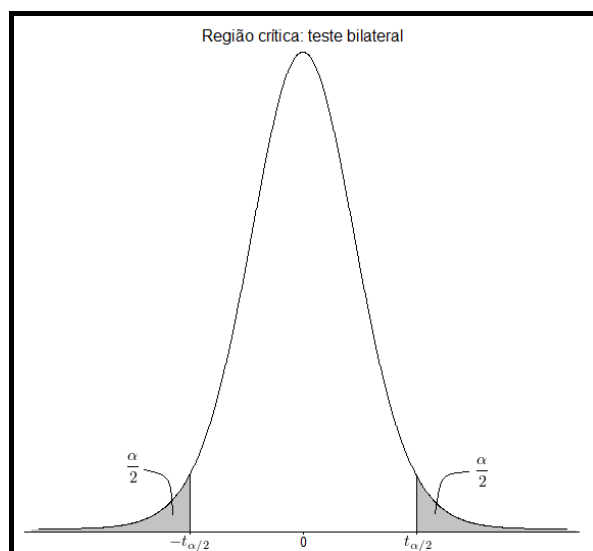


Figura 4- Teste  $t$  bilateral

Fonte: Portal Action

- **Teste unilateral à esquerda:** Se o valor encontrado de  $t$  for menor do que o valor de  $-t_{\alpha; n-1}$  a hipótese  $H_0$  deve ser rejeitada e se valor encontrado de  $t$  for maior do que o valor de  $-t_{\alpha; n-1}$  a hipótese  $H_0$  deve ser aceita. Ou seja, se  $t$  for menor, hipótese rejeitada; se  $t$  for maior, hipótese aceita. Quando a hipótese nula é aceita, verifica-se que as duas médias estão de acordo e quando a hipótese é rejeitada, as duas médias comparadas não fazem parte da mesma amostra. A Figura 5 ilustra um Teste unilateral à esquerda.

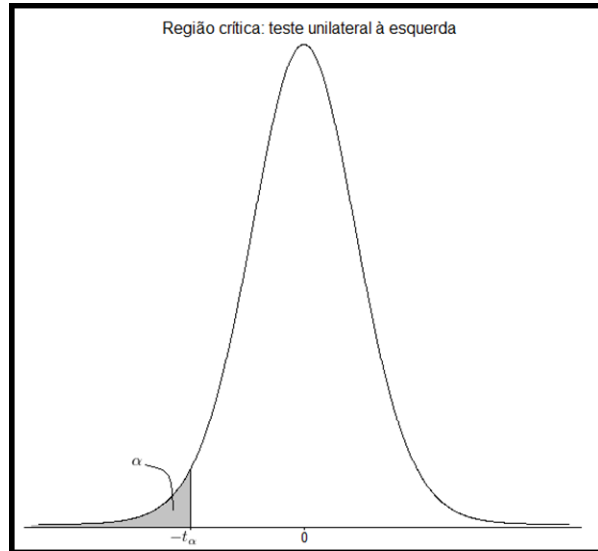


Figura 5-Teste t unilateral à esquerda  
Fonte: Portal Action

- **Teste unilateral à direita:** Se o valor encontrado de t for maior do que o valor de  $t_{\alpha; n-1}$  a hipótese  $H_0$  deve ser rejeitada e se valor encontrado de t for menor do que o valor de  $t_{\alpha; n-1}$  a hipótese  $H_0$  deve ser aceita. Quando a hipótese é aceita, verifica-se que as duas médias estão de acordo e quando a hipótese é rejeitada, as duas médias comparadas não fazem parte da mesma. A Figura 6 ilustra um Teste unilateral à direita.

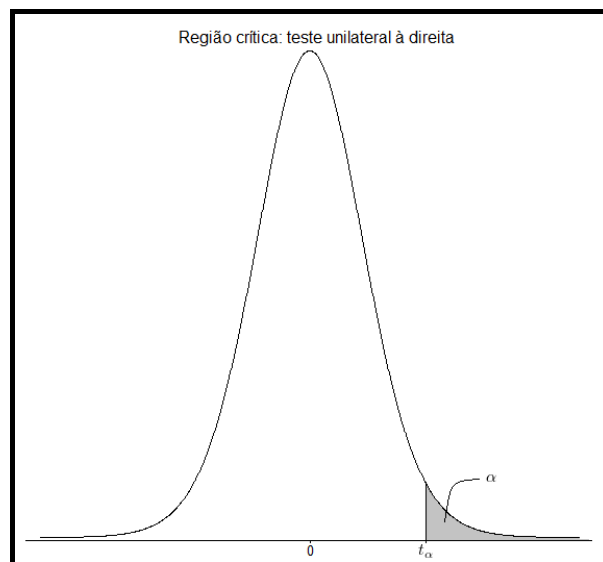


Figura 6-Teste t unilateral à direita  
Fonte: Portal Action

## 2.3 Aplicando as Ferramentas da Qualidade

As ferramentas são utilizadas para dar suporte e apoio nas decisões, controlar os processos e propor soluções para os problemas que surgem.

Segundo Carvalho e Paladini (2005), aplica-se as ferramentas da qualidade com o intuito de “identificar soluções e não apenas identificar problemas”. Portanto, de acordo com Cunha (2010), utilizar as ferramentas que auxiliem no processo para buscar pela melhoria contínua.

Vieira e Wada (1992) apontam que no controle da qualidade existem sete ferramentas estatísticas, sendo elas o fluxograma, folhas de verificação, diagrama de Pareto, histograma, diagrama de inspeção, cartas de controle e diagrama de causa e efeito. Destas sete ferramentas, serão utilizadas, neste trabalho, o diagrama de Pareto e o diagrama de causa e efeito. Serão utilizadas, também, a ferramenta 5W2H, para condução de Plano de Ação, e a Análise de Variância (ANOVA). Estas técnicas utilizadas serão detalhadas nas seções seguintes.

### 2.3.1 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto utiliza barras verticais dispostas em ordem decrescente de valor e uma linha indicando a frequência relativa ou percentual acumulado para dispor informações com mais facilidade. Ou seja, a primeira barra é o maior valor e assim sucessivamente. A explicação deste padrão é que grande parte dos defeitos são causados pelo mesmo motivo, logo, observando claramente quais são os de maior ocorrência, estes podem ser tratados e consegue-se eliminar um grande número de problemas (WERKEMA, 1995). A Figura 7 representa o revestimento inadequado é a primeira barra por possuir a maior quantidade comparada aos outros itens e a linha indica o percentual acumulado, até alcançar 100%.

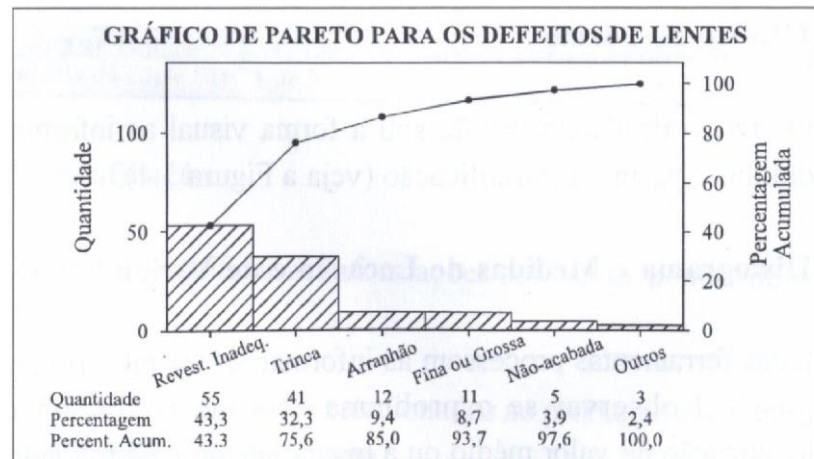


Figura 7- Exemplo do gráfico de Pareto  
Fonte: WERKEMA, 1995

### 2.3.2 Diagrama de Causa e Efeito

Todo resultado de um processo deve-se à influência de vários fatores, logo, se observarmos o processo de forma sistêmica é possível estruturá-lo de forma a visualizar a relação de causa e efeito existente entre eles.

Conhecido também como diagrama de Ishikawa ou diagrama Espinha de Peixe, “o objetivo desta ferramenta é a análise das operações dos processos produtivos” (CARVALHO; PALADINI, 2005). O diagrama é um fluxo contendo todas as possíveis causas do problema dirigindo-se ao efeito principal, e essas causas podem ter seis diferentes naturezas (6M’s), sendo elas:

- Máquina: Podem ser defeitos ou falhas delas;
- Mão de obra: Má qualidade do operador;
- Meio ambiente: O que diz respeito aos fatores climáticos;
- Matéria-prima: O material utilizado no processo;
- Método: Forma de executar o trabalho;
- Medida: Pequenas mudanças podem estimular um problema.

De acordo com Carvalho e Paladini (2005), os passos para sua conclusão são:

- Identificação do problema;
- Efeito colocado no lado direito do diagrama;
- Sugerir e determinar causas que podem determinar este efeito;
- A ênfase é dispor de maior número possível de ideias que conduzam às causas. Se

aceita até às inviáveis ou improváveis;

- Conclui-se a definição do problema (efeito) e a listagem das possíveis causas que vieram à tona;
- As causas principais e secundárias são alocadas a esquerda do diagrama;
- Cada pausa passa por uma associação criativa, associando-se a ela, por exemplo, níveis de viabilidade de gerarem o efeito;
- Fase da experimentação, cada causa testada e analisada;
- Finalmente as causas do efeito podem ser definidas.

A Figura 8 representa o diagrama de Causa e Efeito com suas diferentes naturezas.

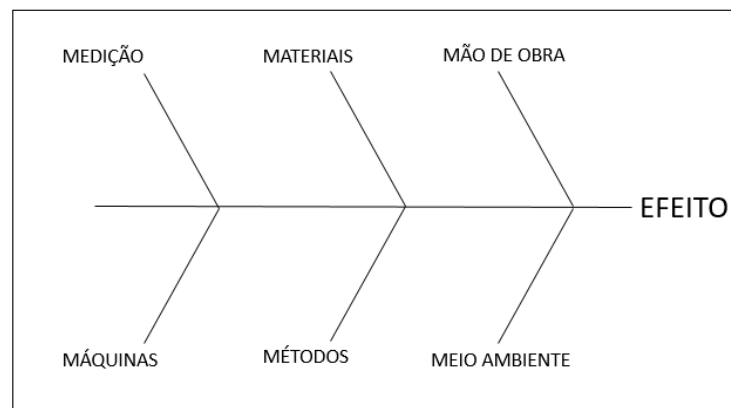


Figura 8- Diagrama de Causa e Efeito  
Fonte: Ferramentas Básicas de Qualidade (1993)

### 2.3.3 5W2H

A ferramenta 5W2H é utilizada para organizar os problemas de forma mais simples a visualização através de perguntas que identificam os fatores cruciais.

Reproduz um formulário e tem como auxílio pontos principais a serem desenvolvidos em um plano de ação por meio de perguntas, chamadas de: “5W2H”. São as seguintes:

- *What* (O que);
- *Who* (Quem);
- *When* (Quando);
- *Where* (Onde);
- *Why* (Por que);
- *How* (Como);
- *How much* (Quanto custa).



