



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

PEDRO VICTOR BRITO DA ROCHA

**ESTUDO DE REDUÇÃO DE CUSTO COM PEÇAS DE MÁQUINAS DE FABRICAR  
TRELIÇA UTILIZANDO O MÉTODO MASP**

Recife

2024

PEDRO VICTOR BRITO DA ROCHA

**ESTUDO DE REDUÇÃO DE CUSTO COM PEÇAS DE DESGASTE DE MÁQUINAS  
DE FABRICAR TRELIÇA UTILIZANDO O MÉTODO MASP**

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

Orientador: Prof. Dr. Edval Gonçalves de Araújo

Recife

2024

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

Rocha , Pedro Victor Brito da.

Estudo de redução de custo com peças de máquinas de fabricar treliça  
utilizando o método masp / Pedro Victor Brito da Rocha . - Recife, 2024.  
60 p. : il., tab.

Orientador(a): Edval Gonçalves de Araújo

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

Inclui referências.

1. MASP. 2. Trefila. 3. Ferramentas da qualidade. 4. Siderurgia. 5. Treliças.  
I. Araújo, Edval Gonçalves de . (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

**ESTUDO DE REDUÇÃO DE CUSTO COM PEÇAS DE DESGASTE DE MÁQUINAS  
DE FABRICAR TRELIÇA UTILIZANDO O MÉTODO MASP**

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

Aprovado em: 27/03/2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Edval Gonçalves de Araújo (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Oscar Olímpio Araújo Filho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Magda Rosângela Santos Vieira (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico este trabalho ao meu avô, que se fez tão presente em minha formação, sempre dando todo apoio e suporte que precisei. Essa conquista é nossa.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus pais, Catharina e Luciano, por toda dedicação ao meu desenvolvimento e por sempre apoiarem os meus sonhos.

Aos meus avós Pedro, Lindinalva, Iara e Severino, por todos os conselhos e companheirismo. À minha irmã Maria Eduarda, que me enche de esperança mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha namorada, por todo apoio, carinho e encorajamento que me foi dado durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Edval Gonçalves de Araújo, por sua paixão pela engenharia de materiais e seu compromisso pela excelência acadêmica que tanto me inspiraram durante minha formação.

À Gerdau pela oportunidade e aprendizados adquiridos durante a condução do projeto.

Aos meus amigos e demais familiares, por fazerem da vida um pouco mais bela a cada dia.

## RESUMO

A produção de aço no Brasil representa uma importante fonte de renda para a nação, além de impulsionar outros setores industriais e da construção. Tendo em vista essa relevância do setor siderúrgico, é notável a importância da manutenção da competitividade da produção de aço brasileiro em relação ao mercado global. O presente trabalho objetivou unir conhecimentos da engenharia de materiais e de ferramentas da qualidade, como a metodologia MASP, para auxiliar na redução de custos da produção de usina siderúrgica no estado de Pernambuco. Foram seguidos os 8 passos da metodologia MASP, tendo como problemática em foco o gasto com peças de máquinas no setor de trefilação. Na etapa de identificação, foi definido que o projeto se concentraria no maquinário de produção de treliças, que apresentava um gasto relativamente mais acentuado que as outras áreas. O trabalho seguiu para observação das etapas de solicitação, recebimento e utilização das peças, contando com análises desses processos, além da análise da qualidade dos materiais quanto à dureza e composição química. A causa raiz dos problemas encontrados foi caracterizada utilizando ferramentas como diagrama de causa e efeito e método dos 5 porquês. Partindo do resultado das análises, foram planejadas e executadas ações para atacar a causa raiz dos problemas identificados, englobando melhorias processuais e utilização de fundamentos do 5S. Os resultados obtidos na fase de checagem mostram que as atividades realizadas tiveram êxito em trazer uma redução de gasto com peças, tornando o processo de produção das treliças mais sustentável economicamente.

