



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 DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA  
QUALIDADE NA REDUÇÃO DO TEMPO DE PARADAS NO  
PROCESSO DE LAMINAÇÃO SIDERÚRGICA VISANDO MELHORIA  
DA PRODUTIVIDADE**

**VICTOR ALVES BICALHO FERREIRA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**JOÃO MONLEVADE**

Julho, 2016



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



**VICTOR ALVES BICALHO FERREIRA**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA  
QUALIDADE NA REDUÇÃO DO TEMPO DE PARADAS NO  
PROCESSO DE LAMINAÇÃO SIDERÚRGICA VISANDO MELHORIA  
DA PRODUTIVIDADE**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do grau  
de Engenheiro de Produção na Universidade  
Federal de Ouro Preto.**

**Professor Orientador: Prof. MSc. Rafael Lucas  
Machado Pinto**

**JOÃO MONLEVADE**


**Julho, 2016**



## ANEXO VII - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE NA REDUÇÃO DO TEMPO DE PARADAS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO SIDERÚRGICA VISANDO MELHORIA DA PRODUTIVIDADE” 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 Monlevade, 20 de agosto de 2016

  
\_\_\_\_\_  
Victor Alves Bicalho Ferreira



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto –UFOP  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção  
**ANEXO VIII-ATA DE DEFESA**



Aos 26 dias do mês de julho de 2016, às 20:30 horas, na sala A 301 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo aluno Víctor Alves Bicalho Ferreira, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Alana Deusilan Sester Pereira, Gabriela Braga Fonseca e Rafael Lucas Machado Pinto. O aluno apresentou o trabalho intitulado: "APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE NA REDUÇÃO DO TEMPO DE PARADAS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO SIDERURGICA VISANDO MELHORIA DA PRODUTIVIDADE". A comissão examinadora deliberou, pela:

Aprovação

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

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

( ) Reprovação

do aluno , com a nota 90 . Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP12/2015 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo aluno.

João Monlevade, 26 de julho de 2016.

Me. Rafael Lucas Machado Pinto - Professor Orientador

Me. Alana Deusilan Sester Pereira – Professora Convidada

Me. Gabriela Braga Fonseca - Professora Convidada

Victor Alves Bicalho Ferreira



### ANEXO XIV – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DO AUTOR

[ X ] Monografia. Outro, especificar: \_\_\_\_\_  
Autor: Victor Alves Bicalho Ferreira  
RG: MG14.702.821      CPF:076.497.836-50      Fone: (31) 98727-5058  
E-mail: victoralvesbicalho@gmail.com  
Orientador: Rafael Lucas Machada Pinto  
Departamento: DEENP - Engenharia de Produção      Curso: Engenharia de Produção  
Título do documento: Aplicação de ferramentas do controle estatístico da qualidade na redução do tempo de paradas no processo de laminação siderúrgica visando melhoria da produtividade.  
Informação de acesso ao documento no formato eletrônico:  
Disponibilização do trabalho completo    [ X ]sim, imediato    [ ]sim, daqui a um ano\*

#### Declaração de distribuição não-exclusiva

O referido autor:

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer pessoa ou entidade. b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue. Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a UFOP, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo contrato ou acordo.

#### Licença de uso

Na qualidade de titular dos direitos de autor do conteúdo supracitado, autorizo o Sistema de Bibliotecas e Informação – SISBIN, a disponibilizar a obra, gratuitamente, na Biblioteca Digital de Monografias, de acordo com a licença pública *Creative Commons* 4.0 Internacional por mim declarada sob as seguintes condições.

1) Permite uso comercial de sua obra?

( ) Sim      ( X ) não

2) Permitir alterações em sua obra?

( ) sim      ( ) sim contando que outros compartilhem pela mesma licença.      ( X ) não

A obra continua protegida por Direitos Autorais e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

João Monlanade

Local

20/08/16

Data

Victor Alves Bicalho Ferreira

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1 Pergunta Problema</b> .....	12
<b>1.2 Justificativa</b> .....	12
<b>1.3 Objetivos</b> .....	13
<b>1.3.1 Objetivos Gerais</b> .....	13
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>1.4 Estrutura do Trabalho</b> .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
<b>2.1 Siderurgia</b> .....	15
<b>2.2 Laminação</b> .....	16
<b>2.3 Processos</b> .....	17
<b>2.3.1 Controle de Processos</b> .....	17
<b>2.4 Ferramentas de Controle Estatístico</b> .....	18
<b>2.4.1 Gráfico de Pareto</b> .....	18
<b>2.4.2 Diagrama de Causa e Efeito</b> .....	18
<b>2.4.3 Análise de Regressão</b> .....	19
<b>2.4.4 Análise de Variância (ANOVA)</b> .....	20
<b>2.4.5 Comparações Múltiplas de Médias</b> .....	22
<b>2.4.6 5W2H</b> .....	23
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	25
<b>3.1 Classificação da Pesquisa</b> .....	25
<b>3.2 Coleta e Extração de Dados</b> .....	26
<b>4 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	28
<b>4.1 Apresentação da Empresa</b> .....	28
<b>4.2 Descrição do Laminador 2</b> .....	28
<b>4.3 Indicadores de Desempenho do Laminador 2</b> .....	31
<b>4.3.1 Produtividade</b> .....	31
<b>4.3.2 Taxa de Utilização</b> .....	31
<b>4.3.3 Eficiência</b> .....	32
<b>4.3.4 Tempo de Parada</b> .....	32
<b>4.4 Descrição do Problema</b> .....	33



<b>4.5</b>	<b>Análise de Paradas</b> .....	37
<b>4.5.1</b>	<b>Significado das Origens de Parada</b> .....	38
<b>4.5.2</b>	<b>Paradas Mecânicas</b> .....	42
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	52
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	57
<b>6.1</b>	<b>Sugestões para Trabalhos Futuros</b> .....	59
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	59



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01.	Fluxo do Processo Siderúrgico.....	16
Figura 02.	Processo de Laminação.....	17
Figura 03.	Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito.....	19
Figura 04.	<i>Layout</i> do Laminador.....	30
Figura 05.	Desempenho de Origens em Relação à Meta de Parada.....	38
Figura 06.	Value para Paradas Mecânicas por Processo.....	45
Figura 07.	F-Value para Paradas Mecânicas por Turma.....	48
Figura 08.	Diagrama de Causa e Efeito das Paradas Mecânicas Elevadas..	52





## LISTA DE TABELAS

Tabela 01.	Tabela Resultado ANOVA.....	22
Tabela 02.	Percentual de Paradas.....	39
Tabela 03.	Percentual de Paradas Diferentes da Meta.....	39
Tabela 04.	Análise de Regressão entre Todas as Origens de Paradas e Produção.....	41
Tabela 05.	Análise de Regressão entre Paradas Mecânica e Logística e a Produção	41
Tabela 06.	Paradas Mecânicas por Equipamentos e Processos.....	42
Tabela 07.	Minutos de Parada Mecânica por Processo.....	44
Tabela 08.	Resultados da ANOVA para Paradas Mecânicas por Processo.....	44
Tabela 09.	Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Processo.....	46
Tabela 10.	Minutos de Parada Mecânica por Turma.....	47
Tabela 11.	Resultados da ANOVA para Paradas Mecânicas por Turma.....	48
Tabela 12.	Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Turma.....	49
Tabela 13.	Matriz Prioridade de Causas de Paradas Mecânicas.....	50
Tabela 14.	Plano de Ação para Mão de Obra.....	53
Tabela 15.	Plano de Ação Máquina.....	54
Tabela 16.	Plano de Ação Meio.....	54
Tabela 17.	Plano de Ação Método.....	55
Tabela 18.	Plano de Ação Matéria Prima.....	55
Tabela 19.	Plano de Ação Medição.....	55



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01.	Gráfico de Pareto.....	18
Gráfico 02.	Produção do Laminador 2.....	34
Gráfico 03.	Eficiência do Laminador 2.....	34
Gráfico 04.	Comparação entre Tempo Disponível e Tempo Laminado.....	35
Gráfico 05.	Taxa de Utilização do Laminador 2.....	36
Gráfico 06.	Produtividade do Laminador 2.....	37
Gráfico 07.	Gráfico de Pareto dos Minutos Excedentes à Meta.....	40
Gráfico 08.	Pareto dos Tipos de Parada Mecânica.....	43
Gráfico 09.	Resultado do Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Processo....	46
Gráfico 10.	Resultado do Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Turma.....	50



## RESUMO

O setor siderúrgico tem se destacado de maneira global pela alta competitividade entre as indústrias inseridas no ramo. Por lidar com um produto de difícil diferenciação, para conseguir sobreviver no mercado, é necessário atender ao cliente de maneira rápida, eficiente e, sobretudo, com baixo custo. Diante desse cenário, conseguir entender e medir o desempenho de seu processo produtivo é crucial para atingir eficiência operacional e o máximo aproveitamento de recursos. Em outras palavras, é preciso produzir o máximo possível usando mínimo de tempo possível. O indicador de produtividade de uma empresa expressa justamente essa relação entre produção e tempo. Dessa forma, o presente trabalho apresenta uma proposta de utilização de ferramentas do controle estatístico e da qualidade na análise do tempo em que o laminador de uma indústria siderúrgica fica parado, a fim de maximizar o indicador de produtividade. A atividade de laminação foi estudada estatisticamente e o desempenho dos diferentes processos e turmas de trabalhadores foram comparados, a fim de identificar qual etapa da laminação estava comprometendo o desempenho geral da atividade. Com isso, foi possível identificar a parte do processo e os equipamentos responsáveis pela maior ocorrência de paradas na produção e, em seguida, foram criadas medidas que solucionem de vez tais problemas.

Palavras-chave: Laminador, Produtividade, Controle Estatístico e da Qualidade.



## **ABSTRACT**

The steel industry has stood out globally by its high competitiveness among industries inserted in the business. Being able to understand that this field deals with a product which is difficult to differentiate, in order to survive in the market, it is necessary to serve the customer quickly, efficiently and above all at low cost. In this scenario, being able to understand and measure the performance of its production process is crucial to achieve operational efficiency and best utilization of resources. In other words, it is necessary to produce as much as possible using the least possible time. The productivity indicator of a company expresses precisely this relationship between production and time. Therefore, this research presents a proposal for the use of statistical control and quality tools in the analysis of the time that the laminator of a steel industry stays stopped in order to maximize the productivity indicator. The rolling mill activity was statistically studied and the performance of the different process and labor groups was compared in order to identify which part of the process was compromising the performance of the activity. Thereby it was possible to identify the part of the process and the equipment responsible for the higher rate of production stoppages and then create actions to address these problems.

**Keywords:** Laminator, Productivity, Statistical Control and Quality.



## 1 INTRODUÇÃO

Um dos indicadores mais importantes das indústrias inseridas no setor de manufatura é a produtividade. De maneira geral, (SHIMIZU et al., 1997 apud KING et al., 2012, p. 03) definem a produtividade como “(...) uma medida para se verificar quão bem os recursos para se produzir um determinado resultado são empregados”.

Ainda segundo King et al. (2012, p.06), fazendo referência à Chen e Liaw (2001), a produtividade nada mais é que “(...) a eficiência de uma organização em converter as entradas do processo em produto final”, e considera também “(...) a produtividade como um indicador para medir o desempenho econômico/financeiro de uma organização”.

Em outras palavras, Falconi (1999) define a produtividade de uma empresa como sendo a razão entre todo o valor produzido e todo o valor consumido por ela, tendo como resultado taxa de valor agregado ao cliente.

Assim, fica claro como a gestão dos indicadores de produtividade é consequência dos processos pelos quais a matéria prima é transformada em produto. Pode-se concluir também que o desempenho financeiro está diretamente ligado à gestão da produtividade, bem como a satisfação dos clientes.

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).

Alguns acontecimentos nas últimas décadas determinaram mudanças estratégicas na indústria siderúrgica. O primeiro foi “o crescimento chinês acima de 9% ao ano que impulsionou a demanda mundial pelo aço e pelas principais matérias-primas, como o minério de ferro. Os ganhos auferidos com esse dinamismo originaram projetos de expansão, sobretudo no mercado chinês, tornando o gigante asiático autossuficiente e exportador líquido de aço” (CROSSETTI; FERNANDES, 2005).

Outro fator impactante foram as várias fusões e aquisições de empresas do setor siderúrgico, o que causou um alto grau de concentração, contribuindo para uma busca intensa pela racionalização da produção e maximização da eficiência (FONSECA et al., 2011).



Como resultado de todas as transformações econômicas e globais que culminaram na maximização da competitividade entre as empresas no setor siderúrgico, observa-se a constante busca dos grupos multinacionais pela otimização dos processos, visando sempre o aumento da produtividade.

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

Nesse trabalho foi realizada uma análise da operação de um laminador pertencente a uma usina siderúrgica de grande porte. Foram utilizadas ferramentas do controle estatístico da qualidade para identificar falhas e apontar melhorias no desempenho do laminador.

### 1.1 Pergunta Problema

O presente estudo tem como ponto de partida os indicadores de produtividade abaixo da meta na atividade de laminação. Será considerado o cálculo da produtividade como sendo a relação entre o peso total produzido em toneladas e o tempo efetivo em horas usado para produção. Dessa forma, destaca-se o tempo de parada na linha de produção como sendo o fator crucial a ser analisado, a fim de se conseguir maximizar a produção e conseqüentemente a produtividade do laminador.

**Pergunta Problema:** Quais as origens das paradas de maior impacto na produtividade abaixo da meta? Quais as causas dessas paradas? Como será possível maximizar a produtividade?

### 1.2 Justificativa

Diante da atual conjuntura do mercado siderúrgico, no qual a competição é intensa e a exigência dos clientes é crescente, as empresas buscam produzir o máximo, gastando o mínimo de recursos. Dessa forma, torna-se indispensável monitorar e buscar melhorar o indicador de produtividade.

Dentro desse contexto, destaca-se a importância da aplicação de ferramentas de controle estatístico e da qualidade na identificação de problemas frequentes na indústria, a fim



de apontar soluções que permitam às empresas produzir mais e gastar menos, sendo mais eficientes.