### 2.3.4 Plano de Ação

Ferramenta utilizada para se alcançar um objetivo. É recomendada a utilização do 5W2H no plano de ação, e suas ações precisam de uma orientação e data limite para execução do mesmo.

### 2.3.5 Análise de Variância

Segundo Montgomery (2009) apud (PAESE et al., 2001) a Análise de Variância, também conhecida como ANOVA - do inglês *Analisis of Variance* - é uma ferramenta para comparação de vários grupos ou estratos de interesse. É possível examinar a existência de diferenças consideráveis entre os fatores estudados.

O intuito é testar a igualdade das médias dos  $a$  tratamentos, representados pela variável  $\tau$ , cujas médias são representadas por  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_a$  (MONTGOMERY, 2009). Faz-se isso por meio da Equação 2.

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0 \quad (2)$$

Deste modo, testa-se as hipóteses  $H_0$  e  $H_1$  mostradas abaixo:

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0;$$

$$H_1 = \tau_i \neq 0 \text{ para no mínimo um } i$$

De acordo com Montgomery (2009) se a hipótese nula for aceita, cada observação é formada pela média global  $\mu$  mais o erro aleatório  $\epsilon_{ij}$ . O que quer dizer que todas as observações possuem uma mesma distribuição normal e variância. Logo, se a hipótese nula for aceita, as mudanças nos níveis de fatores não controlam a média.

O teste das hipóteses  $H_0$  e  $H_1$  baseia-se na comparação de duas estimativas independentes da variância da população. A variabilidade total encontrada nos dados é descrita pela soma total dos quadrados, descrita pela Equação 3:

$$SQT = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y} \dots)^2 \quad (3)$$

Ou, simbolicamente, conforme mostrado na Equação 4:

$$SQT = SQ_{\text{Tratamentos}} + SQE \quad (4)$$

Dessa forma, de acordo com Montgomery (2009), é mostrada a variabilidade total presente nos dados  $SQT$ , pode ser dividida entre a soma dos quadrados das diferenças entre a

média do tratamento e a média global ( $SQ_{\text{Tratamentos}}$ ) e a soma dos quadrados das diferenças entre as observações de um tratamento e a média dos tratamentos. Ainda segundo Montgomery (2009), a existência de diferenças entre médias observadas nos tratamentos e a média global medem diferenças entre tratamentos; já diferenças entre observações dentro de um único tratamento e a média dos tratamentos são atribuídas ao erro aleatório.

Montgomery (2009) ainda menciona que um fator importante na realização de uma análise de variância é a divisão no número de graus de liberdade, que corresponde à identidade da soma dos quadrados. Admitindo-se que há  $an=N$  observações, assim,  $SQ_T$  tem  $an - 1$  graus de liberdade. Levando em conta que existem  $a$  níveis do fator, tem-se  $SQ_{\text{Tratamentos}}$  com  $a - 1$  graus de liberdade. Levando em conta a existência de  $a$  tratamentos, tem-se  $a(n - 1)$  graus de liberdade para o erro. Por fim, chega-se à média quadrática dos tratamentos na Equação 5:

$$MQ_{\text{Tratamento}} = SQ_{\text{Tratamento}} / (a - 1) \quad (5)$$

Assim, se a hipótese nula  $H_0$  for verdadeira,  $MQ_{\text{Tratamento}}$  torna-se um indicador não tendencioso de  $\sigma^2$ . Porém, se  $H_1$  for verdadeira,  $MQ_{\text{Tratamento}}$  estimará  $\sigma^2$  mais um termo positivo que incorpora a variação devida à diferença sistemática nas médias dos tratamentos. Tem-se que a média quadrática do erro  $MQ_E$  é um estimador não tendencioso de  $\sigma^2$ , independentemente da aceitação ou não de  $H_0$ .

Para verificação da aceitação ou não da hipótese nula, tem-se o teste F, expresso na Equação 6 por:

$$F_0 = \frac{SQ_{\text{Tratamento}} / (a - 1)}{SQE / [a(n - 1)]} = \frac{MQ_{\text{Tratamento}}}{MQE} \quad (6)$$

Para Montgomery e Runger (2009), se a hipótese nula for verdadeira terá uma distribuição F com  $a - 1$  e  $a(n - 1)$  graus de liberdade. Já se a hipótese nula ser falsa, o valor esperado de  $MQ_{\text{Tratamentos}}$  será maior que  $\sigma^2$ . Sendo assim, quanto à hipótese alternativa, o valor esperado do numerador é maior que o esperado no denominador. Logo, rejeita-se  $H_0$  se o teste F for grande. Isso gera uma região crítica unilateral superior. Logo, rejeita-se  $H_0$  se  $f_0 > f_{\alpha, a-1, a(n-1)}$ , sendo  $f_0$  o valor calculado de  $F_0$  no teste acima.

Por fim, ainda de acordo com Montgomery (2009), para análise de variância com tamanhos iguais de amostra em cada tratamento, tem-se os cálculos da soma dos quadrados, como pode ser observado na Equação 7:

$$SQ_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SQ_{\text{Tratamento}} = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i.}^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (7)$$

Os resultados da ANOVA podem ser sintetizados no formato de uma tabela, conforme ilustrado pela Tabela 1.

Tabela 1- Tabela dos resultados ANOVA

Fonte da variação	Soma dos Quadros	Graus de liberdade	Média Quadrática	F <sub>0</sub>
Tratamentos	SQ <sub>Tratamento</sub>	a - 1	MQ <sub>Tratamento</sub>	$\frac{MQ_{\text{Tratamento}}}{MQE}$
Erro	SQ <sub>E</sub>	a(n - 1)	MQ <sub>E</sub>	
Total	SQ <sub>T</sub>	an - 1		

Fonte: Elaborada pela autora

### 2.3.6 Comparações Múltiplas de Médias

De acordo com Walpole (2009), quando a hipótese nula é rejeitada e aceita-se a hipótese alternativa (médias não são iguais), testado na análise de variância, não se sabe, dentre as médias populacionais, quais são iguais e quais são diferentes. Então, para isto, pode utilizar alguns testes e dentre eles, o Teste de Tukey.

#### 2.3.6.1 Teste de Tukey

O teste se destaca por ser bastante rigoroso e exato. Ao se trabalhar com médias que são estatisticamente diferentes, aplicar uma ferramenta que permite quantificar a magnitude dessa diferença é vantajoso. O Teste de Tukey permite a criação de intervalos de confiança 100(1- $\alpha$ )% simultâneos para comparações em pares, onde  $\alpha$  é a taxa de erro da família de dados (WALPOLE, 2009).

De acordo com Walpole (2009), o teste se baseia em uma distribuição de amplitude ‘estudentizada’, no qual o percentual apropriado é uma função de  $\alpha$ , k e v = graus de liberdade para  $s^2$ . Tal relação é apresentada na equação da Diferença Mínima Significativa (DMS), (Equação 8) mostrada abaixo, em que  $q[\alpha, k, v]$  é um valor tabelado, ‘n’ é o número de réplicas do tratamento (nível) e  $s^2$  equivale ao quadrado médio do erro.

$$\text{DMS} = q[\alpha, k, v] \frac{\sqrt{s^2}}{n} \quad (8)$$

Logo, o Teste de Tukey é um método de comparação em pares que procura descobrir uma diferença significativa entre as médias de dois experimentos  $i$  e  $j$  ( $i \neq j$ ), se as médias  $|\bar{y}_i - \bar{y}_j|$  excederem  $\text{DMS} = q[\alpha, k, v] \frac{\sqrt{s^2}}{n}$  (WALPOLE, 2009).

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como intuito realizar uma análise de um problema real existente em uma empresa no ano de 2016. E para que seus objetivos sejam alcançados é importante ter uma metodologia para se basear. Além de tratar os conceitos referentes às abordagens, natureza, objetivo e método; também será abordado como a pesquisa foi conduzida.

#### 3.1 Classificação da Pesquisa

A Figura 9 apresenta uma forma de classificação de pesquisas científicas em Engenharia de Produção proposta por Turrioni e Melo (2011).

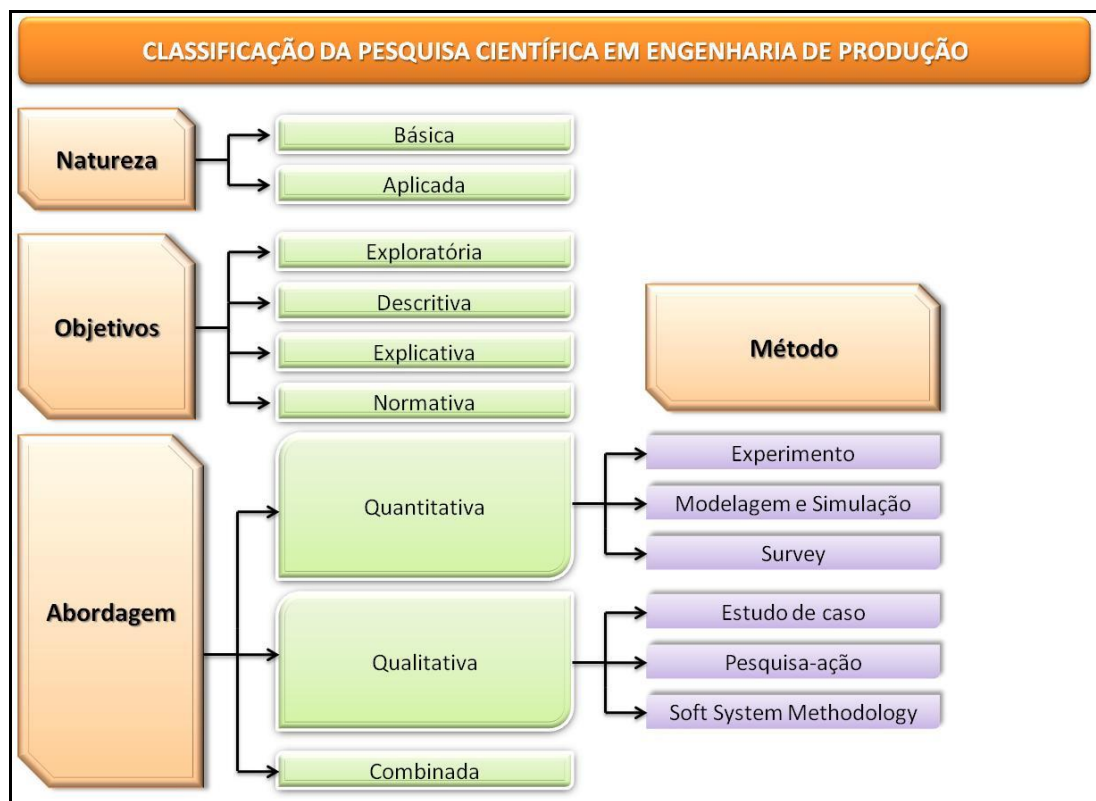


Figura 9-Classificação da Pesquisa Científica em Engenharia de Produção  
Fonte: Turrioni e Mello (2012)

De acordo, com Turrioni e Melo (2011), o presente estudo possui as seguintes classificações:

Quanto à natureza, é classificada como aplicada, pois irá aplicar o que foi descoberto para resolver os problemas na vida real. Segundo Turrioni e Melo (2011) apud Appolinário (2006), a natureza aplicada é utilizada para desempenhar novos processos de acordo com a exigência.