Palavras-chave: MASP; Treliças; Trefila; Ferramentas da qualidade; Siderurgia

## ABSTRACT

Steel production in Brazil represents an important source of income for the nation, in addition to having a positive influence on other industrial and construction sectors. Given this relevance of the steel sector, the importance of maintaining the competitiveness of Brazilian steel production in relation to the global market is notable. The present work aimed to combine knowledge of materials engineering and quality tools, such as the Quality storyboard methodology, to help reduce production costs at a steel plant in the state of Pernambuco. The 8 steps of the Quality storyboard methodology were followed, focusing on the expense on machine parts in the wire drawing sector. In the identification stage, it was defined that the project would focus on steel truss production machinery, which had a relatively higher cost than other areas. The work continued to observe the stages of requesting, receiving and using the machine parts, including analyzes of these processes and of the quality of the materials. The root cause of the problems found was characterized using tools such as the cause and effect diagram and the 5 whys method. Based on the results of the analyses, actions were planned and executed to attack the root cause of the identified problems, encompassing procedural improvements and use of 5S fundamentals. The results obtained in the checking phase show that the activities carried out were successful in reducing spending on parts, making the steel truss production process more economically sustainable.

Palavras-chave: Quality storyboard; Steel truss; Wire drawing; Quality tools; Steel production.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de treliça produzida pela Gerdau.....	9
Figura 2 - Fluxograma dos principais tipos de processos siderúrgicos atuais.....	12
Figura 3 - Lingotamento contínuo.....	14
Gráfico 1-Esquema didático da temperatura ideal para laminação.....	15
Figura 4 - Exemplo de trefila clássica.....	17
Figura 5 - Exemplo de conjunto de cassetes laminadores RO e RT.....	19
Figura 6 - Parâmetros importantes para produção de treliças.....	20
Figura 7 - Esquema do funcionamento dos roletes endireitadores.....	21
Figura 8 - Demonstração de dois arames de aço sendo caldeados.....	22
Figura 9 - Esquematisação das etapas do MASP dividindo-as por fase PDCA .....	24
Gráfico 2- Comparação ano a an do gasto com peças entre diferentes setores.....	21
Gráfico 3- Distribuição de Pareto das peças das máquinas de treliça.....	32
Gráfico 4- Crescimento exponencial do gasto com inserto da base da régua.....	33
Quadro 1 - Tabela de material e propriedade das peças com custo crescente.....	34
Figura 10 - Insertos do suporte da régua de lotes distintos.....	35
Quadro 2 - Resultados do ensaios de dureza dos insertos do suporte da régua.....	35
Quadro 3 - Resultado dos ensaios de composição química dos incertos.....	36
Figura 11 - Superfície de fratura observada nas Régua do banzo superior.....	38
Quadro 4 - Resultados dos ensaios de composição química da Régua.....	39
Figura 12 - Diagrama de causa e efeito dos pontos observados.....	40
Quadro 5 - Tabela dos cinco porquês .....	41
Figura 13 - Exemplificação do processo de impacto de um ensaio de dureza Leeb...43	
Figura 14 - Bobina e imã em dispositivo de dureza Leeb.....	44
Quadro 6 - Tabela 5W2H com as ações mapeadas no plano de ação .....	38
Quadro 7 - Exemplo do modelo de tabela criado para auxiliar no kanban.....	47
Figura 15 - Ilustração do durômetro adquirido fornecida pelo fabricante.....	48
Gráfico 5 - Redução percentual do consumo de peças mais impactantes.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.C.	Antes de Cristo
AISI	American iron and steel institute
ASTM	American society for testing and materials
D.C.	Depois de Cristo
FEM	Força eletromotriz
LD	Linz Donawitz
MASP	Método de análise de problema
NBR	Norma técnica brasileira
PDCA	plan-do-check-act
QC	Quality control
RO	Rolete de entrada
RT	Rolete de saída
Wnr.	Werkstoff Nummer
PIB	Produto interno bruto

## LISTA DE SÍMBOLOS

Mt	Mega tonelada
kgf	Kilograma força
mm	Milímetro
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado
°C	Graus celsius
kW.h	Kilowatt-hora
ton	tonelada
ϑ	Temperatura ideal
HRC	Dureza Rockwell C
HV	Dureza Vickers
mV	Milivolt
m/s	Metros por segundo
HL	Dureza Leeb