Portanto, o presente estudo se justifica pela necessidade de maximizar a produtividade e otimizar a utilização dos recursos, a fim de garantir diminuição dos custos de operação e vantagem competitiva no mercado.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivos Gerais**

O presente estudo tem como objetivo analisar o processo produtivo de laminação, identificando as variáveis que mais influenciam nos indicadores de produtividade e consequentemente tornar possível um melhor gerenciamento dos processos evidenciando seu gargalo.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar estudo do processo de laminação, a fim de compreendê-lo e para contribuir no processo de análise de pontos críticos;
- Coletar dados do processo em estudo e usar ferramentas de controle estatístico a fim de obter informações quantitativas das variáveis do processo dentro do período estudado;
- Identificar qualitativamente e quantitativamente a origem das paradas e parte do processo responsável por queda produtiva;
- Apontar soluções que garantam o cumprimento da produção prevista.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está organizado em seis seções. A primeira seção traz uma introdução acerca do assunto a ser tratado, contextualizando de forma global o histórico e momento atual do tema da pesquisa. Na seção inicial ainda consta os objetivos a serem alcançados pela pesquisa, bem como sua justificativa. Na segunda seção é feita uma revisão



na literatura, trazendo os principais conceitos utilizados na realização do estudo, tais como siderurgia, laminação, ferramentas estatísticas e da qualidade e controle de processos. A terceira seção trata da metodologia usada na pesquisa. Nessa seção ocorre a explicação do passo a passo da realização da pesquisa, desde a obtenção dos dados, passando pela análise e interpretação até a proposição de melhorias e conclusão. Na quarta seção é feita a apresentação da empresa onde o estudo foi realizado. Ainda na seção quatro tem-se a comprovação do problema de pesquisa e a análise estatística feita em busca de se encontrar as causas do problema. Uma vez evidenciado o problema e suas causas, tem-se na quinta seção a proposição de melhorias no processo de laminação, a fim de reduzir o tempo de paradas e o aumento da produtividade. Por fim, a seção seis traz conclusões acerca do trabalho.





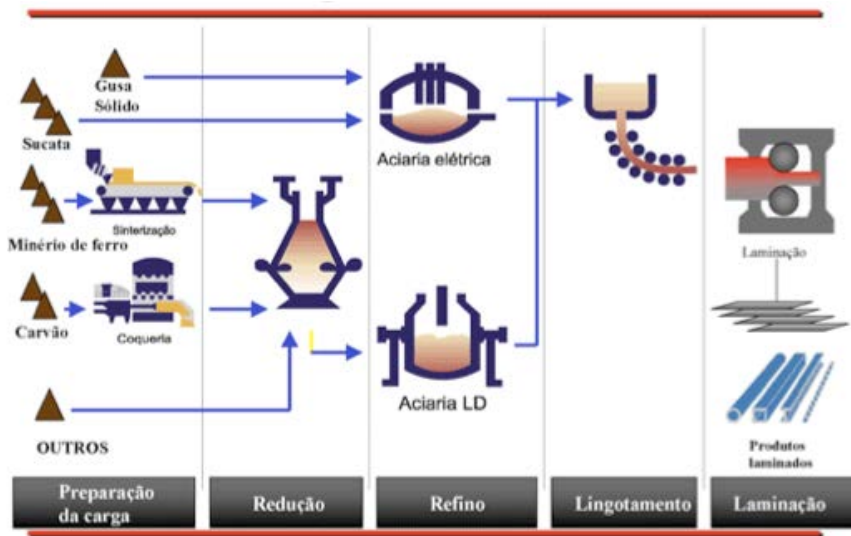
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Siderurgia

Segundo o Instituto Aço Brasil (2014), o processo siderúrgico é o conjunto de atividades através do qual o minério de ferro é transformado em aço. Tem-se como matéria prima básica para esse processo o minério de ferro, o carvão e o cal, de modo que, para a obtenção de aço, esses materiais passam por quatro etapas. São elas:

- Preparação da carga: obtenção do chamado sinter, através da mistura de minério de ferro, cal e coque obtido através do carvão;
- Redução: carrega-se o Alto Forno com o material resultante da etapa anterior. O contato entre o oxigênio do forno e o carvão gera calor, que funde a carga metálica até a redução do minério de ferro em metal líquido, o chamado ferro-gusa (liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado);
- Refino: nessa etapa, o ferro-gusa é transformado em aço líquido e grande parte do carbono e impurezas é removida. Posteriormente, esse material é solidificado no equipamento chamado Lingotamento Contínuo, formando assim os lingotes e gerando o tarugo (produto semiacabado) que será a matéria prima para a laminação;
- Laminação: o tarugo obtido na etapa anterior passa pelos chamados laminadores. O resultado desse processo tem grande variedade e aplicabilidade no mercado. O processo de laminação será descrito detalhadamente na seção seguinte, tendo em vista que o presente estudo analisa os subprocessos de uma linha de laminação. A figura 1 mostra o fluxograma de um processo siderúrgico.

FIGURA 01 – Fluxo do Processo Siderúrgico



FONTE: Site IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia

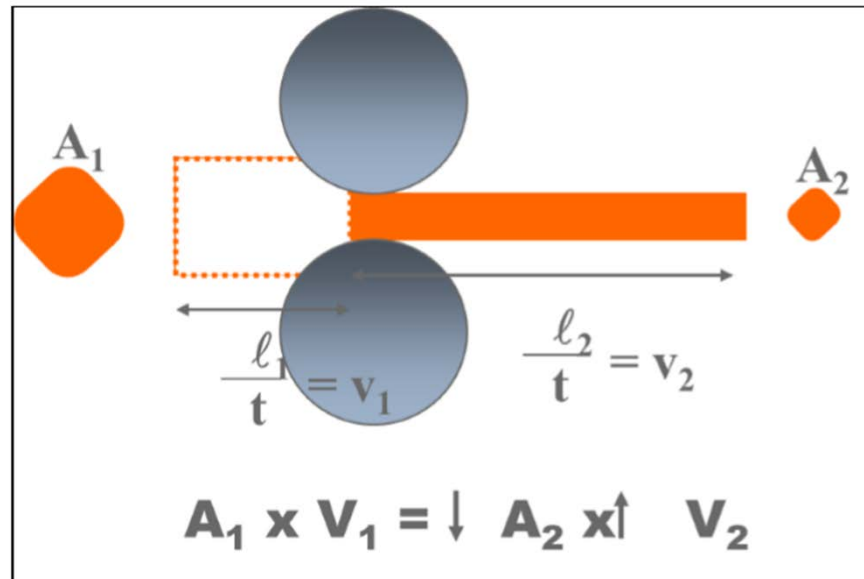
## 2.2 Laminação

De acordo com a Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (2008), o processo de laminação consiste na passagem do material (tarugo) entre dois cilindros, girando em sentidos opostos, com praticamente a mesma velocidade superficial e espaçados entre si, a uma distância menor que a dimensão inicial do material. Ao passar pelos cilindros, a tensão surgida provoca uma deformação plástica na qual a espessura é diminuída, o comprimento aumentado, podendo a largura ser aumentada, diminuída ou inalterada.

O processo de laminação é largamente utilizado na indústria, pois permite a obtenção de formas que seriam difíceis e dispendiosas por outros métodos; ainda, a laminação melhora as propriedades mecânicas dos metais por meio das deformações mecânicas. Por fim, a laminação permite a obtenção de diferentes formas de maneira econômica, uma vez que a massa do material se mantém constante, antes, durante e depois do processo, fazendo uso de toda a matéria prima (Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008).

A figura 2 mostra o sistema de laminação.

FIGURA 02 – Processo de Laminação



FONTE: Apostila de Laminação da ArcelorMittal Monlevade

## 2.3 Processos

Para Werkema (1995), um processo consiste na combinação dos elementos, equipamentos, insumos, métodos, condições ambientais, pessoas e informações, tudo ocorrendo de forma harmônica em busca de um objetivo único, seja a produção de um bem ou a prestação de um serviço.

Falconi (2004) interpreta um processo como sendo um conjunto de causas que provocam um ou mais efeitos. Ele ainda afirma que as causas podem ser divididas em famílias, pelo fato de agrupar e facilitar o gerenciamento das mesmas.

### 2.3 1 Controle de Processos

Para Falconi (2004), os processos devem ser controlados a partir dos efeitos e, para isso, devem ser criados itens de controle. Itens de controle são índices numéricos através dos quais verifica-se a qualidade total sobre os efeitos do processo.

Dessa forma, caso obtenha-se um efeito indesejado em um processo, o item de controle deve evidenciá-lo. Isso é o que Falconi (2004) chama de problema de processo. Werkema (1995) define um erro de processo como sendo um item de controle que não atinge o nível desejado.



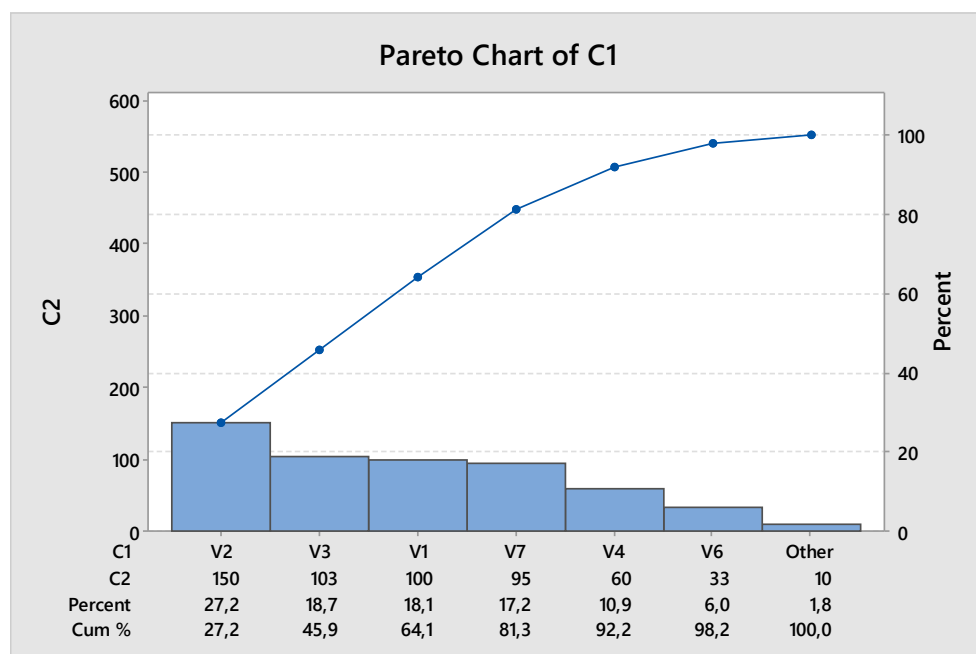
## 2.4 Ferramentas de Controle Estatístico

### 2.4.1 Gráfico de Pareto

Para analisar o impacto que cada causa tem em um determinado problema utiliza-se o Gráfico de Pareto. O objetivo é priorizar as ações, a fim de atacar os problemas mais críticos primeiro. Para Montgomery et al. (2004), o Gráfico de Pareto nada mais é que uma distribuição de frequência de dados atributos, divididos em categorias. Assim fica claro que esse gráfico permite ver de forma clara quais atributos aparecem com maior frequência.

Segundo Werkema (1995), o Gráfico de Pareto parte do princípio de que um problema pode ser amenizado concentrando as ações em um número pequeno de causas, uma vez que uma pequena porcentagem das causas é responsável pela maioria dos defeitos apresentados. O gráfico 1 mostra um exemplo de Gráfico de Pareto.

GRÁFICO 01 – Exemplo do Gráfico de Pareto



FONTE: Autoria Própria

### 2.4.2 Diagrama de Causa e Efeito

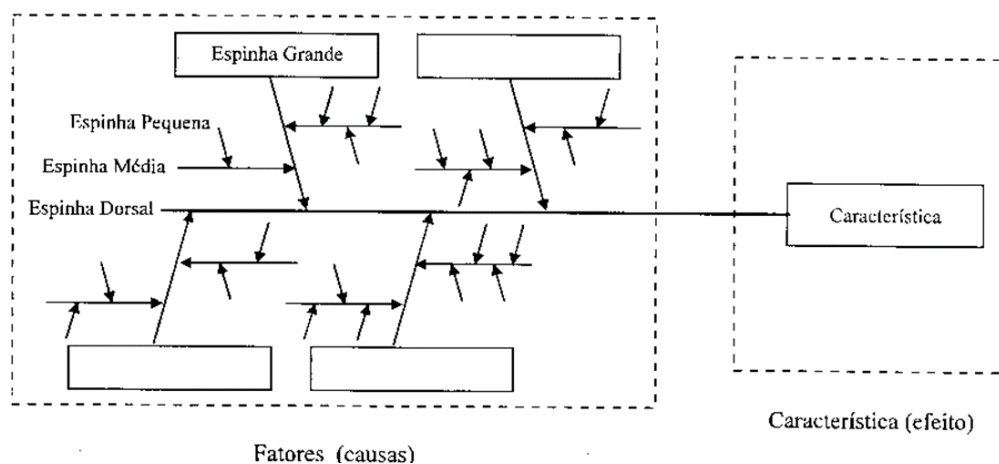
O primeiro passo no entendimento do controle de processo é a compreensão do relacionamento causa-efeito (FALCONI, 1999).

Muito útil na identificação de causas de um determinado problema, o Diagrama de Causa e Efeito também é conhecido como Diagrama Espinha de Peixe, pela sua estrutura, ou como Diagrama de Ishikawa, em homenagem ao Professor Kaoru Ishikawa, que elaborou o primeiro modelo desse diagrama.

Para Werkema (1995), o Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta que visa apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (o chamado efeito) e os fatores (as chamadas causas) do processo que venham a acarretar falhas no resultado.

O diagrama é traçado em torno das seis causas mais comuns que ocorrem na indústria, que são: material, método, máquinas, mão-de-obra, meio ambiente e medidas. As causas ficam dispostas ao longo do eixo do diagrama, ligadas por uma reta ao efeito que queremos desvendar. A figura 3 mostra como é feito um Diagrama de Causa e Efeito.

FIGURA 03 – Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito



FONTE: Werkema (1995)

### 2.4.3 Análise de Regressão

A resolução de problemas na indústria, por diversas vezes, passa por explorar a relação entre duas ou mais variáveis. A análise de regressão é um modelo por meio do qual é possível investigar a relação entre variáveis envolvidas em um determinado processo.

Montgomery (2009), categoriza a análise de regressão como simples e múltipla. Na análise de regressão simples, correlaciona-se apenas uma única variável regressora com a variável de resposta; a regressão múltipla, entretanto, correlaciona a variável de resposta com mais de um regressor.



Segundo Montgomery (2009), a variável resposta  $Y$  pode estar relacionada a  $k$  variáveis regressoras, sendo  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  parâmetros desconhecidos e  $\epsilon$  um termo de erro aleatório, conforme mostrado na equação 1.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (1)$$

Para avaliar o ajuste do modelo de regressão, Montgomery (2009) cita o chamado coeficiente de determinação múltipla  $R^2$ , descrito na equação 2, onde  $SQ_T$  é a soma total dos quadrados,  $SQ_R$  é a soma dos quadrados devidos a regressão e  $SQ_E$  é a soma dos quadrados devido ao erro:

$$R^2 = \frac{SQ_R}{SQ_T} = 1 - \frac{SQ_E}{SQ_T} \quad (2)$$

O resultado da equação 2, ou seja, o valor de  $R^2$  mostra a porcentagem de variabilidade da resposta da variável  $Y$  em relação às variáveis regressoras.

#### 2.4.4 Análise de Variância (ANOVA)

De acordo com Montgomery (2009) apud (PAESE et al., 2001) a Análise de Variância, também conhecida como ANOVA - do inglês *Analysis of Variance* - é uma ferramenta para comparação de vários grupos ou estratos de interesse. Por meio da ANOVA, é possível investigar a existência de diferenças significativas entre os fatores estudados.