Em relação aos objetivos, tem aspectos relacionados à explicativa, pois explica todas as causas dos problemas no devido estudo e também exploratória, que segundo GIL (2007, apud Gerhardt e Silveira 2009):

Este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A grande maioria dessas pesquisas envolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Quanto à classificação dos métodos, o trabalho possui conceitos relacionados ao estudo de caso, já que estuda o objeto para conhecê-lo melhor e é também conexo ao *survey*, pois foi necessário fazer perguntas para as pessoas que trabalham na empresa com o intuito de aprofundar o conhecimento em determinado assunto (TURRIONI E MELO, 2011).

No que diz respeito à abordagem, levando em consideração a complexidade dos dados a serem tratados, bem como os objetivos a serem alcançados, é feita uma combinação das abordagens quantitativas e qualitativas.

“A pesquisa quantitativa se centra na objetividade [...] recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc.” (FONSECA, 2002, p. 20 apud GERHARDT E SILVEIRA, 2009, p. 33). Enquanto a pesquisa qualitativa possui atributos como: “objetivação do fenômeno; hierarquização das ações de descrever, compreender, explicar, precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno” (GERHARDT E SILVEIRA, 2009, p. 32). Ou seja, as duas juntas levantam mais informações.

E na visão de Terence e Filho (2006), a pesquisa qualitativa evidencia o processo e seu significado, ao mesmo tempo em que a quantitativa tem o objetivo de medir (frequência, quantidade e intensidade) e considerar as relações causais entre as variáveis.

Ainda de acordo com Terence e Filho (2006), a escolha entre uma das abordagens deve estar associada aos objetivos da pesquisa. A escolha das duas abordagens metodológicas foi devido à complexidade das causas que geram sucatas na laminação.

A parte quantitativa do trabalho se fez primordial, uma vez que, foi necessário medir os tempos gastos com paradas devido a sucatas para que eles pudessem ser comparados com os tempos previstos sem que elas ocorressem, assim, ferramentas do controle estatístico da qualidade foram utilizadas para que tais comparações fossem feitas. A caracterização do problema necessita ser quantificada para justificá-lo e comprovar a existência do mesmo,

porém, os fatores que levam às causas destes problemas são complexos e apenas podem ser apontados através de métodos qualitativos, que exigem observações e pensamento crítico.

Portanto, uma combinação entre as duas abordagens mostrou-se como a opção mais viável.

### **3.2 Etapas de Desenvolvimento**

A metodologia de pesquisa consiste em demonstrar as etapas de desenvolvimento do trabalho.

Primeiramente, é preciso mapear os processos internos da empresa para entender seu andamento no dia a dia. Para realização do trabalho nota-se que é preciso conversar com as pessoas envolvidas no processo, ou seja, o conhecimento tácito, por elas estarem trabalhando com isto há anos e possuem experiência atuando na área. Possuindo este conhecimento, alguns sabem quais fatores geram mais impacto no índice de sucata.

O presente estudo tem objetivo de identificar quais são os fatores que exercem maior influência no índice de sucata de linha no ano de 2016 e, para isso, foram coletados dados e armazenados. Os dados utilizados para a abordagem quantitativa deste trabalho foram extraídos do Software *Manufacturing Execution System* (MES). Trata-se de um sistema integrado com diversas funções, dentre elas, monitora a produção em tempo real, possui os dados dos funcionários, armazena informações, controla o estoque, informa os tempos de operação e das máquinas, entre outros. As informações de sucata e produção são lançadas no software e ficam disponíveis no banco de dados para quem precisar ter acesso. Podem ser encontrados dados como relatórios de paradas separados por turno, turma e processo. Tais informações são atualizadas diariamente em planilhas.

Para começar, foram extraídas tais informações do MES para uma planilha no Excel, e estas foram organizadas em gráficos que evidenciaram a existência do problema, destacando os mais relevantes de cada um.

Em um segundo momento, como auxílio na análise dos índices de sucata, buscou-se na literatura ferramentas do controle estatístico e da qualidade. Com o intuito de identificar qual origem contribui mais no índice de sucata total, foi feito diagramas de Pareto com as origens mais significativas e assim encontrado a mais relevante dentre elas; Teste de significância, para comparar a média estabelecida como índice previsto com a média real dos índices e ANOVA, que faz as comparações. Ao aplicar a ferramenta ANOVA, utilizou-se o

software Minitab 17, cria gráficos de dados, os analisa, realiza avaliação da qualidade, planeja um experimento, gera relatórios. Com isso torna-se mais fácil a visualização do determinado problema quando utilizado tal software (Minitab 17, 2017).

Nos resultados, foi feito um Diagrama de Ishikawa, com as possíveis causas para o efeito final; uma matriz de prioridade com as principais causas do diagrama de Ishikawa e o Plano de Ação de acordo com os problemas mais relevantes da matriz de prioridade.



## 4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso acontece para visualizar uma situação que será estudada e analisar em particular um fenômeno a ser investigado.

Já foi mencionado que o objetivo deste estudo é trazer melhorias diminuindo o índice de sucata no Laminador e melhorando a produção. No trabalho foram apresentados os índices de sucata de linha nas turmas, nos equipamentos e por responsabilidade. Com isso, mostrou-se como este indicador acima da meta afeta no decorrer do processo e também foi utilizada ferramentas do controle estatístico da qualidade em busca de solucionar o problema.

O estudo de caso é utilizado para descrever quantitativamente a existência de um alto índice de sucata que, conseqüentemente, afeta o tempo de utilização e diminui a produção. Em seguida, foram buscadas as causas que geravam tal aumento, sendo investigadas e apresentadas de forma qualitativa.

### 4.1 Apresentação da Empresa

#### 4.1.1 Descrição da empresa

Segundo dados da Apostila da empresa, ela está presente em mais de 60 países e referência na siderurgia global em qualidade e sustentabilidade. Possui capacidade de produção superior a 11 milhões de toneladas por ano. A organização oferece produtos e soluções em aço nos segmentos longos (laminados e trefilados) e planos (placas e laminados) para aplicação nas indústrias de eletrodomésticos, construção civil, agronegócio, naval, automobilística, entre outras.

Ainda de acordo com a Apostila, é uma das maiores produtoras de aço da América Latina e uma das principais produtoras de minério de ferro do mundo. Na unidade são produzidos fio máquina de alto teor de carbono e baixa liga que se destacam na utilização para a produção de lâ de aço e o *steel cord* (reforço de pneus radiais).

O processo produtivo começa na extração do minério em uma mina e segue nas próximas etapas, como sinterização, redução em alto forno, refino do aço, lingotamento e a laminação.

## 4.2 Indicadores de Desempenho

### 4.2.1 Sucata de Linha

Como já relatado anteriormente, sucata de linha é o tarugo com desempenho anormal no decorrer da laminação. O objetivo é apurar todas as ocorrências por mecânica, operacional, externa, elétrica e oficina, e, a partir das análises, aprofundar nos estudos em busca da melhoria do problema.

Uma vez que gera sucata na laminação esse material é picotado, em seguida coletado em caixas específicas de sucata e, então, retorna para o *hall* de sucata onde será enfiado para ser reaproveitado na aciaria para fabricação do aço. A Figura 10 demonstra o momento exato quando ocorre a sucata, ou seja, quando o tarugo sai da linha de laminação.



Figura 10-Ocorrência de Sucata de Linha  
Fonte: Acervo da Empresa

Peso sucateado é o peso da barra com as perdas no processo, ou seja, o tarugo sofre alterações no seu tamanho ao decorrer do seu caminho nos equipamentos, logo, o peso sucateado é pesado com essas partes perdidas. Já o peso da produção é o peso do tarugo sem as perdas no processo, ou seja, é pesado da maneira que começou o processo.

Para calcular o índice de sucata é feito a divisão entre o peso sucata e o peso da produção, e, sem seguida, multiplicado por 100, como demonstrado Equação 9.

$$Sucata = \left( \frac{Peso\ Sucatado\ (toneladas)}{Peso\ da\ Produção\ (toneladas)} \right) \times 100 \quad (9)$$

#### 4.2.2 Paradas

Na laminação existem dois tipos de paradas: as programadas e as paradas não programadas. As programadas: manutenção do equipamento, realizada uma vez por semana para evitar o desgaste do equipamento, e as que não são programadas, que podem acontecer a qualquer momento para reparar um evento inesperado no processo, ou seja, corrigir, e isso podem levar minutos ou horas, são chamadas de acidentais, sendo elas: elétrica, mecânica, operacional e externo. Por mais que exista a parada programada de prevenção para que a outra não aconteça, ela não é suficiente para que não ocorra nenhum erro no processo.

#### 4.2.3 Tempo de Utilização – TU (h)

Para calcular o tempo de utilização é necessário o tempo de calendário (TC), que é o total de horas disponíveis para produção, e o tempo efetivo (TE), caracterizado por ser o tempo programado para o trabalho, ou seja, a subtração entre o tempo de calendário pelo tempo total de paradas. A equação será o tempo efetivo dividido pelo tempo de calendário e, em seguida, multiplicado por 100, como demonstrado na Equação 10.

$$TU = \frac{TE}{TC} \times 100 \quad (10)$$

O alto índice de sucata no laminador gera paradas no processo, o que afeta no tempo de utilização, o que diminui a produção. Quando uma linha de produção fica ociosa ou indisponível por qualquer razão, independentemente do tempo que fique sem produzir bens ou serviços, os custos fixos ainda existem. E, além disso, ocasiona na insatisfação dos clientes e na reputação da empresa. Ou seja, o tempo gasto para que a linha fique disponível novamente precisa ser o menor possível, assim como o número de interrupções.

## 5. DESCRIÇÃO DE PROBLEMA

Considerando os indicadores do Laminador, observa-se que o índice de sucata na linha estava abaixo da meta desejada. Como este indicador afeta no tempo de utilização, nas paradas e na produção, busca-se então a comprovação do problema de pesquisa com base nessas referências.

Com o intuito de mensurar o problema, foi feita uma análise da produção do fio máquina do ano de 2016, em conjunto com o tempo de utilização, índice de sucata geral, índice de sucata em cada origem, índice de sucata operacional por turma e por equipamento, buscando solucionar o alto índice de sucata de linha.

No que diz respeito à produção, é mostrado no gráfico da Figura 11.