## SUMÁRIO

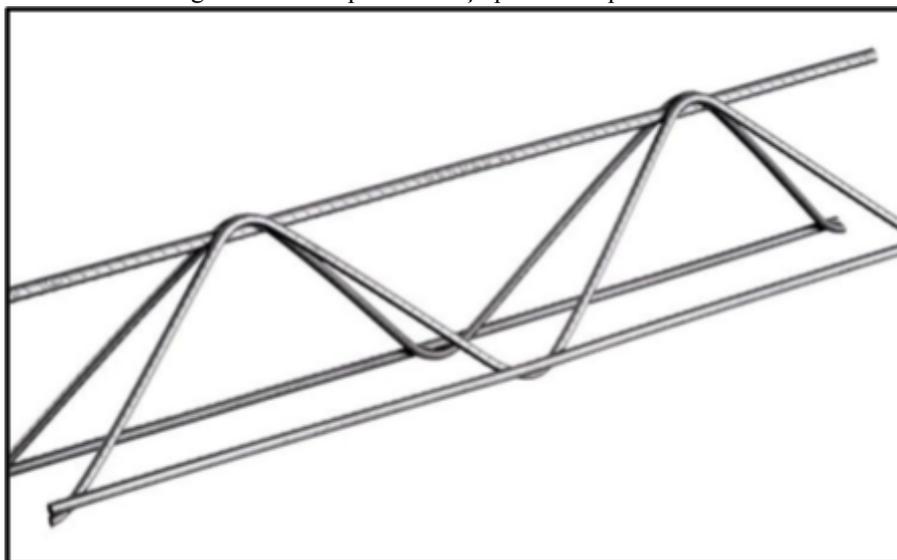
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
1.1. OBJETIVOS.....	10
1.1.1. Objetivos específicos.....	10
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>11</b>
2.1 O AÇO.....	11
2.2 O PROCESSO SIDERÚRGICO.....	12
2.3 TREFILA.....	16
2.4 TRELIÇAS.....	19
2.5 MASP.....	23
2.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	25
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
4.1 IDENTIFICAÇÃO.....	31
4.2 OBSERVAÇÃO.....	34
4.3 ANÁLISE.....	40
4.4 PLANO DE AÇÃO.....	42
4.5 AÇÃO.....	47
4.6 CHECAGEM.....	48
4.7 PADRONIZAÇÃO.....	49
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>6 PERSPECTIVAS FUTURAS.....</b>	<b>51</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria do aço desempenha um papel vital na geração de insumos para diversos outros setores da indústria de transformação, tendo seu maior impacto na área de construção e infraestrutura (Viana, 2023). Para ter-se um entendimento do quão importante é esse segmento industrial, pode-se observar o que ocorreu durante a pandemia de 2020, em que, por ter uma função tão fundamental no meio industrial, a produção siderúrgica mundial sofreu relativamente menos que outros setores. Esse fato pode ser atribuído especialmente à rápida recuperação da economia chinesa, que se apresenta como o líder mundial na produção de aço, sendo responsável por 56,7% da produção siderúrgica global no ano de 2020 segundo a *World Steel Association (world steel in figures, 2023)*. No cenário nacional, o Brasil se apresenta como 9º maior produtor mundial de aço, tendo produzido 34.1 Mt em 2022 (*world steel in figures, 2023*), elevando cada vez mais a importância deste setor industrial para o PIB brasileiro.

Tendo em vista essa importância econômica e social da produção de aço para o país, o grupo Gerdau se firma a mais de 120 anos no meio industrial, figurando atualmente como a maior produtora nacional de aço, e 30º maior produtora de aço do mundo (*world steel in figures, 2023*), tendo seu foco principalmente em aços longos e planos, e sendo cerca de 70% de sua produção proveniente de sucata. Uma das especialidades da empresa é a fabricação de treliças para a construção civil, sendo essa produzida por meio de soldagem por resistência e conformação plástica de fio de aço nervurado do tipo CA-60. Esse tipo de aço é específico para fabricação de concreto armado, e apresenta tensão de escoamento de 60 kgf/mm<sup>2</sup> (600 MPa) (Gerdau S.A, 2021). Na figura 1 pode-se ver um exemplo de treliça produzida pela Gerdau na planta Açonorte em Pernambuco.