Segundo Montgomery (2009), o intuito é testar a igualdade das médias dos  $a$  tratamentos, representados pela variável  $\tau$ , cujas médias são representadas por  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_a$ . Faz-se isso por meio da equação 3.

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0 \quad (3)$$

Dessa forma, testa-se as hipóteses  $H_0$  e  $H_1$  mostradas abaixo:

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0 \quad (4)$$

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

Montgomery (2009) interpreta o resultado da seguinte forma: caso a hipótese nula seja aceita, cada observação é formada pela média global  $\mu$  mais o erro aleatório  $\epsilon_{ij}$ . Isso quer dizer que todas as observações possuem uma mesma distribuição normal e variância. Logo,



conclui-se que se a hipótese nula for aceita, as mudanças nos níveis de fatores não tem efeito na 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 5:

$$SQ_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y} \dots)^2 \quad (5)$$

Ou, simbolicamente, conforme mostrado na equação 6:

$$SQ_T = SQ_{\text{Tratamentos}} + SQ_E \quad (6)$$

Dessa forma, Montgomery (2009) mostra que a variabilidade total presente nos dados  $SQ_T$ , 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 chama atenção para um fator importante na realização de uma análise de variância: 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:

$$MQ_{\text{Tratamento}} = SQ_{\text{Tratamento}} / (a - 1) \quad (7)$$

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 por:



$$F_0 = \frac{SQ_{Tratamento}/(a-1)}{SQ_E/[a(n-1)]} = \frac{MQ_{Tratamento}}{MQ_E} \quad (8)$$

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. No caso de a hipótese nula ser falsa, o valor esperado de  $MQ_{Tratamentos}$  será maior que  $\sigma^2$ . Dessa forma, quanto à hipótese alternativa, o valor esperado do numerador é maior que o esperado no denominador. Assim, 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, Montgomery destaca que, para análise de variância com tamanhos iguais de amostra em cada tratamento, tem-se os cálculos da soma dos quadrados:

$$SQ_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2_{..}}{N} \quad (9)$$

$$SQ_{Tratamento} = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n} - \frac{y^2_{..}}{N} \quad (10)$$

Os resultados da ANOVA podem ser sintetizados no formato de uma tabela, conforme ilustrado pela Tabela 01.

TABELA 01: Tabela resultado – ANOVA 1 Fator

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

FONTE: Montgomery (2009)

### 2.4.5 Comparações Múltiplas de Médias

A análise de variância explicada no item anterior é uma poderosa ferramenta de comparação de médias. Porém, quando se rejeita a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa (de que as médias não são iguais) ainda não se sabe quais dentre as médias populacionais são iguais e quais são diferentes (WALPOLE, 2009). Para isto, alguns testes





podem ser utilizados, dentre os quais o Teste de Tukey, que será abordado no item seguinte, se destaca por ser bastante rigoroso, exato e de fácil aplicação.

#### 2.4.5.1 Teste de Tukey

Quando se trabalha com médias que são estatisticamente diferentes, é interessante a utilização de uma ferramenta que permita quantificar a magnitude dessa diferença. 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).

Para Walpole (2009), a técnica 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 explicitada na equação da Diferença Mínima Significativa (DMS), mostrada abaixo, em que  $q[\alpha, k, v]$  é um valor tabelado, onde  $n$  é o número de réplicas do tratamento (nível) e  $s^2$  equivale ao quadrado médio do erro.

$$DMS = q[\alpha, k, v] \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (11)$$

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

#### 2.4.6 5W2H

Para Neto (2012), o 5W2H nada mais é que um formulário para execução e controle de tarefas, no qual são atribuídas as responsabilidades e tarefas que deverão ser realizadas, o setor, o motivo e o prazo para conclusão, bem como os custos envolvidos.

Ainda segundo Neto (2012), o nome da ferramenta advém das iniciais de sete perguntas usadas em sua metodologia, conforme abaixo:

- *What* (O que será feito?)
- *Who* (Quem fará?)
- *When* (Quando fará?)
- *Where* (Onde será feito?)



- *Why* (Por que será feito?)
- *How* (Como será feito?)
- *How much* (Quanto custará?)

Neto (2012) ainda destaca que é comum o 5W2H ser usado de forma adaptada, sem o uso da pergunta *How Much* - referente ao custo. Nesse caso a ferramenta passa a se chamar 5W1H.

#### **2.4.6.1. Plano de Ação**

Para Neto (2012), um plano de ação consiste em todas as ações necessárias para atingir um objetivo, tendo como ponto chave saber o que fazer, identificar e relacionar as atividades. Para resolução de problemas complexos existem várias técnicas e métodos que podem ser utilizadas. O Diagrama de Causa e Efeito explicado no item 2.4.2 é amplamente usado na elaboração de um plano de ação.



### 3 METODOLOGIA

Nessa seção, será explicitado como a pesquisa foi conduzida, a forma que os dados foram extraídos e analisados e os métodos utilizados na elaboração das conclusões.

#### 3.1 Classificação da Pesquisa

O presente estudo é considerado uma pesquisa de caráter descritivo, por ter como intuito a correlação entre variáveis por meio de técnicas padronizadas de coleta de dados, como observação sistemática e entrevistas (TURRIONI; MELLO, 2011).

Quanto à natureza, a presente pesquisa é aplicada, pelo fato de que o principal interesse do autor é identificar soluções que possam ser aplicadas na prática, na resolução de problemas que ocorrem na realidade, e que são motivados por interesses comerciais (TURRIONI; MELLO, 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, assim como a experimental, parte de quadros conceituais de referência bem estruturados, a partir dos quais são formuladas hipóteses acerca dos fenômenos estudados. A coleta de dados enfatizará números que permitam verificar a ocorrência das hipóteses para posteriormente traçar a conclusão de aceitação ou não das mesmas, por meio de ferramentas matemáticas ou estatísticas (POPPER, 2003 apud DALFOVO et al., 2008).

“O método qualitativo, por outro lado, difere em princípio, do quantitativo, à medida que não emprega um instrumental estatístico como base na análise de um problema, não pretendendo medir ou numerar categorias” (RICHARDSON, 1999 apud DALFOVO et al., 2008, p. 09).

O presente trabalho se dá através da combinação das abordagens qualitativas e quantitativas, tendo em vista a complexidade do problema a ser analisado. Pode-se perceber que a análise do processo de laminação deve ser feita por meio de estudos estatísticos, gerando dados quantitativos. Tais dados, porém, não são conclusivos para elaboração de conclusões certas quanto à resolução do problema, abrindo espaço para o método



qualitativo, no qual os operadores tem destaque com opiniões e experiências acerca do processo.

### 3.2 Coleta e Extração de Dados

Para identificar as causas da baixa produtividade, é necessário fazer análise das paradas na linha de produção do laminador. Para isso, foram extraídos dados do *software* de gerenciamento MES (*Manufacturing Execution System*). Esse *software* recebe dados dos operadores acerca das ocorrências na linha de produção e disponibiliza informações na forma de um banco de dados. Todas as paradas são dispostas em um relatório que contém a duração, a origem, o tipo, a turma responsável, a descrição da ocorrência, entre outras informações. Para este estudo, foram considerados dados do período compreendido entre 01 de janeiro de 2014 à 31 de dezembro de 2014.

Primeiramente, a fim de obter informações quantitativas a respeito do desempenho do laminador, as informações do relatório do MES foram extraídas para uma planilha de Excel. Nesse momento, as informações foram organizadas em gráficos que evidenciaram a existência do problema.

Em um segundo momento, buscou-se na literatura ferramentas do controle estatístico e da qualidade que pudessem auxiliar na análise das informações da parada. Com o intuito de identificar as origens das paradas nas quais a pesquisa deveria focar sua atenção, foi usado um Diagrama de Pareto que mostrava os minutos em que cada origem de parada estava acima da meta. A fim de comprovar o resultado obtido no Pareto, foi feita uma análise de regressão comparando os dados de paradas com a produção de fio máquina em toneladas.

Ainda na análise das informações de paradas, buscou-se na literatura uma forma de comparar as médias de paradas por turma de trabalhadores e por etapas do processo de laminação. Foi então aplicada a técnica de Análise de Variância (ANOVA) e, em seguida, um Teste de Tukey. Essas duas ferramentas foram usadas em conjunto com o intuito de mostrar qual a turma e a parte do processo eram mais críticas para o problema.

Uma vez identificados os equipamentos mais propensos à ocorrência de parada, bem como a parte do processo e a turma que mais contribui para o tempo de parada, foi feito um resumo da análise, a fim de priorizar a proposição de soluções. A definição de prioridades foi elaborada levando-se em conta os resultados da análise estatística feita pela pesquisa, além



dos funcionários do laminador que contribuíram na atribuição de grau de prioridade por meio de reuniões de *brainstorming*.

Na etapa seguinte, foi fundamental a participação de operadores no desenho de causas para o problema da pesquisa. Para organizar as informações e direcionar a discussão, foi usado um Diagrama de Causa e Efeito. Cada causa levantada foi analisada e uma ação correspondente foi criada, formando um plano de ação, que tem como objetivo diminuir as paradas no laminador e, conseqüentemente, aumentar a produtividade.



## 4 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

### 4.1 Apresentação da Empresa

A ArcelorMittal Aços Longos é uma das maiores produtoras de aços longos e trefilados da América Latina. No Brasil, a atual capacidade produtiva é de 3,9 milhões de toneladas de aço bruto ao ano. No total, as operações são divididas em sete usinas no Brasil, sendo quatro em Minas Gerais, duas em São Paulo e uma no Espírito Santo.

A Usina de Monlevade, que é a principal unidade do grupo, tem o processo integrado, sendo a própria ArcelorMittal responsável pela extração do minério na Mina do Andrade, que fica a cerca de 10 km do centro industrial. Na usina o aço é produzido e transformado pelos processos de Sinterização, redução em Alto Forno, refino do aço, Lingotamento e a Laminação.

O produto final da Usina de Monlevade é o fio máquina, que tem ampla aplicação nas indústrias de bem de consumo. A variedade do produto se dá pelo tipo de aço e espessura (tipo de bitola). O fio máquina é a matéria prima para outros produtos de aço, tais como: arames para lã de aço, fixadores, molas, eletrodos e solda MIG, e, ainda, aplicações em agropecuária, construção civil, eletrificação, cabos, linha branca, barras para construção mecânica, molas helicoidais para amortecedores e muitos outros.

A planta de João Monlevade conta com dois Laminadores em funcionamento e um terceiro Laminador em fase de teste. O Terminal Laminador 1 (TL1), que é o mais antigo, opera desde 1968 e trabalha com duas linhas de laminação que funcionam lado a lado; o Terminal Laminador 2 (TL2), que é o foco desse estudo, é mais moderno e foi inaugurado na década de 1990.

### 4.2 Descrição do Laminador 2

O Laminador 2 foi inaugurado na década de 1990 e passou por uma reforma entre os anos de 2004 e 2005. A capacidade nominal de fábrica é de 420.000 toneladas/ano e a capacidade atual de produção é 500.000 toneladas/ano. O TL-2 produz fio-máquina, que varia quanto à espessura - variação entre 5,5mm e 44,0mm – sendo, no total, 32 tipos de bitola. As bitolas mais finas são laminadas via Stelmor, enquanto as bitolas mais grossas via Garret.

A atividade de laminação é dividida em quatro processos, que são:



- B-Forno
- C-Laminação
- D-Formação de espira e resfriamento
- E-Manuseio

No primeiro processo o tarugo é reaquecido no Forno Combustol, ganhando propriedades que permitem a deformação plástica nas etapas seguintes. Em seguida, já no processo C, o tarugo aquecido entra nas cadeiras de laminação, nas quais a barra de aço passa por um alongamento e redução de espessura. Após o alongamento, o material segue para o processo D, podendo passar para a linha Garret (bitola grossa) ou *Stelmor* (bitola fina). No processo via *Stelmor*, o material passa por mais deformações, até que a espessura desejada seja alcançada, transformando-se em espira. Feito isso, dá-se início à fase de resfriamento do material, ainda no processo D, primeiramente por caixas d'água e, posteriormente, a ar. Finalmente, é chegado o processo E, no qual a espira é manuseada em forma de bobina e transportada para a área de manuseio, onde será compactada, empacotada e colocada à disposição para expedição. A figura 4 mostra o *layout* do Laminador 2. Por meio dela é possível observar a sequência dos processos de laminação desde a entrada do tarugo até a produção do fio máquina.



**ROLLING MILL # 02**

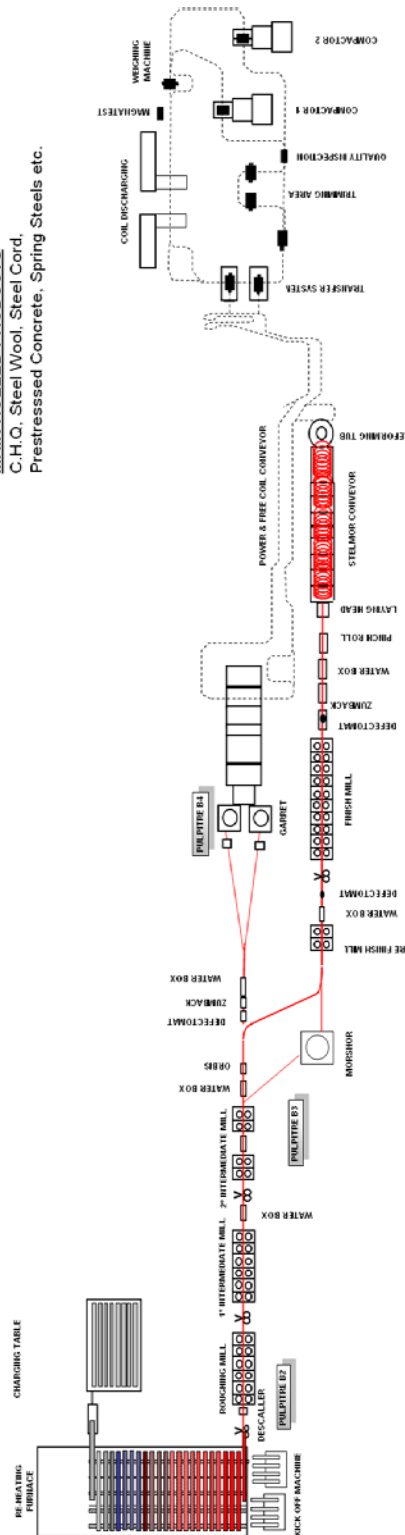


Coil weight : 2150 Kg  
 Mill tolerance : +/- 0,15 mm - Ø 5,5 (S. Cord)  
 Wire rod sizes : 5,5 a 32,0 mm



Billet Square : 155 x 155 mm  
 Maximum size : 12,20 m  
 Minimum size : 09,00 m  
 Billet weight : 2220 Kg

**MAIN ROLLED PRODUCTS**  
 C.H.Q. Steel Wool, Steel Cord,  
 Prestressed Concrete, Spring Steels etc.



**MAIN FEATURES**

- Walking beam / Re-Heating Furnace 140 t/h
- With Kick Off discharging
- 1 strand - 28 stands
- Finishing Speed ~100 m/s (5,5 mm)
- On Line defect detector ( Defectomat )
- Stelmor " Retarded Cooling" with 4 Waterbox Zones
- Stelmor Conveyor With Rollers and 11 Fans
- Horizontal Laying Head
- Power & Free Coil conveyor
- On Line bar gauge

FONTE: Acervo AMM





### 4.3 Indicadores de Desempenho do Laminador 2

Como em todo processo, para gerenciar a laminação é necessário medir as variáveis do processo. Para isso, existe uma série de indicadores e metas por meio dos quais o desempenho do laminador é mensurado em números. Tem-se definido os critérios através dos quais a *performance* do Laminador é expressa. Os próximos itens apresentarão os indicadores por meio dos quais a atividade de laminação é mensurada e monitorada.