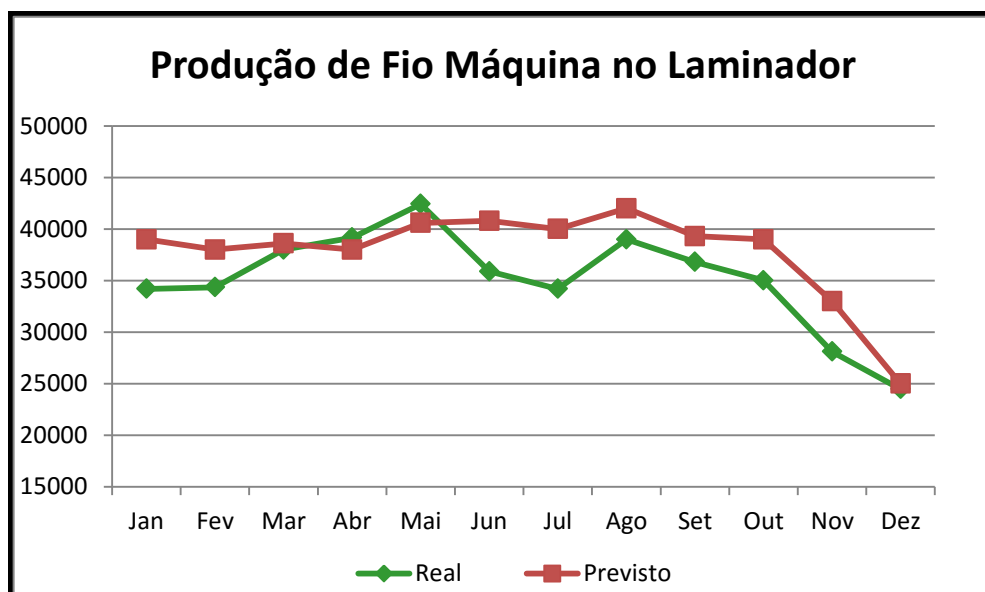


Figura 11- Gráfico da Produção de Fio Máquina no Laminador  
Fonte: Elaborada pela autora

Como visto a previsão não foi cumprida e são vários os fatores que fazem com que a produção real não seja como a prevista, o gráfico da Figura 11 mostra que na maioria dos meses a realidade ficou abaixo do esperado. O demasiado número de ocorrências de paradas na Laminação até que a produção volte ao normal após a ocorrência de sucatas é o que causa defasagem na quantidade de produção e, conseqüentemente, no tempo de utilização, que também se encontrou abaixo do desejado.

Diminuindo o alto índice de sucata faria que a produção fosse maior, uma vez que teria menos pausas para retirada da sucata e também o tempo perdido até recomeçar a produção.

O gráfico da Figura 12 representa o tempo de utilização real e previsto em porcentagem do ano de 2016, porém os valores foram multiplicados por uma constante, chamada de “k” para não revelar os valores reais.

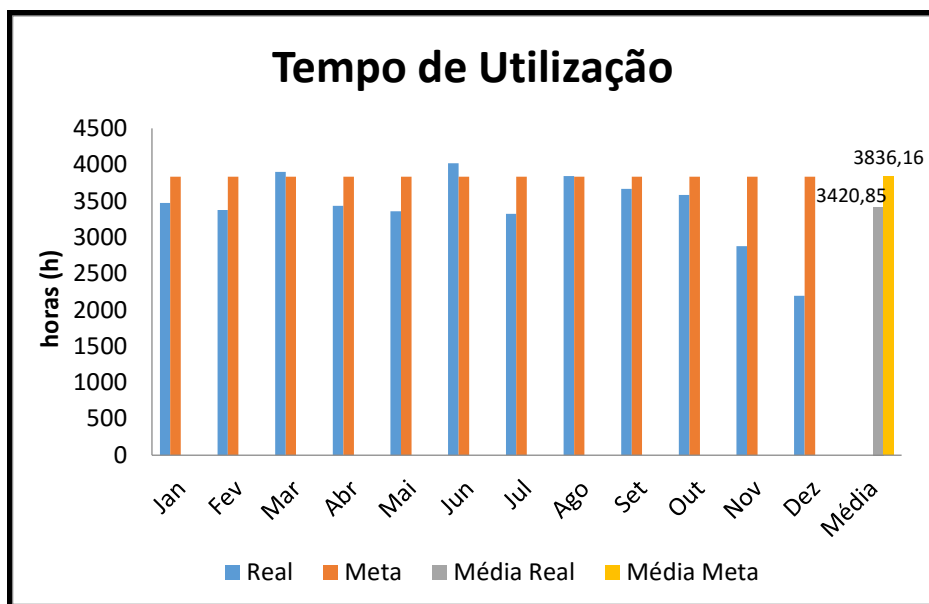


Figura 12- Gráfico do Tempo de Utilização do Laminador  
Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se que o tempo de utilização ao longo do ano manteve-se abaixo da meta em quase todos os meses, ou seja, os equipamentos não trabalharam como eles estavam previstos para trabalhar por pararem muito em função de muitas sucatas decorrentes na laminação. Se o índice abaixar, os equipamentos seriam melhores aproveitados e, conseqüentemente, produziram mais.

De acordo com o gráfico da Figura 12, a meta de tempo de utilização (em horas) dos equipamentos foi de 3836,16h por mês e a média do tempo de utilização foi 3420,85h, o que resultou em uma diferença de 415,31h. Ou seja, as máquinas deveriam ter trabalhado pelo menos 415,31h a mais do que trabalharam para alcançar a meta estipulada. Com esse valor, vemos o quanto de potencial que existe para produzir e como esse tempo não é aproveitada como deveria ser.

O gráfico da Figura 13 demonstra o índice de sucata de linha real e previsto, sendo encontrados esses valores através da multiplicação da porcentagem (de cada mês) pela produção (de cada mês) e, ainda, por “k”, com o intuito de preservar os valores reais da empresa.

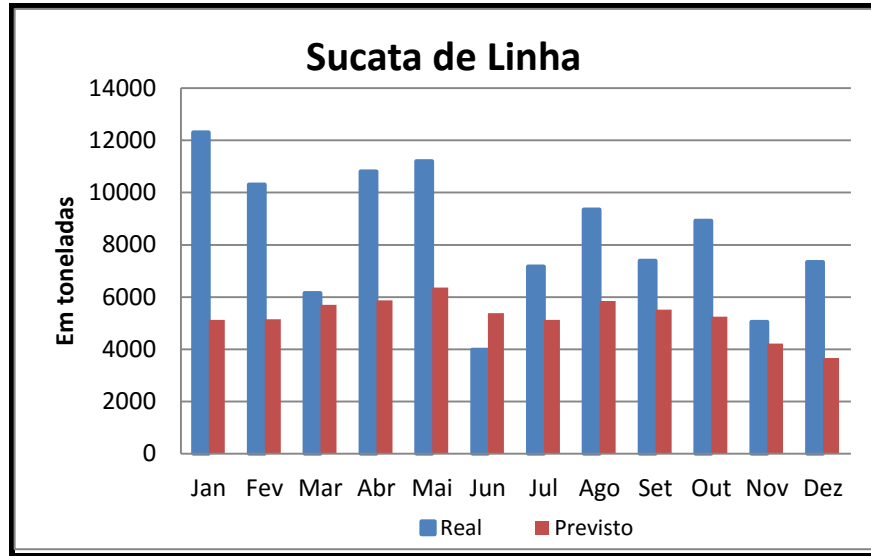


Figura 13- Gráfico do Percentual da Meta de Sucata de Linha – 2016  
Fonte: Elaborada pela autora

O gráfico da Figura 13, sobre o percentual de sucata de linha, apresenta que no decorrer do ano de 2016 somente um mês esteve abaixo da meta, enquanto os outros estiveram acima da meta, afetando na produção e no tempo de utilização, como visto nos últimos gráficos das Figuras 11 e 12. Esse Gráfico mostra a importância do estudo de Sucata de Linha na Laminação para que a empresa produza mais e tenha um melhor desempenho com a ocorrência de menos sucatas.

### 5.1 Teste de significância t

O teste de significância t foi utilizado no presente trabalho para comparar a média estabelecida como índice previsto para a taxa de sucata com a média real dos índices. Ao utilizar este teste, buscou-se identificar se as médias reais estavam de acordo com as médias estipuladas na previsão.

Conforme revisão bibliográfica, o teste t será calculado através da Equação 11:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (11)$$

Onde:

$\bar{x}$ : Média amostral;

$\mu_0$ : Valor fixo usado na hipótese nula;

s: Desvio padrão amostral;

$n$ : Tamanho da amostra;

$H_0: \mu = 0,05$ ;

$H_1: \mu > 0,05$ .

Onde o 5% é a meta do índice de sucata.

Para este processo temos os seguintes valores:

$\bar{x}$ : 0,079 (Valor calculado no software Excel);

$\mu_0$ : 0,05;

$s$ : 0,023 (Valor calculado no software Excel);

$n$ : 12.

Portanto, calculando de acordo com a Equação 11, temos que:

- $T_{\text{calculado}} = 4,42$ ;
- $t_{\text{tab}} = t_{\alpha; n-1} = t_{0,05; 11}$ .

Assume-se que para este teste será utilizado um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 0,05.

Da tabela de distribuição t, temos que  $t_{\alpha; n-1} = t_{0,05; 11} \approx 1,796$ . O gráfico da Figura 14 ilustra a distribuição de probabilidade relativa ao t para determinação da região crítica.

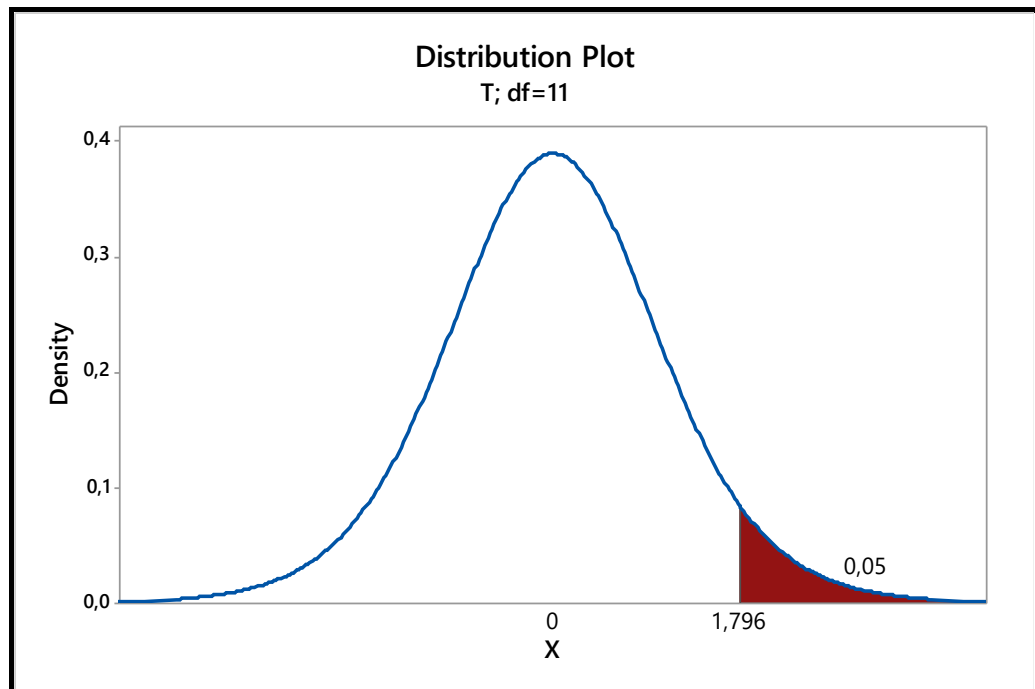


Figura 14- Gráfico de Distribuição de Probabilidade do Teste t

Fonte: Elaborada pela autora

Como visto no Gráfico, o valor de  $t_{\text{calculado}} > t_{\alpha; n-1}$  ( $4,42 > 1,796$ ) e o mesmo se encontra na região crítica. Portanto, a hipótese nula ( $H_0$ ), que é a média da sucata de 5%, deve

ser rejeitada. O que demonstra que a média real de sucata é superior a este valor e está na região crítica de aceitação, não estando de acordo com a previsão para o processo. Logo, a média de produção de sucatas é superior a 5%.