Figura 1 – Exemplo de treliça produzida pela Gerdau.



Fonte: (Gerdau S.A, 2021)

Na produção da treliça, o fio de CA-60 saindo da trefila por cassetes laminadores, passa por um processo de soldagem por resistência com adição de pressão (caldeamento), no qual um equipamento puxa simultaneamente 5 fios distintos desse material, e, a medida que vai conformando os mesmos, o movimento é freado para que eletrodos entrem em contato com os pontos de solda, conduzindo corrente pelo material de forma a aquecer e fundir o aço em pontos predefinidos (Dias, 2022). Esse equipamento em contato com o aço nervurado acaba sofrendo forte desgaste por atrito, o que requer uma frequente troca de peças e paradas de produção que causam impactos econômicos negativos para a Gerdau.

Levando em conta a importância da indústria siderúrgica no contexto da economia brasileira, o presente trabalho foca esforços em encontrar soluções de engenharia utilizando o método MASP para reduzir custos no processo, mais especificamente custos com desgaste de peças. O barateamento da fabricação de materiais metálicos para indústria civil tem potencial para trazer impactos positivos direta e indiretamente para a região de Recife e ao estado de Pernambuco. Além disso, o entendimento dos processos siderúrgicos e dos processos industriais também são de grande importância para a formação em engenharia de materiais do autor, que aprofundou seus conhecimentos.

## 1.1. OBJETIVOS

Encontrar soluções para o gasto com peças em máquinas de fabricação de treliças utilizando a metodologia de análise e solução de problemas MASP.

### 1.1.1. Objetivos específicos

- Avaliar o problema de desgaste em peças operacionais nas máquinas de treliça utilizando ferramentas da metodologia MASP;
- Organização do consumo e solicitação de peças de reposição para máquinas de treliça, baseando-se em fundamentos de excelência operacional e qualidade do processo;
- Verificação da compatibilidade das propriedades mecânicas das peças operacionais das máquinas de treliças em relação ao indicado no projeto da máquina;
- Implementação de melhorias e soluções “*in loco*” para redução de custos com peças operacionais nas máquinas de treliça;
- Checagem da eficácia e eficiência das soluções implementadas, tomando como parâmetros a redução de gastos com peças.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica a seguir firma-se na revisão bibliográfica do processo siderúrgico e de conformação plástica do aço até a transformação desse metal em treliças de CA-60. Além disso, também traz um embasamento para as técnicas de excelência operacional e qualidade do processo que são utilizadas ao longo do trabalho.

### 2.1 O AÇO

Os aços são ligas ferrosas de Ferro e Carbono, tendo o Carbono variando entre um limite inferior de 0,008% e um limite superior de 2,11% (Callister, 2020). Além disso, podem chegar a apresentar quantidades consideráveis de outros elementos de liga em sua composição. Essa ampla gama de possibilidades composicionais para o aço proporciona a esse tipo de liga metálica uma de suas principais características, uma grande variedade de propriedades mecânicas, físicas, químicas, elétricas, térmicas e magnéticas, a depender da composição escolhida (Chiaverini, 1986).

Os seres humanos obtiveram a habilidade de trabalhar ligas ferrosas por volta de quatro mil anos atrás, sendo as evidências históricas mais antigas de ferro não meteórico encontradas na região da Anatólia, atual Turquia, na zona arqueológica de Kaman-Kalehöyük, e datadas de 1800 A.C. (Akanuma, 2005). Tal é a importância desse metal para a humanidade que uma das eras pré-históricas foi nomeada como idade do ferro, que iniciou-se por volta de 1200 A.C. e perdurou até 550 A.C. (Maddin, 1977). Até os dias de hoje o aço é o metal mais produzido e utilizado no mundo, por possuir a melhor relação custo por propriedades mecânicas, além de ser tratável termicamente e de existirem muitas jazidas de minério de ferro em todo o mundo.