#### 4.3.1 Produtividade

Esse indicador mostra a capacidade de produção da empresa em relação ao tempo. A equação 11 mostra como é calculado o valor da produtividade.

$$PSP = \frac{\text{Produção laminada (toneladas)}}{\text{Tempo Efetivo sem paradas (horas)}} \quad (12)$$

(T.Efetivos/paradas=Tempodecalendário-Totaldeparadas (programadas+acidentais+logísticas)

A parte de cima da equação consiste na produção total em toneladas, em um dado período de tempo. O denominador, por outro lado, é o resultado da subtração do chamado tempo de calendário (tempo total que o laminador pode operar - 24h por dia) pelo tempo em que o Laminador fica parado.

O foco da pesquisa é maximizar esse indicador, uma vez que ele representa a eficiência operacional da laminação. Uma alta produtividade significa maior produção e menos tempo de paradas, o que implica em menor custo. Assim, torna-se necessário entender os diversos motivos pelos quais o laminador ocasionalmente fica parado ou produz abaixo do esperado.

#### 4.3.2 Taxa de Utilização

Esse indicador demonstra o aproveitamento do tempo para produção. O cálculo se dá pela relação entre o tempo efetivo (sem paradas) e o tempo disponível (calendário), conforme mostrado na equação 13.

$$TU = \frac{\text{Tempo efetivo}}{\text{Tempo calendário}} \times 100 \quad (13)$$



### 4.3.3 Eficiência

O indicador de eficiência consiste na relação entre a produção horária sem paradas (apurada) e a teórica (calculada), como mostrado na equação 14.

$$Ef = \frac{\text{Produção Real sem parada}}{\text{Produção Teórica sem parada}} \times 100 \quad (14)$$

### 4.3.4 Tempo de Parada

Durante o dia a dia da produção de fio máquina, o Laminador fica parado por uma série de ocorrências. Tais ocorrências são chamadas paradas e são divididas em três categorias, sendo elas: paradas programadas, paradas acidentais e paradas logísticas. Cada uma dessas categorias é subdividida de acordo com a origem da ocorrência que gerou a parada, de maneira a facilitar o controle das taxas de parada. Todos os processos da laminação estão sujeitos a ocorrências de paradas de todas as categorias e controlar os minutos que o laminador fica parado, por cada origem, é crucial para o aumento da produtividade.

#### 4.3.4.1 Paradas Programadas

São paradas pré-agendadas da produção. Podem ocorrer por diversos motivos, dentre as quais, pode-se destacar:

- Manutenção: intervenções eletromecânicas planejadas pela equipe de manutenção com um mês de antecedência;
- Operação: produção parada para inspeção no Laminador e realização de testes;
- Ociosidade: falta de semiproduto (tarugo) ou falta de pedidos (compradores);
- Reparações especiais: parada do Laminador para reformas de ordem maior.

#### 4.3.4.2 Paradas Acidentais

Paradas na produção que não são previstas. São classificadas de acordo com a origem, conforme demonstrado a seguir:



- Operacional: tempo que o Laminador fica parado devido à falhas, quebras ou problemas de qualidade por motivos operacionais;
- Mecânica: tempo que o Laminador fica parado devido à falha ou quebra por motivos mecânicos;
- Elétrica: tempo que o Laminador fica parado devido à falhas de ordem elétrica ou eletrônica;
- Externa: tempo em que o Laminador fica parado por motivos externos ao Laminador ou à usina, como falta de energia ou intempéries.

#### **4.3.4.3 Paradas Logísticas**

Tempo que o Laminador permanece parado por atividades de ordem logística, necessárias à produção, como modificações na linha de produção e equipamentos. As paradas logísticas se fazem necessárias de acordo com a programação de produção que é determinado conforme a carteira de pedidos

#### **4.4 Descrição do Problema**

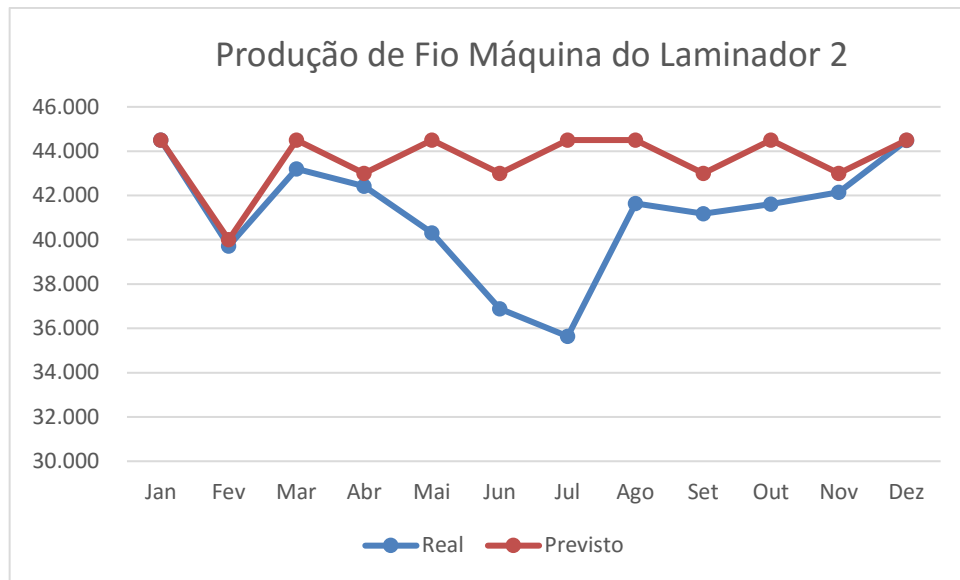
Na análise dos indicadores do Laminador 2, observa-se que a produtividade estava abaixo da meta estipulada. Como esse indicador traduz a relação entre produção em toneladas e tempo efetivo de produção, busca-se então a comprovação do problema de pesquisa com base nesses dois aspectos.

Com o intuito de atestar a existência do problema e dimensioná-lo, foi feita uma análise da quantidade de fio máquina produzida de janeiro a dezembro de 2014 em conjunto com uma observação da utilização do tempo para produção, buscando equacionar o tempo de parada no Laminador.

No que diz respeito à produção, sabe-se que a previsão não foi cumprida, como mostra o gráfico 02.



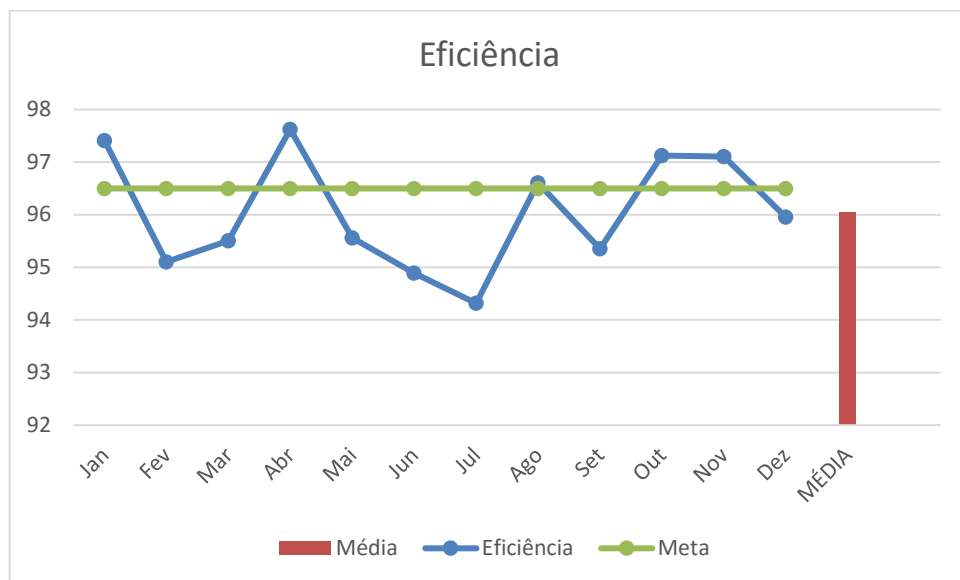
GRÁFICO 02 - Produção do Laminador 2



FONTE: Autoria Própria

Conseqüentemente, o indicador de eficiência, que se relaciona à produção prevista com a produção real, também ficou abaixo da meta estipulada, conforme observa-se no gráfico 03.

GRÁFICO 03 - Eficiência do Laminador 2



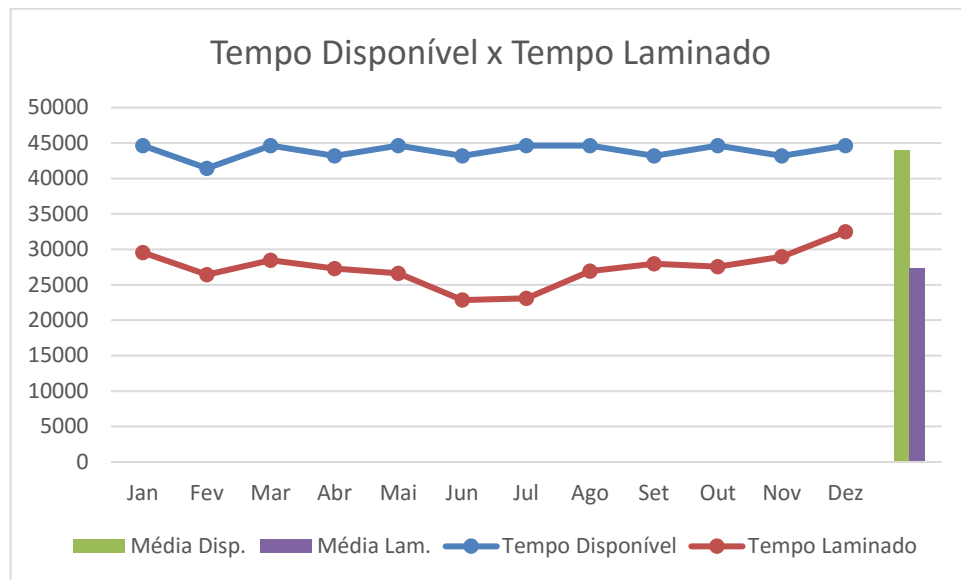
FONTE: Autoria Própria



O resultado dessa defasagem entre a produção real e a meta de produção é o indicador de produtividade abaixo do esperado, uma vez que a produtividade é diretamente proporcional à quantidade produzida.

Visando agora analisar o tempo de paradas na produção do Laminador, traça-se o comparativo entre o tempo disponível de calendário e o tempo efetivo de laminação. O gráfico 04 mostra a defasagem entre o tempo em que o Laminador pode laminar e o tempo que é efetivamente usado para produção.

GRÁFICO 04 - Comparação Entre Tempo Disponível e Tempo Laminado

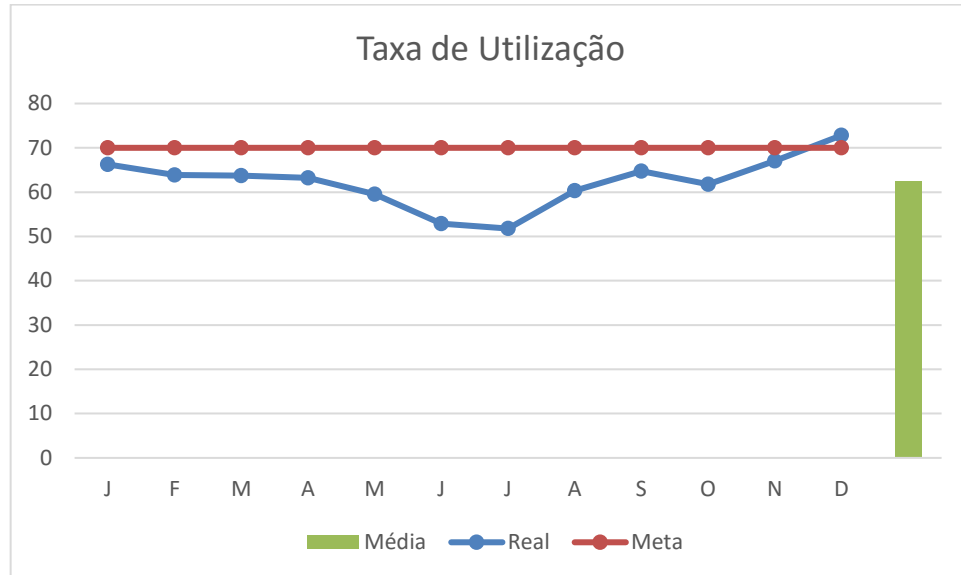


FONTE: Autoria Própria

Nota-se no gráfico a grande margem de tempo não utilizada de forma efetiva para a produção. O tempo que o Laminador não é usado para produzir se deve às diversas origens de paradas explicadas no item anterior. A tradução da comparação dessas duas grandezas é expressa pela taxa de utilização. O gráfico 5 mostra o desempenho da Taxa de Utilização no ano de 2014.