## **5.2 Análises das Sucatas**

### **5.2.1 Análise das Origens das Sucatas**

Durante cada fase da produção é normal à incidência de sucatas no Laminador e essas ocorrências são divididas por responsabilidade (ou tipo), por turma ou por equipamento.

Torna-se necessário identificar quais delas extrapolam de maneira mais significativa a sua meta, de forma a contribuir mais intensamente com as paradas e diminuindo o tempo de utilização na linha de produção.

Com a finalidade de visualizar melhor o problema de sucata na empresa e posteriormente buscar diminuir este índice alto, foi feita uma análise estatística das sucatas nos gráficos da Figura 15, que mostram, em toneladas, o índice de sucata real e previsto de todas as origens durante 2016. Para elaboração de tais gráficos, os valores da porcentagem obtidos na empresa foram multiplicados pela produção total em cada mês no ano de 2016 e também multiplicados por “k” para não divulgar os valores reais.



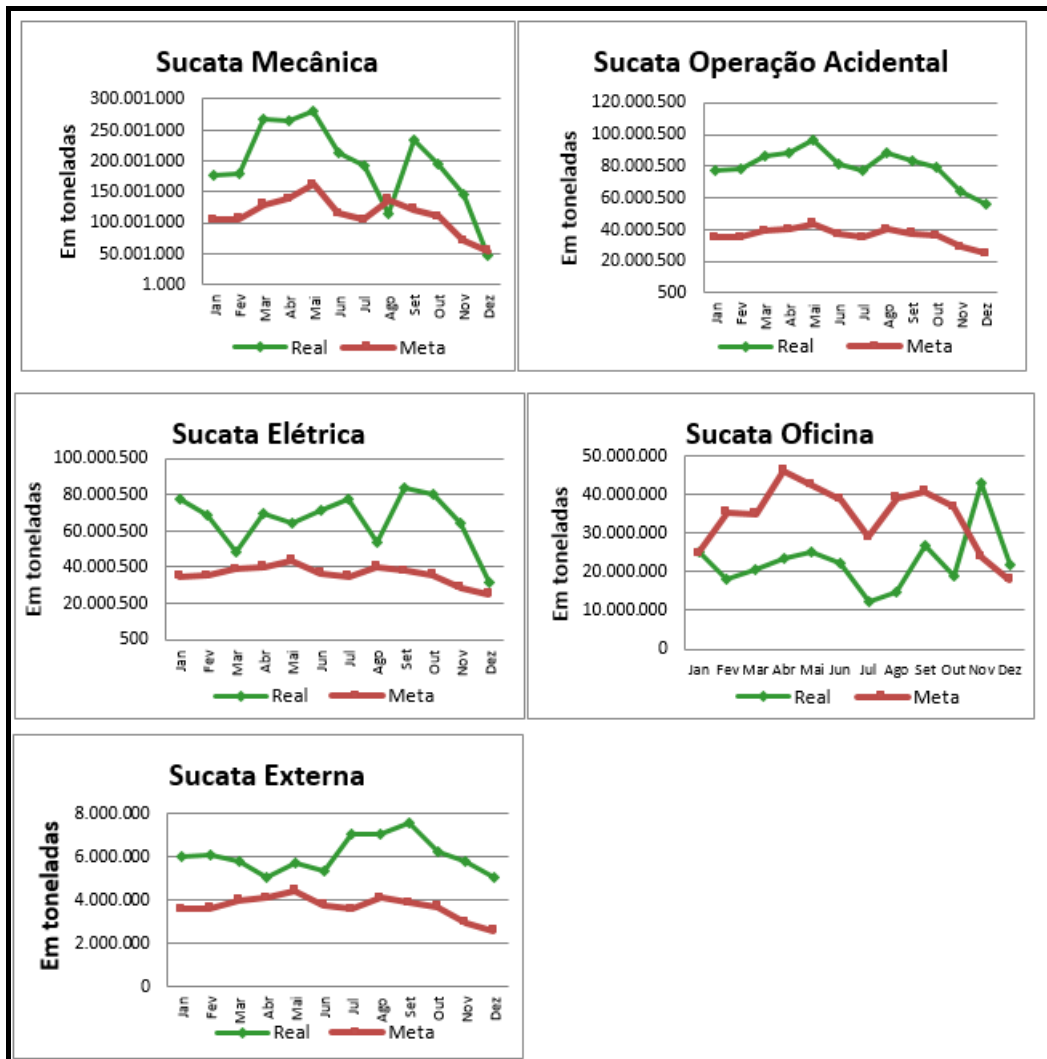


Figura 15-Índice de Sucata das Origens em Relação à Meta

Fonte: Elaborada pela autora

Com o propósito de interpretar a real contribuição de cada origem para o índice de sucata, foi calculado o percentual em que cada uma das médias das toneladas de sucatas, estiveram diferentes das metas. Para encontrar a porcentagem foi feito um cálculo utilizando a média dos valores de toneladas de sucatas reais e suas metas. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2-Percentual de Sucatas Diferentes da Meta

Mecânica	Op. Acidental	Elétrica	Oficina	Externa
70,7%	121,2%	82,92%	-33,68%	64,32%

Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se que a origem oficina apresenta um percentual negativo acima da meta, o que significa que está dentro da meta que foi prevista e não interfere no número de sucata total estar acima do planejado. Já a operacional acidental destacou-se com o maior índice, alcançando 121,2% acima da meta planejada de sucatas para sua origem.

Com o intuito de identificar o impacto que cada uma das cinco origens tem no problema, um Gráfico de Pareto foi feito com o número de sucata que as origens excediam suas metas. O gráfico da Figura 16 mostra a contribuição de cada origem em números para o índice total de sucatas. Para elaboração do gráfico de Pareto os valores reais foram multiplicados por “k” com o intuito de preservar os dados da empresa.

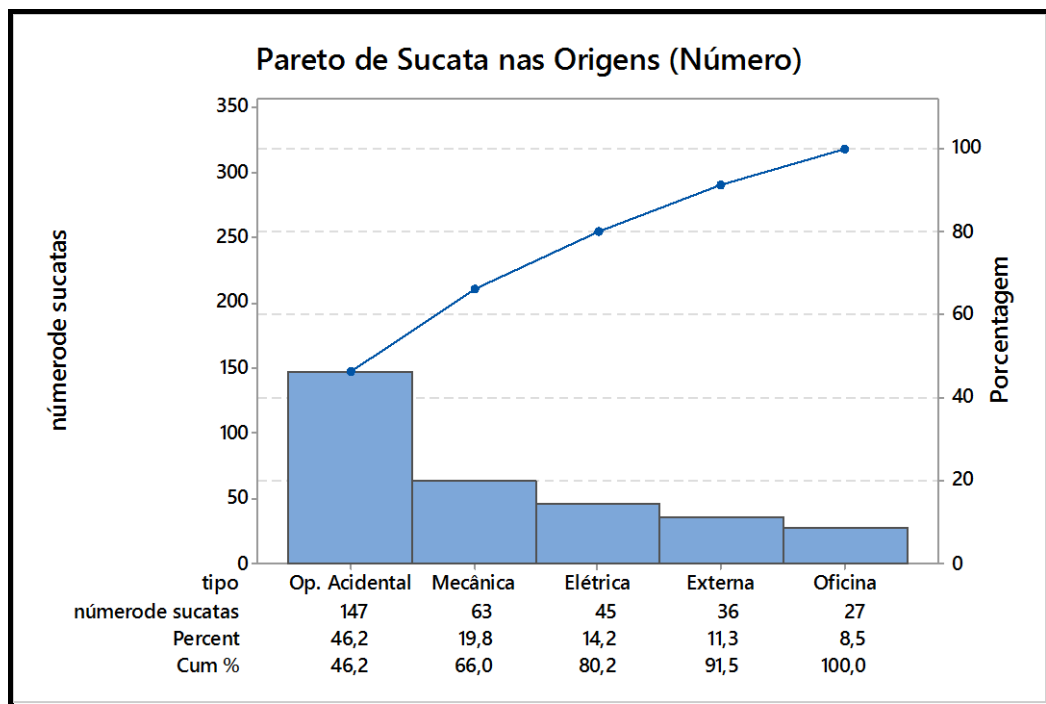


Figura 16- Pareto de Sucatas nas Origens em Número  
Fonte: Elaborada pela autora

De acordo com o gráfico de Pareto é notado que o índice de sucata na Operação Acidental representa 46,2% do total de sucatas no ano de 2016. A origem na Operação Acidental é o tempo que o Laminador fica parado devido às falhas, quebras ou problemas de qualidade por motivos operacionais, o que implica o descumprimento de procedimentos, algo que aconteceu sem ser planejado.

Sendo assim, o trabalho a partir disso será direcionado ao índice de sucata de linha na operação acidental da empresa, ou seja, buscando as causas que geram mais sucatas, estratificando o problema.

### 5.2.1.1 Análise das Sucatas Operacionais por Equipamento

Para o melhor entendimento do processo de laminação e dos equipamentos, segue a Figura 17 do Layout do Laminador, mostrando a disposição dos principais equipamentos encontrados em sua linha de laminação.

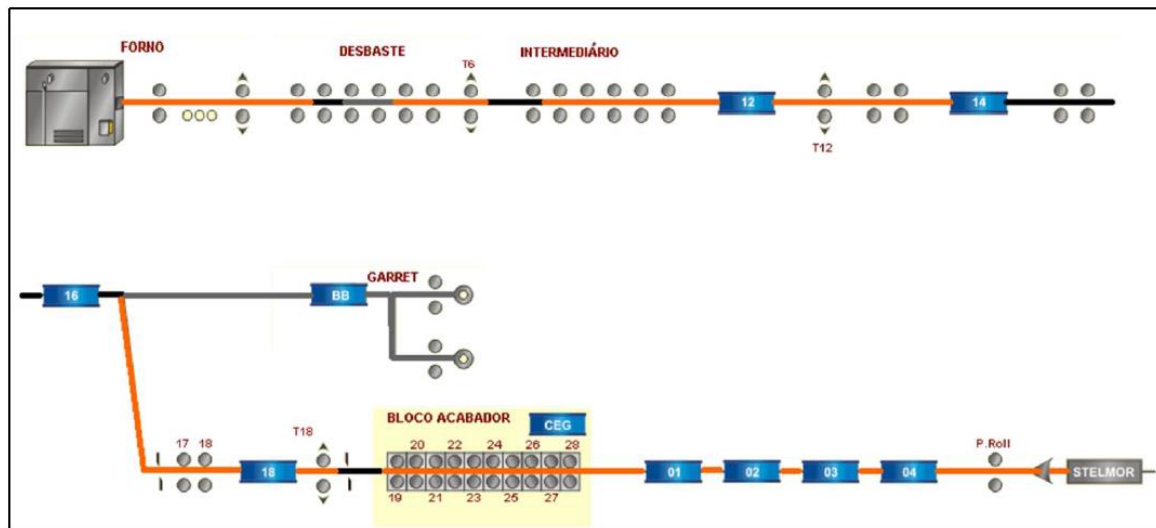


Figura 17- Layout do Laminador  
Fonte: Acervo da Empresa.