GRÁFICO 05 - Taxa de Utilização do Laminador 2



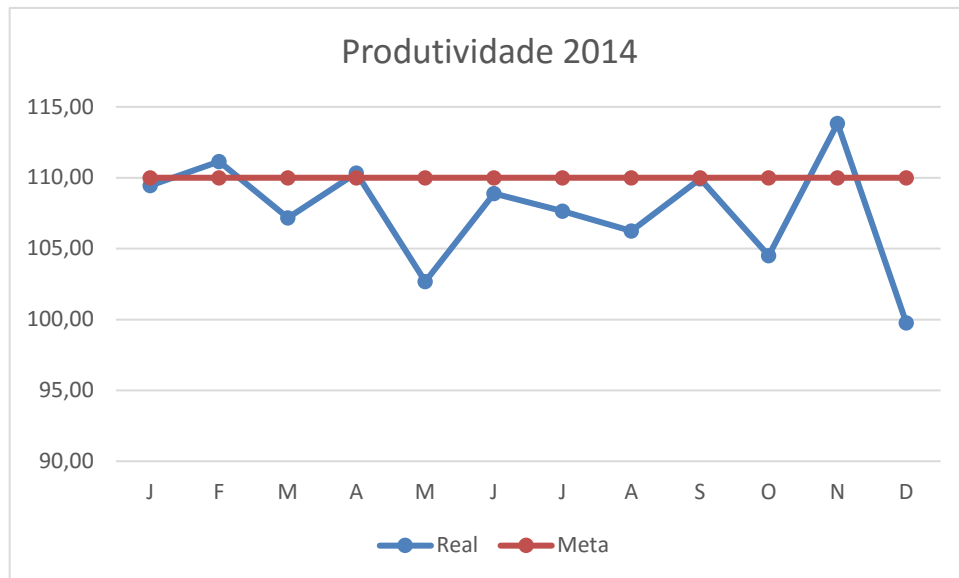
FONTE: Autoria Própria

Fica claro que, grande parte do tempo disponível no calendário não é utilizado, de forma real, para a produção do fio máquina. O problema, porém, tem início quando o número de paradas excede ao tolerável definido pela meta. O demasiado número de ocorrências de paradas no Laminador é o que causa defasagem na quantidade de produção e, conseqüentemente, na apuração de uma produtividade abaixo do desejável.

O gráfico 06 expressa a produtividade do Laminador 2 nos meses de Janeiro a Dezembro de 2014. Conforme explicitado, na maioria dos meses, assim como na média do ano que está abaixo da meta devido ao excesso de paradas no Laminador, até o mau aproveitamento do tempo de calendário para a produção e a conseqüente perda de produção em tonelagem.



Gráfico 06 - Produtividade do Laminador 2



FONTE: Autoria Própria

#### 4.5 Análise de Paradas

O tempo total de produção do Laminador em um dia são 24 horas (1440 minutos), dividido em três turnos de 8 horas (480 minutos) cada. Durante cada fase da produção é normal a incidência de ocorrências que levam o Laminador a ficar parado por algum tempo. Essas ocorrências são divididas pelo fator que as originaram (chamadas origem), e cada uma dessas origens são subdivididas em tipos de paradas.

Com a finalidade de diminuir a incidência de ocorrências de paradas, foi feita uma análise estatística das paradas no Laminador 2, bem como suas origens e tipos.

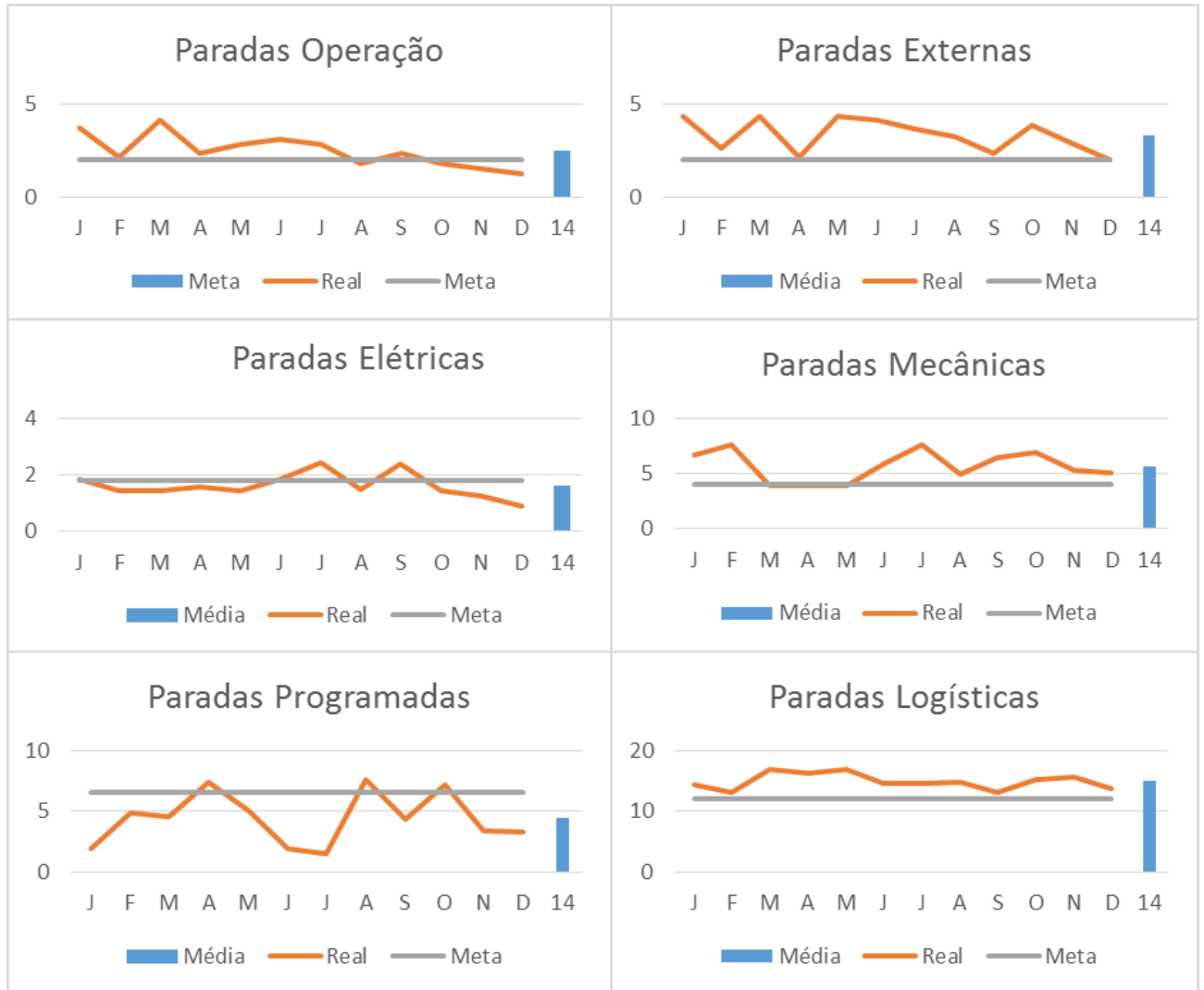
Visando melhor visualização do desempenho do Laminador quanto aos tempos de paradas, leva-se em consideração na análise as paradas acidentais separadas por origens (operação, mecânica, elétrica e externa), além das paradas logísticas e programadas. Logo, a fim de melhor compreender o efeito dessas origens na produtividade do Laminador, busca-se entender a significância de cada uma delas no que diz respeito ao tempo total de paradas.

Primeiramente, é importante salientar que a ocorrência de paradas na produção do Laminador é normal. Cada origem de parada tem uma meta que limita o tempo que o Laminador deveria ficar parado em decorrência daquela origem. O problema começa quando a meta é extrapolada, o que significa que o Laminador está ficando mais parado do que o



planejado. A figura 5 mostra o desempenho de cada origem de parada em relação às respectivas metas nos doze meses de 2014.

FIGURA 05 - Desempenho de Origens em Relação à Meta de Parada



FONTE: Autoria Própria

#### 4.5.1 Significado das Origens de Parada

Sabe-se que cada origem de parada possui uma meta que busca prever e limitar o tempo que o Laminador fica parado. Logo, torna-se necessário identificar quais origens extrapolam de maneira mais significativa a sua meta, de forma a contribuir mais intensamente com as paradas na linha de produção. A Tabela 02 mostra o percentual de paradas de todas as





origens durante os doze meses de 2014 e traça uma comparação entre a média do período e a meta.

TABELA 02 - Percentual de Paradas 2014

Períodos	Operação	Mecânica	Elétrica	Externa	Logística	Programada
jan/14	4,173387	7,110215	1,843638	4,321237	14,39292	1,908602151
fev/14	3,740347	8,209459	1,397201	2,565154	12,70994	4,840733591
mar/14	5,528674	5,969982	1,449373	2,50672	14,59229	4,543010753
abr/14	3,997685	4,388889	1,574074	2,115741	16,25	7,393518519
mai/14	4,285394	5,47491	1,41353	4,330197	16,79435	5,112007168
jun/14	4,606481	8,493056	1,861111	4,108796	14,50926	1,9375
jul/14	3,91353	8,685036	2,452957	3,631272	14,47357	1,503136201
ago/14	2,567204	5,510753	1,487455	3,272849	14,88351	7,638888889
set/14	3,152778	9,775463	2,386574	2,342593	13,07176	4,340277778
out/14	2,531362	7,441756	1,442652	3,017473	15,29122	7,188620072
nov/14	1,918981	5,648148	1,270833	1,31713	15,53472	3,409722222
dez/14	2,009409	5,174731	0,905018	0,329301	13,77016	3,335573477
Meta	3	4	1,8	2	12	6,6
Média	3,535436	6,823533	1,623701	2,821539	14,68948	4,429299235

FONTE: Autoria Própria

A fim de compreender a real contribuição de cada origem para o tempo total de parada, foi calculado o percentual que cada uma das médias esteve diferente das metas. Os resultados são apresentados na tabela 03.

TABELA 03: Percentual de Paradas Diferentes da Meta

Operação	Mecânica	Elétrica	Externa	Logística	Programada
0,178478722	0,705883303	-0,09794366	0,410769328	0,224122997	-0,328894055

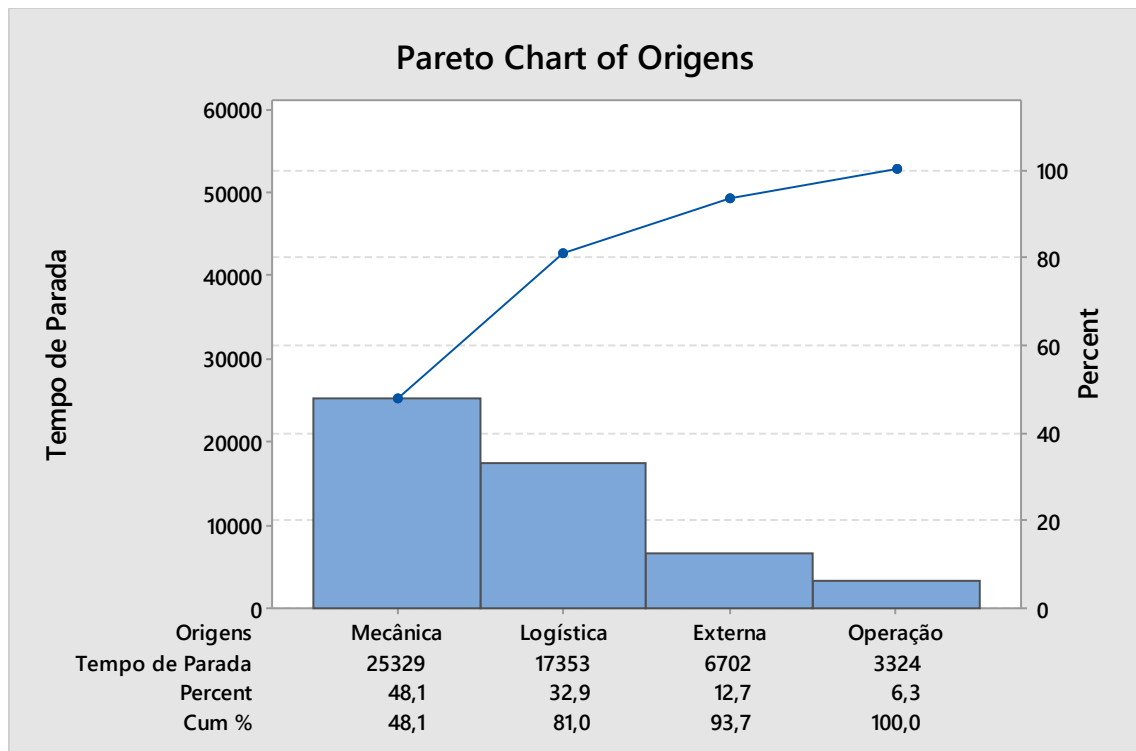
FONTE: Autoria Própria

Nota-se que as origens elétrica e programada apresentaram um percentual negativo acima da meta, o que significa que tais origens respeitaram a meta prevista e não têm influência pelo fato do número de paradas total estar acima do planejado.



Com o intuito de identificar o impacto que cada uma das origens restantes tem no problema “tempo total de paradas”, foi elaborado um Gráfico de Pareto com o número de minutos que as origens excediam suas metas. O gráfico 07 mostra a contribuição de cada origem em minutos para o tempo total de paradas.

GRÁFICO 07 - Gráfico de Pareto dos Minutos Excedentes à Meta



FONTE: Autoria Própria

Analisando o gráfico, pode-se concluir que as paradas de origem mecânica e logística são responsáveis por 80% do tempo de parada acima da meta. Logo, conclui-se que, para solucionar tal problema deve-se concentrar as ações nessas duas origens.

A fim de comprovar a importância das paradas mecânicas e logísticas como principais colaboradoras para o tempo de paradas estar acima do planejado, prejudicando o índice de produtividade, foi feita uma análise de regressão comparando a relação entre o percentual de paradas com a quantidade produzida de fio máquina.

Primeiramente, usou-se os dados de todas as origens durante os doze meses de 2014 e a produção em cada um desses meses. O resultado encontrado foi um coeficiente de correlação  $r^2=0,4892$ . A tabela 04 mostra o resultado da análise de regressão correlacionando todos os percentuais de origens de paradas quanto a produção de fio máquina.



TABELA 04 - Análise de Regressão entre Todas as Origens de Paradas e Produção

Estatística de regressão									
R múltiplo	0,699439666								
R-Quadrado	0,489215846								
R-quadrado ajustado	-0,123725138								
Erro padrão	3141,689066								
Observações	12								
ANOVA									
	gl	SQ	MQ	F	F de significação				
Regressão	6	47267159,69	7877859,948	0,798145105	0,609757189				
Resíduo	5	49351050,93	9870210,185						
Total	11	96618210,62							
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%	
Interseção	70619,51573	25846,52	2,732263984	0,041169181	4178,92089	137060,1106	4178,92089	137060,1106	
Variável X 1	93,00851293	1111,482837	0,083679666	0,9365581	-2764,149077	2950,166103	-2764,149077	2950,166103	
Variável X 2	-1638,731585	1361,053934	-1,204016641	0,282467077	-5137,432104	1859,968934	-5137,432104	1859,968934	
Variável X 3	458,7603954	3713,123683	0,123551068	0,906483705	-9086,127898	10003,64869	-9086,127898	10003,64869	
Variável X 4	-32,2980792	1266,748847	-0,025496829	0,980644982	-3288,579656	3223,983498	-3288,579656	3223,983498	
Variável X 5	-1329,292607	1454,762942	-0,91375204	0,402759244	-5068,879801	2410,294588	-5068,879801	2410,294588	
Variável X 6	113,2987539	505,5876619	0,224093194	0,831553853	-1186,355706	1412,953214	-1186,355706	1412,953214	

FONTE: Autoria Própria

Em seguida foi feito o mesmo processo, porém correlacionando a produção apenas com os dados das paradas logísticas e mecânicas. O resultado encontrado foi um coeficiente de correlação  $r^2=0,4822$ . Na tabela 05 consta os dados e a análise de regressão, correlacionando a produção apenas com os percentuais de paradas mecânica e logística.

TABELA 05 - Análise de Regressão entre Paradas Mecânica e Logística e a Produção

Estatística de regressão									
R múltiplo	0,694425194								
R-Quadrado	0,48222635								
R-quadrado ajustado	0,367165539								
Erro padrão	2357,643917								
Observações	12								
ANOVA									
	gl	SQ	MQ	F	F de significação				
Regressão	2	46591847,05	23295923,52	4,19105641	0,051716575				
Resíduo	9	50028363,57	5558484,841						
Total	11	96618210,62							
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%	
Interseção	70297,53653	14150,5337	4,967836408	0,000772188	38286,80535	102308,2677	38286,80535	102308,2677	
Variável X 1	-1570,789111	546,2056881	-2,875819761	0,018302268	-2806,392221	-335,1860016	-2806,392221	-335,1860016	
Variável X 2	-1237,880847	779,5730949	-1,587895805	0,146772354	-3001,397708	525,6360134	-3001,397708	525,6360134	

FONTE: Autoria Própria

Analisando os coeficientes de correlação encontrados nota-se que, na comparação da variável produção com todas as variáveis de parada e na comparação apenas com as variáveis mais críticas, os índices de correlação são praticamente iguais. Tal análise comprova a importância das duas causas mais significativas (mecânica e logística) para o problema.



Embora tenha-se comprovado nessa pesquisa a relevância das paradas logísticas para o tempo total de paradas, esse trabalho direcionou as atenções unicamente para as paradas mecânicas, pelo fato de que o alto índice de paradas logísticas se justifica pela necessidade de atender a uma carteira de pedidos altamente variada pela atual conjuntura do mercado. As paradas mecânicas, por outro lado, não são previstas e são de origem acidental, logo todo esforço para contê-las é necessário.

#### 4.5.2 Paradas Mecânicas

Uma vez constatada que as paradas de origem mecânica são as de maior impacto no tempo total de parada, buscou-se aprofundar a análise dentro dessa origem, a fim de identificar as causas do elevado número de paradas. Primeiramente, foram levantados os diversos tipos de paradas de origem mecânica que podem ocorrer.

Foram identificados 9 (nove) tipos diferentes de paradas de origem mecânica. Tais tipos permitem identificar quais os equipamentos que mais ocasionam paradas, bem como a parte do processo mais propensa à ocorrência de paradas. Na tabela 06 constam os tipos de paradas mecânicas, juntamente com a soma dos minutos parados durante os doze meses de 2014, bem como os processos aos quais cada tipo pertence.

TABELA 06 - Paradas Mecânicas por Equipamentos e Processos

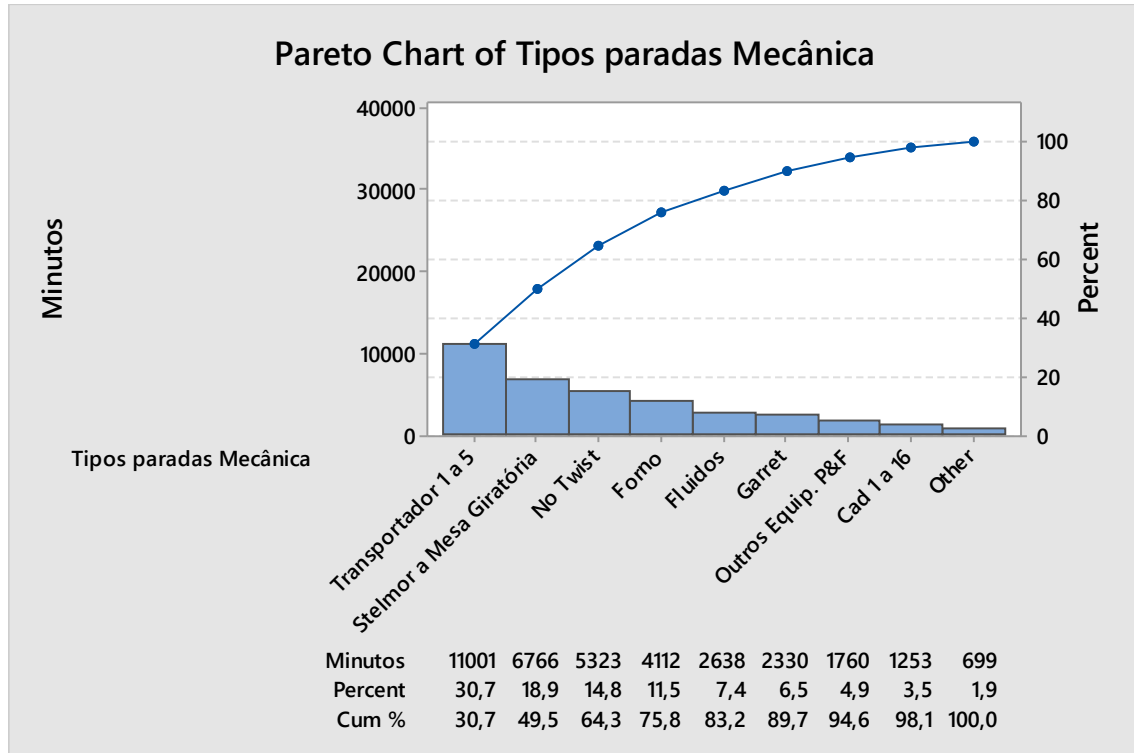
Mecânicas por tipo	Soma minutos 2014	Processo
Paradas Cadeira 1 a 16	1.253	C (Laminação)
Paradas Compactadores	699	E (Manuseio)
Paradas Fluidos	2.638	C (Laminação)
Paradas Forno	4.112	B (Forno)
Paradas Garret	2.330	D (Stelmor)
Paradas No Twist	5.323	C (Laminação)
Paradas Outros Equip. P&F	1.760	E (Manuseio)
Paradas Stelmor a Mesa Giratória	6.766	D (Stelmor)
Paradas Transportador 1 a 5	11.001	E (Manuseio)

FONTE: Autoria Própria

Primeiramente, a fim de priorizar a análise, foi feito um Gráfico de Pareto envolvendo os tipos de paradas mecânicas. O resultado pode ser observado no Gráfico 8.



GRÁFICO 08 - Pareto dos Tipos de Parada Mecânica



FONTE: Autoria Própria

Por meio da análise do gráfico, nota-se que, para solucionar 75,8% das paradas mecânicas, precisa-se focar em apenas quatro dos tipos de paradas. Assim, volta-se a atenção para os quatro tipos de paradas mais frequentes, sendo eles: paradas no Transportador 1 a 5, paradas *Stelmor* à Mesa Giratória, paradas no *Twist* e paradas Forno.

Por meio do Gráfico de Pareto, consegue-se identificar os principais tipos de paradas de origem mecânica, bem como os equipamentos envolvidos nas mesmas. Entretanto, ainda assim é necessário aprofundar no problema, visando identificar as causas reais e, posteriormente, apontar soluções eficazes para a resolução dos mesmos. Dessa forma, foi feita uma análise das paradas mecânicas por processos da laminação e por turmas de trabalhadores.

#### 4.5.2.1 Análise das Paradas Mecânicas por Processo

Conforme explicado anteriormente, a atividade de laminação é dividida em quatro processos e cada um deles tem uma letra atribuída, com o intuito de facilitar a identificação.



São eles: B (Forno), C (Laminação), D (*Stelmor*) e E (Manuseio). A Tabela 07 mostra os minutos de paradas em cada processo, de janeiro a dezembro de 2014.

TABELA 07 - Minutos de Parada Mecânica por Processo

PARADAS MECÂNICAS POR PROCESSO				
Mês	B (Forno)	C (Laminação)	D (Stelmor)	E (Manuseio)
JAN	292	748	457	1677
FEV	302	1134	921	1045
MAR	608	493	840	724
ABR	52	588	232	1024
MAI	194	869	862	519
JUN	159	1388	519	1603
JUL	583	893	1368	1033
AGO	547	569	609	735
SET	143	1899	1006	1175
OUT	447	229	1402	1244
NOV	231	347	378	1484
DEZ	554	57	502	1197

FONTE: Autoria Própria

Para identificar qual processo está com o número de paradas em situação mais crítica, foi feita uma Análise de Variância, a um nível de significância 5% (0,05), comparando as médias dos tempos de parada dos quatro processos da laminação. O resultado é mostrado na tabela 08.

TABELA 08 - Resultados da ANOVA para Paradas Mecânicas por Processo

Análise de Variância - Paradas mecânicas por processo					
Ho: Todas as médias são iguais			H <sub>1</sub> : Pelo menos uma média é diferente		
α = 0,05					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	3652973	1217658	8,5	0
Error	44	6304959	143295		
Tota	47	9957932			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)		
378,543	36,68%	32,37%	24,65%		

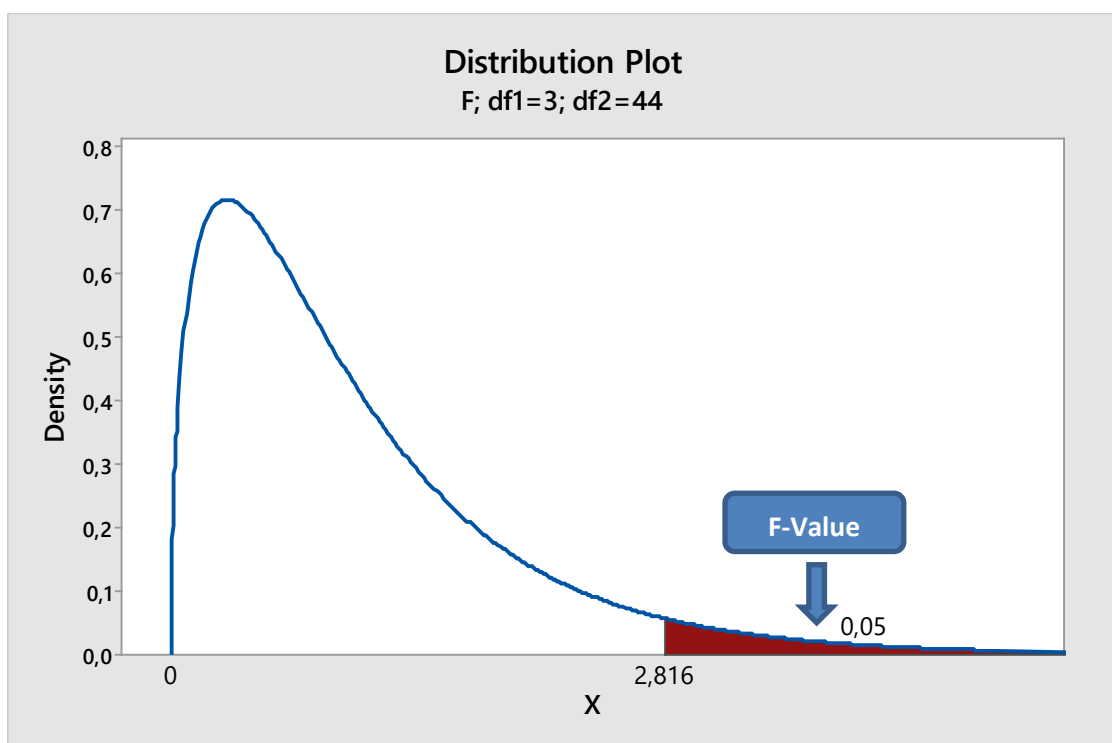
FONTE: Autoria Própria



Conforme verificado na Tabela 8, foi encontrado um P-Value = 0, ou seja, menor que o grau de significância 5% (0,05) adotado no teste. Dessa forma, conclui-se que a hipótese nula ( $H_0$ ) deve ser rejeitada.

Verificando também o parâmetro F-Value = 8,5, nota-se que o mesmo é superior ao F-Tabelado, estando dentro da área crítica, conforme pode-se observar na figura 6.

FIGURA 06 - F-Value para Paradas Mecânicas por Processo



FONTE: Autorial Própria

Por fim, por meio dos parâmetros F-Value e P-Value, confirma-se que a hipótese nula deve ser rejeitada, ou seja, pelo menos uma das médias dos minutos de parada de cada processo é significativamente diferente.

Uma vez confirmado que pelo menos uma das médias das paradas por processo são estatisticamente diferentes, torna-se necessário saber qual o processo mais significativo para o problema. Para isso foi feito um Teste de Tukey, que comparou as médias quanto a sua magnitude. O resultado é mostrado na tabela 09.



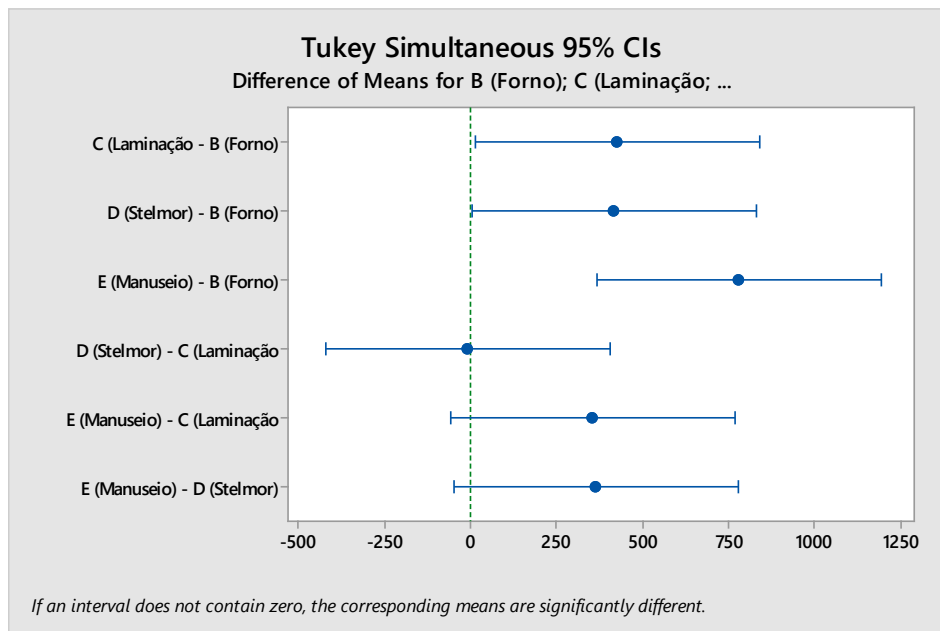
Tabela 09 - Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Processo

Teste de Tukey - Paradas mecânicas por processo			
Fator	N	Média	Grouping
E (Manuseio)	12	1122	A
C (Laminação)	12	768	A
D (Stelmor)	12	758	A
B (Forno)	12	342,7	B

FONTE: Autorial Própria

A tabela 09 apresenta a comparação das médias de paradas por processo, realizada por meio do Teste de Tukey. Conforme previsto pelo método utilizado, caso as médias não compartilhem a mesma letra, elas são significativamente diferentes. O resultado é evidenciado no gráfico 09.