Resumidamente, no forno Combustol o processo se inicia com o aquecimento do tarugo, onde o material será aquecido a uma temperatura que o tornará mais maleável. Em seguida, o material segue para as cadeiras de desbaste e intermediária, que através de cilindros fazem a compressão do material. Agora, nas bobinadeiras Garret, o material segue para ser laminado, onde são laminadas as bitolas mais condensadas ou segue para o Stelmor, onde são laminadas as bitolas mais finas. Após isso, passa pelo bloco acabador, dando continuidade à redução de área do material. Depois disso, iniciam-se os processos de resfriamento do material pelas caixas d'água e posteriormente pelo ar no Stelmor.

O processo de laminação é feito em até 28 passes de laminação, ou seja, o laminador traz na sua configuração 28 cadeiras de laminação, dentre elas: um bloco pré-acabador com

duas cadeiras e um bloco acabador com cinco cadeiras. Para a laminação de determinadas cadeiras, são utilizadas duas bobinadeiras Garret.

A sucata pode ocorrer em cada equipamento descrito acima de diferentes formas; o gráfico de Pareto da Figura 18 demonstra o índice em cada um deles, com a contagem em números e em porcentagem. Foi feita uma análise estatística com os valores para expressar, lembrando que os valores reais foram multiplicados por “k”.

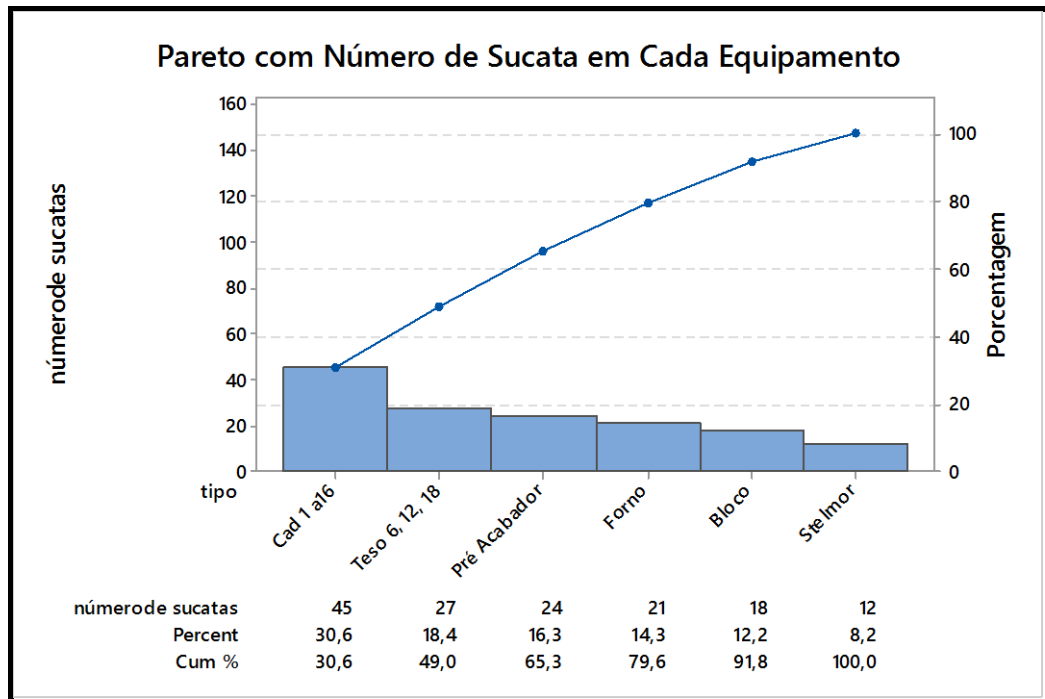


Figura 18- Gráfico de Pareto de Sucatas Operacionais em Cada Equipamento  
Fonte: Elaborada pela autora

Dentre os equipamentos analisados, observa-se que na Cadeira 1 a 16 é onde o índice de sucata obteve o maior valor, alcançando 30,6% do total comparado com a sucata nos outros equipamentos. Diante disso, o estudo será estratificado na Cadeira 1 a 16 para melhor entendimento do problema em questão.

#### 5.2.1.2 Análise das Sucatas Operacionais por Turma nas Cadeiras 1 a 16

São divididos em quatro turmas (A, B, C e D) os funcionários na laminação e cada turma trabalha em um turno. Analisar quais delas possuem os maiores índices de sucata é importante para o controle do processo. Para isso, foi feita uma análise estatística com os dados das turmas. O gráfico da Figura 19 traz a média dos índices de sucata operacionais de cada turma.

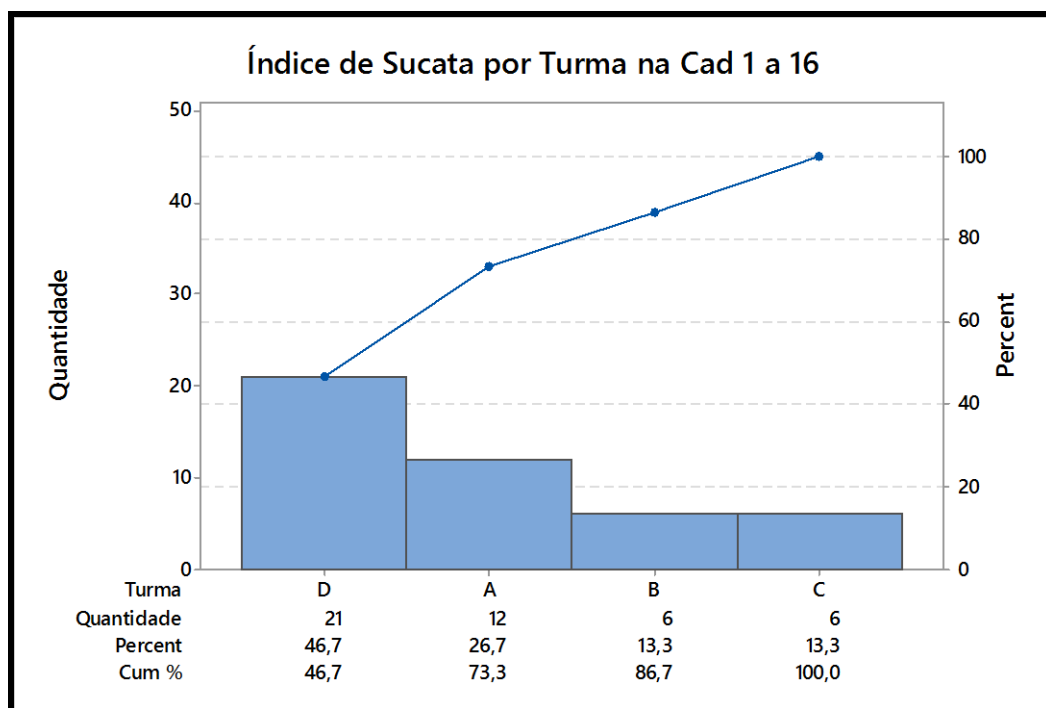


Figura 19- Índice de Sucata Operacional por Turma  
Fonte: Elaborada pela autora

Dentre as quatro turmas existentes, a turma D destaca-se por apresentar quase metade da quantidade total de sucatas, um valor muito elevado, que é 46,7%.

Foi aplicada a técnica estatística ANOVA para analisar se as turmas apresentam diferenças quanto à produção de sucatas. Para tanto, foram coletados dados relativos ao ano de 2016 quanto ao número de tarugos sucateados por mês. Os valores foram multiplicados por “k”. Foi utilizado o software Minitab 17 para a realização das análises. A Tabela 3 apresenta a saída gerada pelo software relativa à ANOVA.

Tabela 3- Resultados da ANOVA

<i>Analysis of Variance</i>					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	12,56	4,1875	6,09	0,001
Error	44	30,25	0,6875		
Total	47	42,81			

Fonte: Elaborada pela autora

Analisando-se o a Tabela 3, nota-se que o P-valor obtido foi 0,001, que é menor do que o nível de significância adotado neste trabalho ( $\alpha=0,05$ ). Desta forma, rejeita-se a hipótese nula de que as médias de tarugos defeituos por cada turma foram iguais. Existe pelo menos uma das turmas que apresentou diferenças quanto ao número médio de tarugos defeituos por mês.

Foi utilizado o método de comparações múltiplas de Tukey para encontrar quais destas turmas apresentaram diferenças significativas quanto ao número médio de tarugos defeituos por mês. A Tabela 4 apresenta a saída do software Minitab 17 a respeito desta análise.

Tabela 4- Turmas que Apresentaram Diferenças Significativas Quanto ao Número médio de Tarugos Defeituos

<i>Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence</i>			
<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Grouping</b>
<b>D</b>	12	1,750	A
<b>A</b>	12	1,000	A B
<b>C</b>	12	0,500	B
<b>B</b>	12	0,500	B

**Means that do not share a letter are significantly different.**

Fonte: Elaborada pela autora

Nota-se que a turma D apresentou a maior média de tarugos defeituos por mês. Já a turma C e B as menores. Associado a cada turma, este método define grupos com características semelhantes (que, neste caso, significa não ter diferenças quanto ao número médio de tarugos sucateados por mês). Esses grupos são identificados por letras. Turmas que não apresentem uma letra em comum são significativamente diferentes, utilizando  $\alpha = 0,05$ . Desta forma, nota-se que a turma D não apresenta letra em comum com as turmas C e B, sendo, portanto, considerado significativamente diferente. Isto significa que a turma D produz um número médio de tarugos sucateados maior em relação às turmas C e B. O mesmo não se pode dizer da turma A, que apresenta letras em comum tanto com D, quanto com C e B. Desta forma, não se pode considerar que a turma A apresenta um número médio de tarugos defeituos, menor que D, nem maiores que C e B, ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

Tais resultados também podem ser observados por meio do gráfico de comparações múltiplas de Tukey. Os intervalos de comparações pareados que não conterm o zero são significativamente diferentes, fato observado para as comparações entre D-B e D-C. A Figura 20 ilustra o gráfico de Tukey.

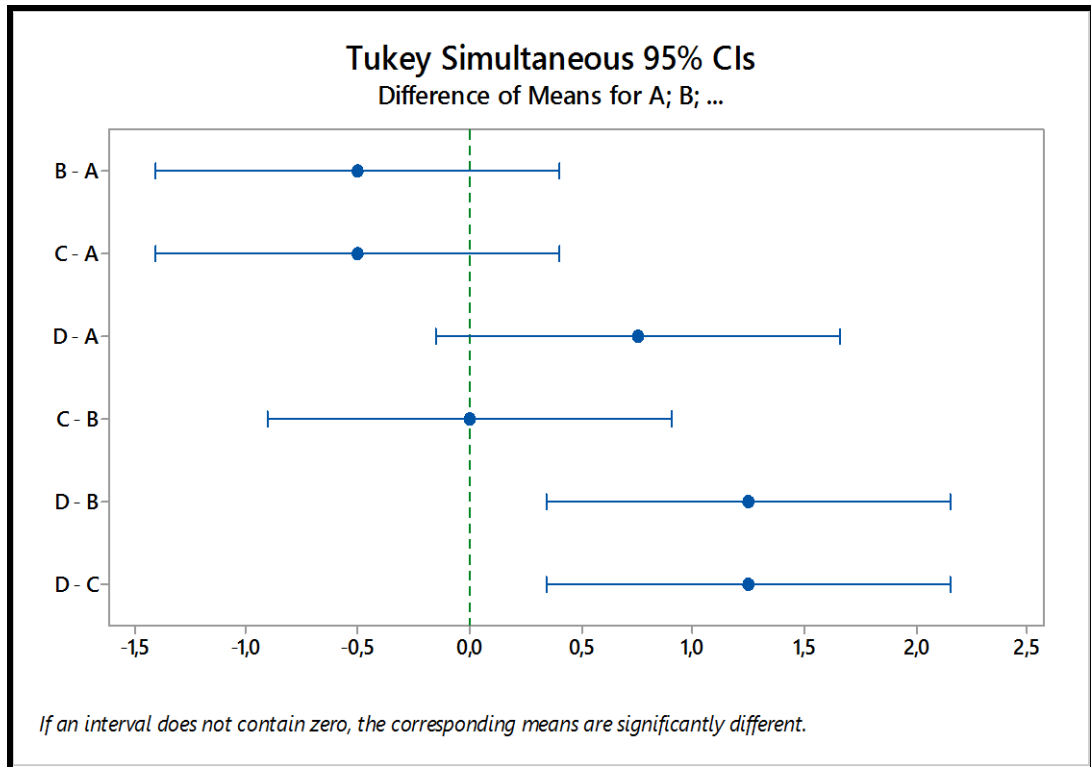


Figura 20- Gráfico de Tukey  
Fonte: Elaborada pela autora

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo o estudo com os dados obtidos até então, da estratificação da origem da sucata, do equipamento e da turma, foi feito um Diagrama de Ishikawa com as possíveis causas para o efeito final, que é o Alto Índice de Sucatas Operacionais na Cadeira 1 a 16 na turma D. A Figura 21 apresentada está dividida nos segmentos matéria prima, meio ambiente, mão de obra, medição, máquina e método.

Para elaboração do diagrama foram feitas reuniões informais com funcionários da empresa com o intuito de buscar as causas que sejam reais no processo e que afetem de forma significativa o problema.

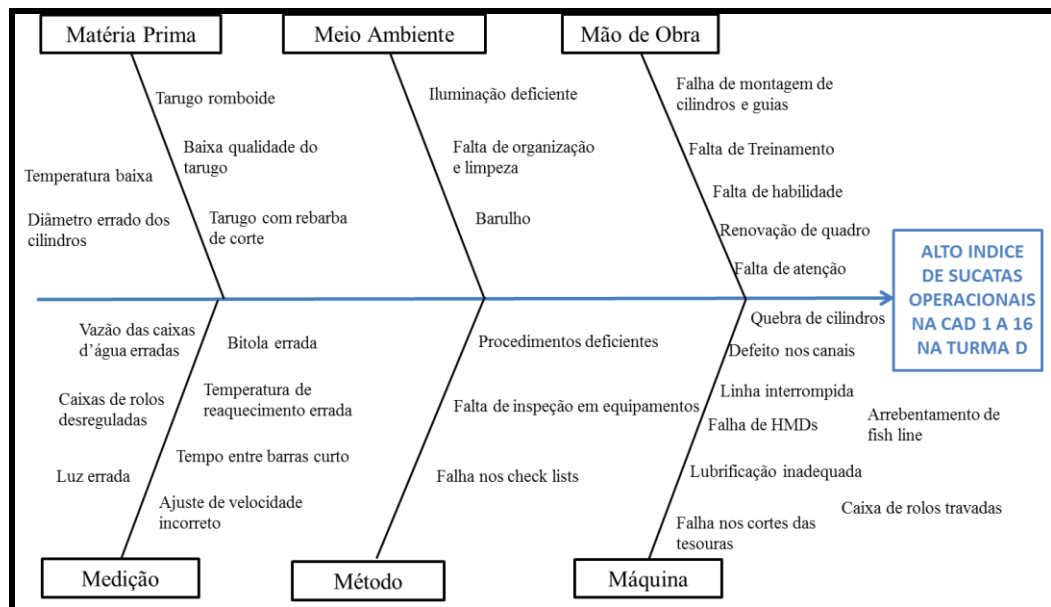


Figura 21- Diagrama de Ishikawa com as Possíveis Causas  
Fonte: Elaborada pela autora

### 6.1 Resumo dos Resultados

Com o intuito de buscar entender, dentre as causas listadas no Diagrama de Ishikawa, as causas mais importantes para o problema, foi montada uma tabela com as possíveis causas para o efeito feitas no Diagrama de Ishikawa, organizada pela frequência que ocorre, a gravidade do problema, a urgência de resolvê-lo e o total (que é a multiplicação do grau das três, ou seja, podendo alcançar no máximo 125), com o intuito de realizar ações preventivas e corretivas. O grau de priorização vai de 1 a 5, sendo 1 a menor importância em relação a esses



critérios e o 5 o maior. Para isso, foram feitas reuniões com os operadores com o intuito de chegar à conclusão de qual ou quais as causas são com de maior prioridade.

Tabela 5- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas – Matéria-Prima

<b>Matriz de Prioridade</b>				
<b>Matéria Prima</b>				
<b>Possíveis causas</b>	<b>Frequência</b>	<b>Gravidade</b>	<b>Urgência</b>	<b>Total</b>
<b>Temperatura baixa</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>100</b>
<b>Tarugo romboide</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>27</b>
<b>Baixa qualidade do tarugo</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>45</b>
<b>Tarugo com rebarba de corte</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>125</b>
<b>Diâmetro errado dos cilindros</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>75</b>

Fonte: Elaborada pela autora

A causa que tem mais prioridade para ser resolvida na Tabela 5 é a ‘temperatura baixa’ no Laminador, pois quando os tarugos estão assim é mais favorável à ocorrência de sucata e o tarugo com rebarba de corte, pois eles podem ser laminados com essas rebarbas e virarem sucata devido a isso. Ou seja, as duas são importantes de serem resolvidas mais rapidamente, por estarem diretamente relacionadas com a produção de sucata.

Tabela 6- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas – Meio Ambiente

<b>Matriz de Prioridade</b>				
<b>Meio Ambiente</b>				
<b>Possíveis causas</b>	<b>Frequência</b>	<b>Gravidade</b>	<b>Urgência</b>	<b>Total</b>
<b>Falta de organização e limpeza</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>100</b>
<b>Iluminação deficiente</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>60</b>
<b>Barulho</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>27</b>

Fonte: Elaborada pela autora

A falta de organização e limpeza foi a causa que mais tem prioridade para ser resolvida no aspecto meio ambiente, de acordo com a Tabela 6, porque estando organizada facilita as montagens dos equipamentos, então é preciso orientar os funcionários para mantê-la organizada.

Tabela 7- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas – Mão de Obra

<b>Matriz de Prioridade</b>				
<b>Mão de Obra</b>				
<b>Possíveis causas</b>	<b>Frequência</b>	<b>Gravidade</b>	<b>Urgência</b>	<b>Total</b>
<b>Falha de montagem de cilindros e guias</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>125</b>
<b>Falta de Treinamento</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>64</b>
<b>Falta de habilidade</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>36</b>
<b>Falta de atenção</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>27</b>
<b>Renovação de quadro</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>45</b>

Fonte: Elaborada pela autora

A causa que mais tem prioridade para ser resolvida, de acordo com a Tabela 7, é a falha de montagem de cilindros e guias, uma vez que estando desalinhado ou desnivelado gera sucata na produção.

Tabela 8- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas - Medição

<b>Matriz de Prioridade</b>				
<b>Medição</b>				
<b>Possíveis causas</b>	<b>Frequência</b>	<b>Gravidade</b>	<b>Urgência</b>	<b>Total</b>
<b>Temperatura de reaquecimento errada</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>60</b>
<b>Bitola errada</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>60</b>
<b>Luz errada</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>100</b>
<b>Tempo entre barras curto</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>64</b>
<b>Ajuste de velocidade incorreto</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>100</b>
<b>Caixas de rolos desreguladas</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>48</b>
<b>Vazão das caixas d'água erradas</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>27</b>

Fonte: Elaborada pela autora

As principais causas no segmento medição, de acordo com a Tabela 8, são: luz errada, pois a luz errada pode causar sucata no Laminador e ajustar a velocidade incorretamente, pois sem o ajuste pode gerar tração elevada entre os equipamentos.

Tabela 9- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas - Método

<b>Matriz de Prioridade</b>				
<b>Método</b>				
<b>Possíveis causas</b>	<b>Frequência</b>	<b>Gravidade</b>	<b>Urgência</b>	<b>Total</b>
<b>Procedimentos deficientes</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>27</b>
<b>Falta de inspeção em equipamentos</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>125</b>
<b>Falha nos <i>check lists</i></b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>27</b>

Fonte: Elaborada pela autora

Falta de inspeção em equipamentos é a causa que mais precisa de prioridade, de acordo com a Tabela 9, para que falhas nos equipamentos sejam evitadas, o que, quando ocorre, gera sucatas.

Tabela 10- Matriz Prioridade para Resolução de Problemas - Máquina

Matriz de Prioridade				
Máquina				
Possíveis causas	Frequência	Gravidade	Urgência	Total
<b>Quebra de cilindros</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>100</b>
<b>Defeito nos canais</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>27</b>
<b>Linha interrompida</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>64</b>
<b>Falha de HMDs</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>36</b>
<b>Lubrificação inadequada</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>48</b>
<b>Arrebitamento de fish line</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>36</b>
<b>Falha nos cortes das tesouras</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>48</b>
<b>Caixa de rolos travados</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pela autora

As causas que mais precisam ser tratadas com prioridade são: a quebra de cilindros, o que atrapalha na produção e gera sucatas e a caixa de rolos travados, pois as caixas de rolos podem travar durante o processo e gerar sucatas.

## 7. SUGESTÃO DE MELHORIA

### 7.1 5W2H

Baseando-se nas Tabelas de Matriz de Prioridade, foi elaborado um plano de ação 5W2H nas Tabelas 11, 12, 13, 14, 15 e 16 com as causas mais possíveis para o problema com as que possuíram maiores valores.

Os campos “Quando”, “Quanto” e “Quem”, associados ao prazo, ao valor e ao responsável por executar a ação não foram completados, uma vez que o objetivo do estudo é criar e sugerir soluções. Porém, para executá-lo, essas três perguntas devem ser completadas.

Tabela 11- Plano de ação para mão de obra

Mão de Obra				
PRINCIPAIS CAUSAS	O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)
Falha de montagem de cilindros e guias	Realizar treinamento teórico com a equipe de operadores do laminador.	Para evitar que as guias e cilindros sejam montadas com desalinhamento e desnivelamento.	Escritório do Laminador	Elaborar apresentação e apostilas baseadas nas atividades descritas na norma de montagem.
	Realizar treinamento prático com a equipe de operadores do laminador.	Para evitar que as guias e cilindros sejam montadas com desalinhamento e desnivelamento.	Laminador	Orientar os operadores no momento da montagem.

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 12- Plano de Ação Máquina

Máquina				
PRINCIPAIS CAUSAS	O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)
Quebra de cilindros	Entrar em contato com os fornecedores de cilindros e solicitar a avaliação dos motivos de fratura.	Para confirmar os motivos de fratura.	Oficina de Cilindros	Fazer contato com o comprador e solicitar visita técnica dos fornecedores de cilindros.
	Avaliar se as temperaturas de laminação dos tarugos estão conforme norma.	Para verificar se há esforço excessivo nos cilindros de laminação.	PIMS	Avaliar os gráficos evolutivos de temperatura dos materiais obtidos através do software PIMS.
Caixa de rolos travados	Alterar a rotina de troca dos rolamentos das caixas de rolos.	Para que os rolamentos das caixas de rolos não travem em operação.	Oficina de Cilindros	Montar rolamentos novos nas caixas de rolos sempre que as caixas forem para manutenção na oficina.