GRÁFICO 09 - Resultado do Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Processo



FONTE: Autorial Própria

O gráfico de Tukey mostra a comparação das médias feitas uma a uma. Se o intervalo entre as médias não conter zero, conclui-se que as médias são significativamente diferentes. Dessa forma, constata-se que as médias dos processos E-B são estatisticamente diferentes;





constata-se ainda que os processos D-B e C-B, embora menos significativamente, também possuem médias estatisticamente diferentes.

#### 4.5.2.2 Análise das Paradas Mecânicas por Turma

Os funcionários responsáveis pela atividade de laminação são divididos em quatro turmas (A, B, C e D). Tais turmas trabalham em turnos diferentes. É importante manter o controle dos minutos de paradas por turmas, de forma a saber se alguma delas contribui de maneira mais significativa que as outras, quanto ao tempo total de parada. Para isso, foi feita uma análise estatística, semelhante à usada com os processos, com os dados das turmas. A Tabela 10 traz os minutos de paradas de cada uma das quatro turmas de janeiro a dezembro de 2014.

TABELA 10 - Minutos de Parada Mecânica por Turma

PARADAS MECÂNICAS POR TURMA				
Mês	A	B	C	D
JAN	611	955	776	643
FEV	749	770	796	775
MAR	578	643	489	691
ABR	437	299	311	634
MAI	300	493	524	435
JUN	361	476	1203	507
JUL	636	911	837	1036
AGO	388	724	589	508
SET	543	574	647	1042
OUT	604	958	459	1083
NOV	380	799	293	849
DEZ	376	294	663	952

FONTE: Autoria Própria

Foi feita uma Análise de Variância, a um nível de significância 5%, (0,05) com o intuito de comparar as médias dos minutos de parada das quatro turmas. O resultado pode ser observado na tabela 11.



TABELA 11 - Resultados da ANOVA para Paradas Mecânicas por Turma

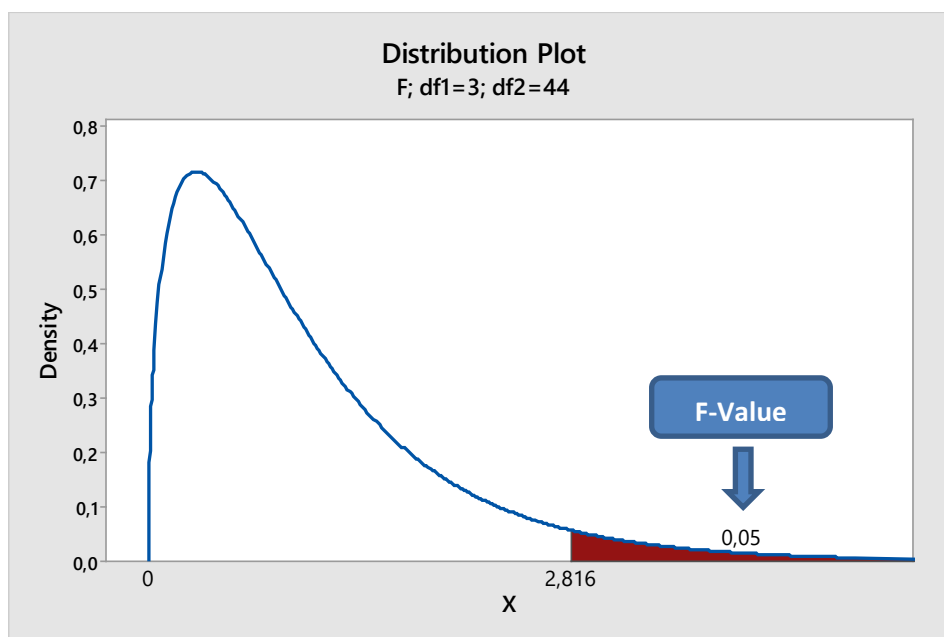
Análise de Variância - Paradas mecânicas por turma					
Ho: Todas as médias são iguais			H1: Pelo menos uma média é diferente		
$\alpha = 0,05$					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	431290	143763	3,02	0,04
Error	44	2096206	47641		
Tota	47	2527496			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)		
218,268	17,06%	11,41%	1,30%		

FONTE: Autorial Própria

Observa-se que o P-Value encontrado é igual a 0,04, ou seja, menor que o grau de significância de 5% usado no teste. Assim, conclui-se que a hipótese nula deve ser rejeitada.

Analisando também o F-Value = 3,02, observa-se que o valor encontrado é maior que o F-Tabelado, estando dentro da área da área crítica. A figura 7 mostra a área crítica, se iniciando a partir do F-Tabelado = 2,816.

FIGURA 07 - F-Value para Paradas Mecânicas por Turma



FONTE: Autorial Própria



Analisando os parâmetros F-Value e P-Value, conclui-se que a hipótese nula deve ser rejeitada, ou seja, pelo menos uma das médias de parada das turmas é significativamente diferente.

Torna-se então necessário verificar qual turma tem a média de parada mais significativa. Para isso foi usado o Teste de Tukey, cujo resultado é mostrado na tabela 12.

TABELA 12 - Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Turma

<b>Teste de Tukey - Paradas mecânicas por turma</b>			
Fator	N	Média	Grouping
D	12	762,9	A
B	12	658	A B
C	12	632,3	A B
A	12	496,9	B

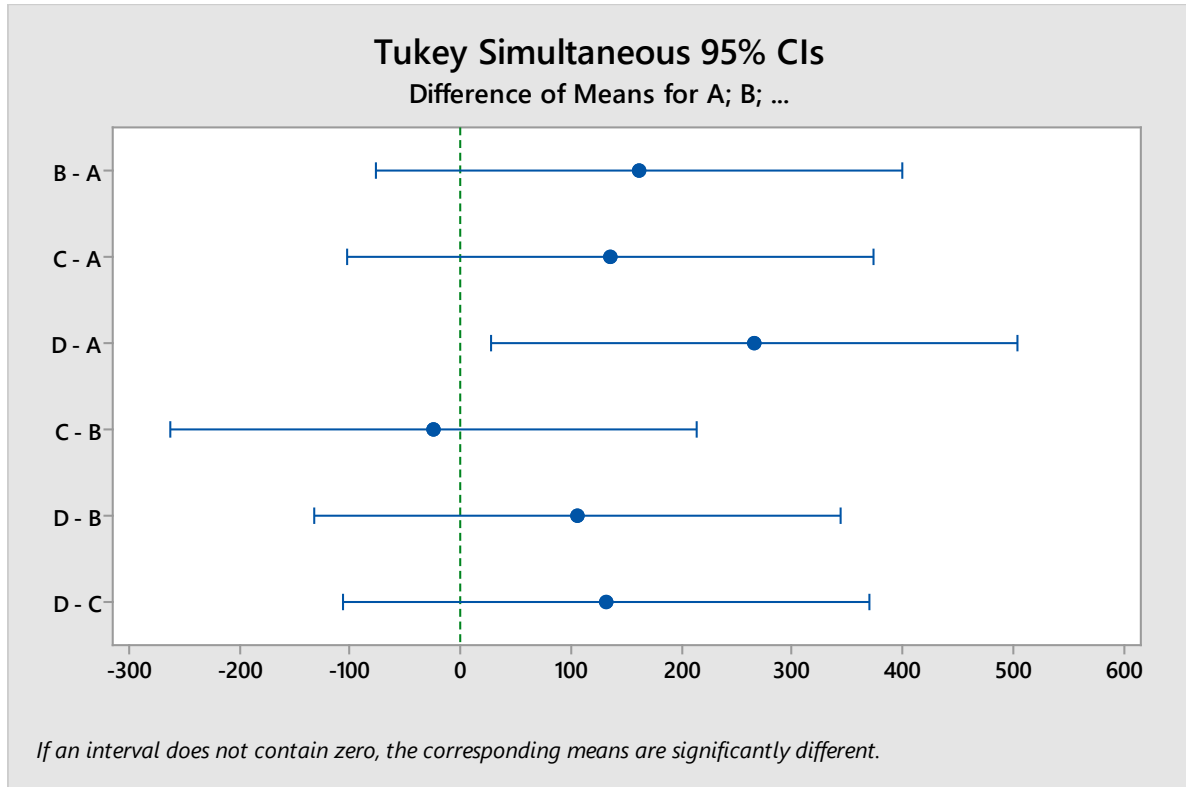
FONTE: Autorial Própria

Observando a tabela, nota-se que a turma D se destaca por ser a maior contribuinte com o tempo de paradas, enquanto a turma A é a turma que menos tempo fica parada. As turmas B e C encontram-se no meio e são consideradas estatisticamente iguais, tanto a turma D quanto a A. Observa-se porém que as médias de parada das turmas D e A são estatisticamente diferentes.

No gráfico 10, observa-se a comparação entre as médias, feitas uma a uma. Nota-se que o intervalo entre a média das turmas D e A não contém zero. Logo, conclui-se que as médias do tempo de parada dessas duas turmas são estatisticamente diferentes.



GRÁFICO 10 - Resultado do Teste de Tukey para Paradas Mecânicas por Turma



FONTE: Autoria Própria

#### 4.5.2.3 Resumo dos Resultados

A fim de melhor entendimento da pesquisa, todos os resultados encontrados após a análise estatística foram colocados em uma tabela. A tabela 13 foi organizada com o intuito de priorizar a realização de ações preventivas e corretivas direcionadas a cada causa. Ela está orientada por equipamentos, processos e turmas. Para a identificação do grau de prioridade de cada causa, foram realizadas reuniões com operadores e com o facilitador da qualidade do Laminador 2. Os graus de prioridade vão de 1 a 3, sendo 1 o mais urgente e 3 o menos urgente.

TABELA 13 - Matriz Prioridade de Causas de Paradas Mecânicas

Matriz Prioridade para Resolução de Problemas Mecânicos					
Por equipamentos	Prioridade	Por processo	Prioridade	Por turma	Prioridade
Transportador 1 a 5	1	E	1	D	1
Stelmor e mesa giratória	1	D	1	B	2
No twist	1	C	1	C	2
Forno	3	B	3	A	3

FONTE: Autoria Própria



Por meio da análise da tabela, nota-se que os equipamentos do Transportador 1 a 5, do *Stelmor* e mesa giratória e *No Twist* serão prioridades na proposição de soluções, tendo em vista que tem contribuição mais significativa em minutos para o tempo total de paradas mecânicas e estão em processos comprovadamente mais críticos para a laminação. Já o Forno tem grau de prioridade 3 pelo fato de sua contribuição para o tempo de paradas ser menos significativo e por fazer parte de um processo que foi comprovado como menos relevante para o tempo total de paradas mecânicas.

No que diz respeito aos processos, tem-se os processos E (Manuseio), D (*Stelmor*) e C (Laminação) com grau de prioridade 1, pelo fato de que todos eles tem equipamentos que estão contribuindo amplamente para o tempo total de paradas; ainda foi constatada a relevância desses processos junto ao tempo de paradas mecânicas na atividade de laminação. O processo B, porém, tem grau de prioridade 3 pelo fato de se ter comprovado a maior relevância dos outros processos para com o problema de pesquisa.

Quanto às turmas, foi comprovada a maior relevância da turma D, logo ela terá prioridade 1 na proposição de soluções e implementação de treinamentos. As turmas B e C foram diagnosticadas como tendo contribuição intermediária quanto ao problema, logo tem grau de prioridade 2. Já a turma A, ainda que também terá atenção quanto a proposição de soluções, tem grau de prioridade 3.

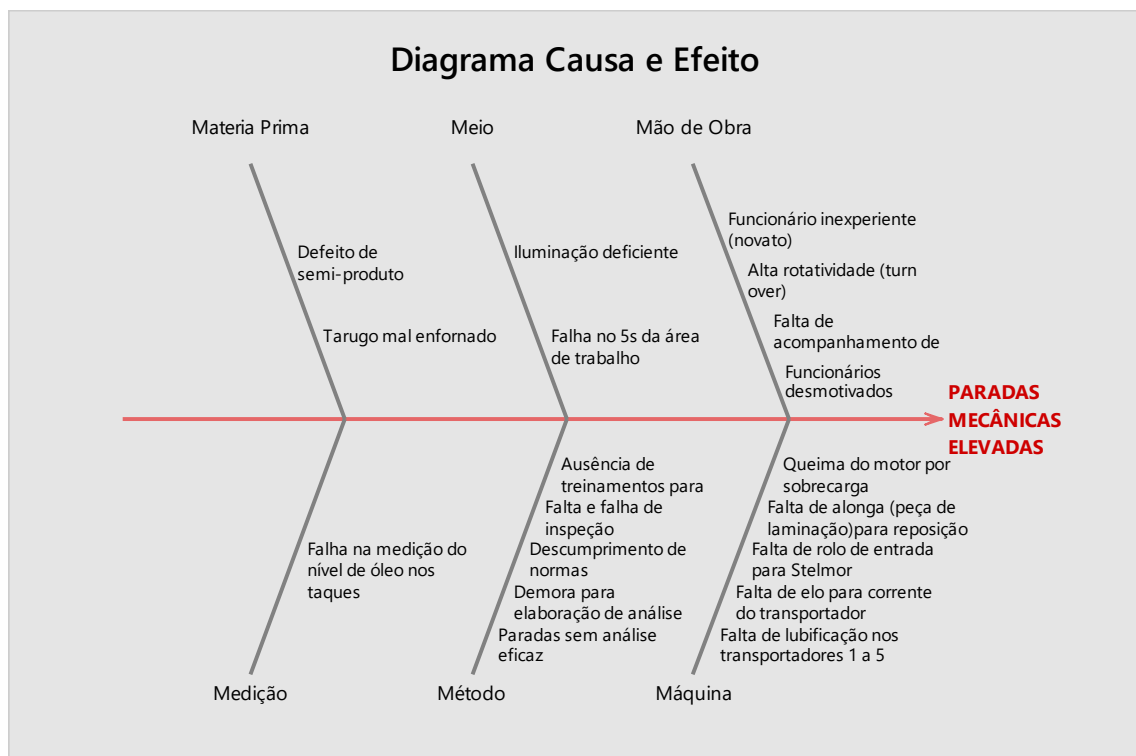


## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o intuito de verificar as principais causas para o número de paradas mecânicas estarem elevadas, foi utilizado o Diagrama de Causa e Efeito. O objetivo da ferramenta é identificar e organizar as causas secundárias do problema, a partir das já conhecidas causas primárias de todos os problemas na indústria. As causas primárias normalmente se iniciam com a letra M e por isso são chamadas de 6M: Medição, Matéria Prima, Mão de Obra, Meio Ambiente, Método e Máquina.

A figura 08 mostra as causas levantadas acerca do problema. Os dados foram obtidos por meio de reuniões com o facilitador da qualidade e com os próprios operadores e supervisores da laminação.