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 13- Plano de Ação Meio Ambiente

Meio Ambiente				
PRINCIPAIS CAUSAS	O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)
Falta de organização e limpeza	Reimplantar plano de 5S no laminador.	Para que toda a região do laminador fique organizada e limpa, facilitando as montagem e inspeções.	Laminador	Elaborar plano de 5S do laminador, distribuindo atividade entre as 4 turmas.

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 14- Plano de Ação Medição

Medição				
PRINCIPAIS CAUSAS	O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)
Luz errada	Realizar treinamento prático com a equipe de operadores do laminador.	Para que os operadores saibam ajustar corretamente a luz das cadeiras de laminação.	Laminador	Orientar os operadores no momento da montagem ou troca de canal.
Ajuste de velocidade incorreto	Criar lógica no PLC do laminador para fazer o controle automático de tração ao longo de toda a barra.	Para que não ocorra laço ou tracionamento elevado entre as cadeiras de laminação.	Sala elétrica	Alterar a lógica existente no PLC e implantar rotina de controle de tração ao longo de toda a barra e com tempo de resposta mais curto.

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 15- Plano de Ação Método

Método				
PRINCIPAIS CAUSAS	O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)
Falta de inspeção em equipamentos	Criar plano de inspeção para laços, calhas, fotocélulas e alongas.	Para evitar a falha destes equipamento e consequentemente o sucateamento de materiais.	Laminador	Elaborar planos de inspeção com frequência e fazer cadastros destes nos SAP.

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 16- Plano de Ação Matéria-Prima

Matéria Prima				
PRINCIPAIS CAUSAS	O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)
Temperatura baixa	Definir limite inferior de temperatura de laminação que abaixo do qual os tarugos devem ser retornados ao forno de reaquecimento ou sucata.	Para que não se lamine tarugos com temperatura baixa, que levam a ocorrência de sucatas.	Laminador	Realizar estudo do histórico de temperaturas de laminação e associar às ocorrências de sucatas.
Tarugo com rebarba de corte	Criar rotina de inspeção de todos os tarugos antes destes serem enformados.	Para que não seja laminados tarugos com rebarbas de corte.	Pátio de Tarugos	Acrescentar atividade de inspeção de rebarba de corte na norma de enformamento.

Fonte: Elaborada pela autora

De acordo com as Tabelas do Plano de Ação, facilita o entendimento agora do motivo de determinadas causas terem sido escolhidas como principais pelo alto índice de sucata ao invés das outras. Todas geram sucatas, porém, essas selecionadas possuem maior responsabilidade e maior urgência. O Plano de Ação é feito para direcionar a empresa onde começar a resolver o problema aplicando ações determinadas de acordo com cada motivo específico.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi fundamental para a realização deste estudo um aprofundamento teórico da siderurgia e das ferramentas da qualidade. Foi necessário levantar inúmeras causas capazes de gerar sucatas na laminação e para isso, buscou-se conhecer a empresa, seus equipamentos e o processo de produção. Então, além do conhecimento adquirido no dia-a-dia, realizaram-se pesquisas e reuniões dos fatores técnicos e do impacto que o alto número de sucatas gera. Com isso, foi possível compreender de maneira sistemática como funciona o processo de laminação.

Para comprovar a existência do problema, os indicadores do Laminador foram estratificados em gráficos. A princípio, foi demonstrado como a produção do fio máquina em toneladas estava abaixo do esperado e como os equipamentos não estavam em produção como deveriam estar (tempo de utilização abaixo previsto) através de gráficos. Em seguida, como o índice de sucata de linha estava consideravelmente acima do planejado, evidenciando que seu alto índice afeta a produção de fio máquina e o tempo de utilização.

Uma vez comprovado que a produção do Laminador estava abaixo da meta, devido ao excesso de sucatas, as atenções foram voltadas para a identificação das origens de sucatas mais significativas para o problema. Dessa forma, foi utilizado o teste de significância t, que visa tomar uma decisão a respeito das suposições baseadas em modelos, o que comprovou que a média de produção de sucatas é superior ao previsto pela empresa.

Visto então que o problema era o alto índice de sucata, começou-se a analisar a origem das sucatas por meio de gráficos com a produção real de sucata e o previsto do ano todo de 2016, em toneladas. Para melhor visualização, foi elaborada uma Tabela com o percentual de toneladas de sucatas diferentes da meta, demonstrando que a operação acidental alcançou 121,2% acima da meta. Visto isso, foi feito um gráfico de Pareto com números e porcentagens de sucatas em cada origem, com o intuito de dispor informações com mais facilidade, onde, novamente, a sucata na operação acidental se destacou, alcançando 46,2%.

Foi decidido então focar nas sucatas de origem operação acidental, e com o intuito de estratificar o problema, foi analisado qual equipamento dentro da origem operação acidental o índice de sucata é maior que o previsto. Para isto, foi feito um Gráfico de Pareto com os equipamentos do Laminador e a Cadeira 1 a 16 alcançou 30,6% de sucata em relação aos outros equipamentos.

Seguindo com o mesmo argumento, depois da Cadeira 1 a 16 ser o equipamento que mais produz sucatas, foi o momento de fazer um Gráfico de Pareto novamente com as turmas, onde demonstrou que a turma D é responsável por 46,7%. Com o intuito de aprofundar ainda mais, utilizou-se a técnica estatística ANOVA para analisar se as turmas apresentam diferenças quanto à produção de sucatas, e o P-valor obtido foi 0,001, o que significou que a hipótese nula de que as médias de tarugos defeituosos por cada turma foram iguais é rejeitada, existindo pelo menos uma das turmas que apresentou diferenças quanto ao número médio de tarugos defeituosos por mês. Logo após, foi utilizado o método de comparações múltiplas de Tukey para encontrar quais destas turmas apresentaram diferenças significativas quanto ao número médio de tarugos defeituosos por mês, notando-se que a turma D apresentou a maior média de tarugos defeituosos por mês.

Sabendo-se então dentro de qual origem, qual equipamento e qual turma o índice de sucata é maior, foi preciso analisar as causas para esse problema, começando com o diagrama de Causa e Efeito, onde por meio de reuniões com funcionários da empresa várias causas foram mencionadas. Após a obtenção dessas possíveis causas, foi elaborada uma Matriz de Prioridades, organizada pela frequência que ocorre, pela gravidade do problema e pela urgência de resolvê-lo.

E finalmente, após o conhecimento do processo e das causas de problemas, foi possível a criação de um plano de ação 5W2H com o intuito de corrigir problemas existentes para que os mesmos possam ser eliminados de forma a abaixar o índice de sucata de linha na Laminação. Assim, foram atribuídas ações corretivas que, se executadas por seus devidos responsáveis, podem contribuir para abaixar a produção de tarugo de sucata.

O aprendizado acadêmico proporcionado com a execução deste trabalho foi de grande valia e importância, pois foi possível perceber que é factível a aplicação dos conhecimentos que são repassados no decorrer na graduação nas organizações. Pode-se constatar que este pode ser aplicado inúmeras vezes nas mais diversas áreas e ramos e replicado nos processos empresariais, como forma de tornar mais amistoso o entendimento das informações primordiais para as empresas, de forma que se tornem permanente no mercado.



## **7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

O devido trabalho chegou a conclusões de ações e falta de ações que geram o alto índice de sucata de linha na Laminação, porém o estudo pode continuar acontecendo e aprofundando para que, cada vez mais, as causas sejam reconhecidas desde o início.

Como sugestão para os próximos trabalhos seria o preenchimento dos campos “Quando”, “Quanto” e “Quem” para que o plano de ação 5W2H seja executado.

Agora que as Tabelas do Plano de ação estão preenchidas, seria preciso começar a analisar cada ação que gera sucata nas Tabelas do Plano de Ação para que seja possível o entendimento das causas e assim conseguir evita-las.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABM Brasil. **Siderurgia no Brasil 2010-2025**. Disponível em <[http://www.abmbrasil.com.br/epss/arquivos/documentos/2011\\_4\\_18\\_16\\_38\\_13\\_21931.pdf](http://www.abmbrasil.com.br/epss/arquivos/documentos/2011_4_18_16_38_13_21931.pdf)>. Acesso em 08 maio 2017.

Associação Brasileira do Alumínio. **Laminação**. Disponível em <<http://www.abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/>>. Acesso em 20 janeiro 17.

Apostila da Empresa.

BRAGA, L. V. **Compreendendo Probabilidade e Estatística**. Rio de Janeiro: E-papers, 2010. 230p.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

CODA, R. C. **Laminação: Produtos Longos de Aços Laminados a Quente**. Laboratório de Transformação Mecânica UFRGS, 2006

CUNHA, V. L. S. **Melhoria contínua do sistema de controle da qualidade**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, Portugal, 2010.

FONSECA, P.; CARVALHO, P.; SILVA, M. **Perspectivas do investimento**. Disponível em: <FONSECA, P.; CARVALHO, P.; SILVA, M. Perspectivas do investimento 2010-2013. Investimentos na Siderurgia Brasileira, 2011.>. Acesso em 17 de julho de 2017.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de Pesquisa**. 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2017.

INFOMET. **Aço & Ligas Aço: Processos de Fabricação**. Disponível em <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=234>> . Acesso em 15 de maio de 2017.

Instituto Aço Brasil. **O Aço**. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>>. Acesso em 27 dezembro 2016.

Instituto Aço Brasil. **Processo Siderúrgico**. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>>. Acesso em 07 maio 2017.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 259p.

LINS, B. F.E. – Ferramentas básicas de qualidade, Brasília, 1993.

Minitab 17. **Guia de introdução ao Minitab 17**. Disponível em: [https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/Minitab17\\_GettingStarted-pt.pdf](https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/Minitab17_GettingStarted-pt.pdf). Acesso em 13 agosto 2017.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

MOURÃO, M. B. **Introdução a Siderurgia**. Editora ABM, 2007. 428 p.

PIRES, A. **Probabilidade e Estatística**. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 2000.

PORTAL ACTION. **Teste Para Média (Teste t)**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/inferencia/52-teste-para-media-teste-t>>. Acesso em 07 de agosto de 2017.

TERENCE, A. F; ESCRIVÃO FILHO, E. **Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais**. 2006. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006\\_tr540368\\_8017.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr540368_8017.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2017.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – Curso de Especialização em Qualidade e Produtividade. Disponível em: <<https://www.unifei.edu.br/pg/pos-graduacao-ementas?c=040&m=ME&d=PCM10>>. Acesso em: 25 maio 2017.

VIERA, S; WADA, R. **As 7 ferramentas estatísticas para o controle da qualidade**. 6ª ed. Brasília: QA&T Consultores Associados Ltda., 1992.

WALPOLE, R. E. **Probabilidade e estatística para engenheiros e ciências**. 8.ed. Vol. 01. São Paulo: Pearson-Prentice Hall, 2009.

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

World Steel. **World Steel in Figures 2016**. Disponível em: <  
<https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f9a336d7-8903-4bdf-9ed6-83b27d0ff807/WSiF+2016.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2017.