FIGURA 08 - Diagrama de Causa e Efeito das Paradas Mecânicas Elevadas



FONTE: Autorial Própria

Tem-se, então, os fatores responsáveis pelo problema estudado. Torna-se necessário criar soluções para corrigi-los e incorporá-los à rotina da empresa, para que de fato melhorem o processo. Para isso foi utilizado uma adaptação da ferramenta 5W2H.



Cada uma das causas levantadas no Diagrama de Causa e Efeito foi destrinchada, alimentando seis tabelas que organizam ações de um plano que visa reduzir o número de paradas mecânicas no Laminador. As tabelas de 14 a 19 foram divididas respeitando as causas primárias de tal diagrama.

Para investigar as causas e propor ações foi usada a metodologia do 5W2H de forma adaptada para o 5W1H. A pergunta “*How Much*”, referente ao custo de cada ação, não foi levada em conta, uma vez que o foco do trabalho é levantar soluções para o problema, independentemente do custo que o projeto de execução terá.

Foram incorporadas à tabela do 5W1H duas colunas que visam identificar qual o equipamento e qual o processo de laminação a ação irá atacar, de maneira a facilitar a visualização de que o plano atende aos problemas identificados na análise estatística do problema.

Os campos Quem, Onde e Quando, referentes ao responsável por executar a ação, onde a ação será feita e o prazo, não foram preenchidos, uma vez que o objetivo do trabalho é levantar e propor soluções. Para execução deste plano, essas perguntas devem ser respondidas.

TABELA 14 - Plano de Ação para Mão de Obra

Equipamento	Processo	Causa	Mão de Obra					
			Por que	O que	Como	Quem	Onde	Quando
Todos	Todos	Funcionário inexperiente (novato)	Grande número de aposentadorias	Programar aposentadorias ao longo do ano - Plano de Sucessão	Realizar estudos dos futuros funcionários a aposentar			
Todos	Todos	Alta rotatividade (turn over)	Baixa adaptação dos novatos na função	Melhorar processo seletivo de contratação	Criar critérios e competências para direcionar para os cargos			
Todos	Todos	Falta de acompanhamento de novatos	Quadro de funcionários enxuto – Falta de tempo para acompanhar novatos	Contratar aposentados para dar treinamento dos funcionários on the job	Fazer proposta para aposentados e programar treinamentos			
Todos	Todos	Funcionários desmotivados	Falta de clareza quanto ao plano de carreira	Mostrar a todos os funcionários do laminador a existencia do plano de carreira e sua acenssão	Criar uma etapa no treinamento introdutório para explicação e informar periodicamente o andamento do desenvolvimento do empregado - feedback			
			Falta de adapabilidade à função	Melhorar processo seletivo de contratação	Criar critérios e competências para direcionar para os cargos			

FONTE: Aatoria Própria



TABELA 15 - Plano de Ação Máquina

Máquina								
Equipamento	Processo	Causa	Por que	O que	Como	Quem	Onde	Quando
Transportadores	E	Falta de lubrificação nos transportadores 1 a 5	Falta de plano eficiente de acompanhamento de inspeção nos equipamentos	Melhorar plano existente tornando-o eficiente.	Estudar variáveis de processos equipamentos para monitorar necessidade de lubrificação periódica			
Transportadores	E	Falta de elo para corrente do transportador	Ausência de plano de reposição de peças críticas	Estudar viabilidade de fornecedores para suprir estoque de peças reservas com rapidez e baixo custo	Pesquisar no mercado a existência de fornecedores de confiança e outras unidades e estabelecer relação de confiança com o mesmo			
Stelmor	D	Falta de rolo de entrada para Stelmor		Programar junto ao setor de Suprimentos a compra de peças reservas	Estudar a manutenção periódica dos equipamentos e emitir relatório de pedidos para compra			
Cadeiras 1 a 16 - No twist	C	Falta de alonga (peça que sustenta o cilindro de laminação) para reposição		Criar plano específico para situações emergenciais de compra de peças críticas	Fazer relação de todos os equipamentos e peças críticas e monitorar demanda por essas peças			
Cadeiras 17 a 28 - No twist	C	Barulho anormal nos blocos causando queima do motor por sobrecarga	Falta e falha na inspeção do funcionamento do bloco	Refazer plano de inspeção e torna-lo mais rigoroso	Elaborar check list com passo a passo a ser cumprido durante inspeção dos blocos			

FONTE: Aatoria Própria

TABELA 16 - Plano de Ação Meio

Meio								
Equipamento	Processo	Causa	Por que	O que	Como	Quem	Onde	Quando
Todos	Todos	Iluminação deficiente	Lâmpadas queimadas e ausência de reposição eficiente	Criar meio de comunicação entre os operadores e gerencia para providenciar troca	Incluir seção no relatório de turno onde os funcionários possam fazer pedido de compra de lâmpadas			
Todos	Todos	Falha no 5s da área de trabalho	Falta de disseminação e cobrança da cultura volta para os 5 sentidos da ferramenta 5s	Criar a cultura motivacional voltada para 5s e criação de um sistema que monitore o cumprimento das determinações de organização	Elaboração de um cronograma de atividades a serem cumpridas por todos funcionários			

FONTE: Aatoria Própria





TABELA 17 - Plano de Ação Método

Método								
Equipamento	Processo	Causa	Por que	O que	Como	Quem	Onde	Quando
Todos	Todos	Paradas sem análise eficaz	Falta de treinamento nas ferramentas de análise de anomalia para supervisores e operacional	Programar treinamento direcionado em casos práticos da área sobre como se analisar uma parada	Programar junto setor de gestão da qualidade, treinamentos para supervisores e operacional			
Todos	Todos	Demora para elaboração de análise das paradas	Falta de cobrança da gerencia do laminador quanto a elaboração de análise de paradas	Implementar cobrança das análises de paradas	Cobrar andamento das análises de parada nas reuniões semanais do laminador			
Todos	Todos	Descumprimento de normas	Falta de conhecimento da norma	Realizar treinamentos	Treinamento detalhado para funcionários novatos e reciclagem periódica para todos os funcionários			
Todos	Todos	Falta e falha de inspeção	Funcionários novatos e inexperientes para realizar inspeção	Treinar novatos para realizar inspeção e alocar funcionários experientes para acompanhar a tarefa	Levantar equipamentos mais críticos e mecânicos mais inexperientes e criar cronograma de forma que os equipamentos criticos sejam inspecionados por funcionários experientes e que os funcionarios inexperientes sejam treinados			
Todos	Todos	Ausência de treinamentos para funcionários na tarefa - on the job	Falta de tempo devido à alta rotatividade entre funções	Melhorar seleção de funcionários para a atividade	Identificar competências chave durante o processo seletivo que guiem o direcionamento do funcionário para sua atividade			
				Incorporar ao treinamento inicial um período on the job	Realizar acompanhamento do novo funcionário por um período durante a execução da tarefa			

FONTE: Autoria Própria

TABELA 18 - Plano de Ação Matéria Prima

Materia Prima								
Equipamento	Processo	Causa	Por que	O que	Como	Quem	Onde	Quando
Forno	B	Defeito de semi-produto	Enfornamento não conforme e sem inspeção	Melhorar inspeção durante infornamento dos tarugos	Capacitar funcionários para execução da atividade de enfornamento de tarugos			
Forno	B	Tarugo mal enfornado	Falta de inspeção visual do enfornamento - Falta de atenção do forneiro					

FONTE: Autoria Própria

TABELA 19 - Plano de Ação Medição

Medição								
Equipamento	Processo	Causa	Por que	O que	Como	Quem	Onde	Quando
No twist	C	Falha na medição do nível de óleo nos taques	Inexperencia de funcionarios. Medição incorreta	Funcionários experiente junto com funcionário novato na execução de tarefas criticas	Mapear tarefas críticas e instruir que as mesmas sejam feitas em conjunto por funcionários novatos e antigos			

FONTE: Autoria Própria



O resultado da utilização do 5W1H é a criação de um plano de ação orientado pelo diagrama de causa e efeito que visa corrigir cada uma das causas levantadas e por fim minimizar a ocorrência dos problemas apurados na análise estatística da atividade de laminação. Dessa forma, a execução desse plano de ação tem como principal meta solucionar problemas do gargalo do processo de laminação a fim de melhorar o uso do tempo, a produção e conseqüentemente a produtividade.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização dessa pesquisa evidencia a necessidade de se entender e mensurar processos industriais. A utilização de ferramentas do controle estatístico da qualidade é essencial para garantir a eficiência de operação e, conseqüentemente, manter a empresa em boas condições de produção, baixo custo e competitividade no mercado.

Para conduzir essa pesquisa, foi necessário um aprofundamento teórico em ferramentas do controle estatístico da qualidade e acerca do processo produtivo siderúrgico, sobretudo a laminação. Foi também necessário entender os indicadores por meio dos quais a atividade da laminação é controlada, levantando as causas da produtividade estar abaixo da meta. Além disso, o conhecimento da empresa, dos processos internos e a participação do dia-a-dia da operação foram fundamentais na análise e desenho de conclusões.

Em um primeiro momento buscou-se levantar informações acerca da empresa, do setor siderúrgico e da atividade de laminação. Era necessário entender o processo e como ele era mensurado. Em seguida, buscou-se levantar e entender os principais tipos de parada na linha de produção da laminação.

Para comprovar a existência do problema, os indicadores do Laminador 2 foram estratificados em gráficos. Primeiramente, foi demonstrado como a produção em toneladas estava abaixo do esperado, bem como o indicador de eficiência (que compara a produção real com a esperada). Em seguida, foi demonstrado que o tempo para produção não era bem aproveitado devido ao excesso de paradas, assim como o a taxa de utilização (relação entre tempo disponível para produção e tempo usado para produção). Ao fim dessa etapa, tem-se o gráfico da produtividade, mostrando que esse indicador também esteve abaixo durante o período da pesquisa.

Uma vez comprovado que a produtividade do Laminador estava abaixo da meta, devido ao excesso de paradas, as atenções foram voltadas para a identificação das origens de paradas mais significativas para o problema. Dessa forma, foi exposto o percentual das seis origens de paradas (operação, mecânica, elétrica, externa, logística e programada) durante o ano de 2014 e a média dos doze meses foi comparada à meta de cada origem. O resultado dessa comparação foi uma tabela que mostra o percentual de cada origem, evidenciando as diferenças (para mais ou para menos) da meta. Por meio dessa comparação, as paradas de origem programada e elétrica foram excluídas da análise, pelo fato de estarem respeitando o limite da meta. O próximo passo foi quantificar o percentual de cada origem restante na



análise, que estava acima da meta. Os valores foram expostos por meio de um Gráfico de Pareto, comprovando que as origens mecânicas e logísticas são extremamente significativas para o alto índice de paradas e, conseqüentemente, a baixa produtividade.

Outra forma de comprovar a relevância das paradas de origem mecânica e logística foi a Análise de Regressão. A produção em toneladas do Laminador foi comparada primeiramente com o percentual de todas as origens de paradas e, em seguida, com o percentual apenas das duas origens mais relevantes (mecânica e logística). O resultado foi um coeficiente de correlação praticamente igual em ambas análises. Isso comprova que o desempenho do Laminador em produção depende quase que exclusivamente das paradas de origem mecânica e logística.

Foi decidido então focar nas paradas de origem mecânica, tendo em vista que o mercado estava extremamente volátil e as paradas de origem logística são essenciais, para que se consiga atender a uma carteira de pedidos tão variável.

Na análise das paradas mecânicas, buscou-se verificar quais equipamentos eram mais recorrentes na apresentação de defeitos. Para isso foi feito um Gráfico de Pareto mostrando os minutos de parada mecânica de cada equipamento. Além disso, buscou-se verificar qual o processo da atividade de laminação e qual a turma de operadores contribuía mais para o tempo de paradas mecânicas. Diante disso, foi feita uma Análise de Variância para comparar as médias de paradas entre os processos e turmas. Para verificar o processo e turma mais críticos, foi feito o Teste de Tukey, que mostrou quais as turmas e processos eram mais significantes para o problema. Para concluir a análise, foi elaborada uma tabela que buscou priorizar os fatores levantados na análise.

Após conhecer o processo e apurar as causas do problema, foi possível propor soluções, bem como a criação de um plano de ações com o intuito de sanar o problema. Nessa etapa foi usado um Diagrama de Causa e Efeito para levantar as causas das paradas mecânicas estarem acima do previsto. Cada causa foi analisada e, posteriormente, criada uma ação correspondente.

Por fim, após compreender e levantar informações qualitativas e quantitativas acerca da atividade de laminação, foi possível propor soluções efetivas na resolução do problema, o que mostra o alcance dos objetivos inicialmente propostos nesse trabalho. A aplicação de tais planos de ação é de grande valia na indústria no que diz respeito a otimização do uso do tempo visando a sobrevivência junto ao competitivo mercado siderúrgico.



## 6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Durante a realização da pesquisa ficou comprovado que as quatro turmas de operadores (A, B, C e D) contribuem de maneira diferente com o tempo total de paradas mecânicas no Laminador 2. No presente trabalho não foi possível a realização de um estudo aprofundado em relação às turmas. Dessa forma, fica como sugestão para trabalhos futuros a análise do desempenho das turmas em relação às paradas na produção do Laminador, buscando levantar informações sobre os trabalhadores, sobre a distribuição de turnos de trabalho, entre outros fatores que fazem com que as turmas tenham desempenho diferente quanto ao tempo de paradas.



## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Disponível em <<http://www.abmbrasil.com.br/>>. Acesso em 15 novembro 2015.

CROSSETI, P. A.; FERNANDES, P. D. **Para onde vai a China? O impacto do crescimento chinês da siderurgia brasileira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 22, 151-204, 2005.

DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, A. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Ciência Aplicada**. Blumenau, v. 2, n. 04, p. 01-13, 2008.

FALCONI, V. **TQC – Controle da Qualidade Total (No Estilo Japonês)**. 8.ed. Belo Horizonte: EDG, 1999.

\_\_\_\_\_. **TQC – Controle Total da Qualidade**. 2.ed. Minas Gerais: INDG, 2004. 256 p.

FONSECA, P.; CARVALHO, P.; SILVA, M. **Perspectivas do investimento 2010-2013. Investimentos na Siderurgia Brasileira**, 2011.

Instituto Aço Brasil. **O aço: processo siderúrgico**. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--introducao.asp>>. Acesso em 15 novembro 2015.

KING, N.; LIMA, E., COSTA, S. **Produtividade sistêmica: conceitos e aplicações**. 2005. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132014000100013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132014000100013)>. Acesso em 15 novembro 2015.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

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.

PAESE, C.; CATEN, C. T.; RIBEIRO, J. L. D. Aplicação da análise de variância na implantação do CEP. **Produção**, v. 11, n. 1, p. 17-26, 2001.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. 10 ed. São Paulo: Cultrix, 2003.

SHIMIZU, M.; WAINAI K.; AVEDILLO-CRUZ, E. *Value added productivity measurement and its practical applications with linkage between productivity and profitability*. Tokyo: Japan Productivity Center for Socio-Economic Development, 1997. 223 p.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

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.