No Brasil, o aço é produzido desde o século XVI, logo após o descobrimento. Em cartas, Padre Anchieta reportava à corte portuguesa a presença de jazidas de ferro e prata na colônia. A produção de ferro no Brasil crescia até que em 1785 quando, D. Maria, então rainha de Portugal, proibiu a produção de aço no Brasil. Somente depois que D. João VI ascendeu ao trono português, que a fabricação de aço voltou a ser permitida (Caldas, 2011). A produção de aço em solo brasileiro teve um forte aumento entre 1917 e 1930, devido ao crescimento industrial desse período, e se firmou de uma vez por todas na década de 1950,

quando a produção de aço nacional chegou a novos patamares com o crescimento contínuo da produção siderúrgica e uma maior demanda da sociedade ( Instituto Aço Brasil, 2023).

## 2.2 O PROCESSO SIDERÚRGICO

Ao processo de produção do aço dá-se o nome de siderurgia, que deriva do radical latino *sider*, que por sua vez significa estrela ou astro. Isso se deve ao fato de que o primeiro contato dos seres humanos com ligas contendo ferro metálico foi devido a asteroides que caíram na terra (Noldin, 2002).

A produção de aço moderna, a nível industrial, se baseia principalmente em dois tipos, a depender da matéria prima utilizada, as usinas integradas e as semi-integradas. Nas usinas integradas parte-se da produção desde o minério de ferro até a produção do ferro gusa e as etapas de refino subsequentes. A nomenclatura “integrada” advém justamente do fato de integrar todas as etapas da produção do aço em seu processo. Já as usinas semi-integradas utilizam como matéria prima principalmente a sucata, e normalmente um pouco de ferro gusa, aproveitando a capacidade do aço de ser reciclado, barateando o processo e tornando-o mais sustentável (Fernandes, 2018). O fluxograma dos principais processos de fabricação de aço podem ser vistos na figura 2.

Figura 2 – Fluxograma dos principais tipos de processos siderúrgicos atuais.



Fonte: (Fernandes, 2018)

Para poder reduzir o minério de ferro e transformá-lo em ferro gusa, as usinas integradas precisam ter certa proximidade a minas de ferro e também equipamentos maiores e com maior impacto local, como os altos fornos. Por isso, esse tipo de usina que produz ferro primário precisa ser muito bem alocada geograficamente, diferentemente de usinas semi-integradas, que podem ser localizadas mais próximas dos centros urbanos, com maior acessibilidade a fornecedores e clientes, apresentando assim uma vantagem estratégica (Fernandes, 2018).

A primeira etapa no processo siderúrgico, se considerarmos o aço primário, é a redução do minério de ferro, que será transformado em ferro gusa. Esse processo ocorre primeiro pela preparação das matérias primas, havendo a sinterização dos finos do minério de ferro que passa a se chamar sinter, e o carvão mineral é transformado em coque nas coquearias. Existem três principais formas de redução do minério de ferro: alto forno, redução direta e fusão redutora. No caso da fusão redutora, a sinterização dos finos do minério de ferro e a coqueificação do carvão não são necessárias (Fernandes, 2018).

Dentro do alto forno ocorre a redução do minério de ferro, que consiste basicamente na retirada do oxigênio do óxido de ferro. O alto forno é alimentado com minério de ferro na forma de minério bitolado, sinter e/ou pelotas, combustível redutor (carvão vegetal ou carvão mineral) e fundentes, que depois de aquecidos transformam-se em ferro gusa, gases, escória e poeira. Ao sair do alto forno o ferro gusa ainda apresenta teores muito elevados de carbono (>4%), e quantidades excessivas de enxofre, fósforo, silício e manganês. Por esse motivo se faz necessária outras etapas na aciaria, antes desse material ser direcionado para a conformação plástica.

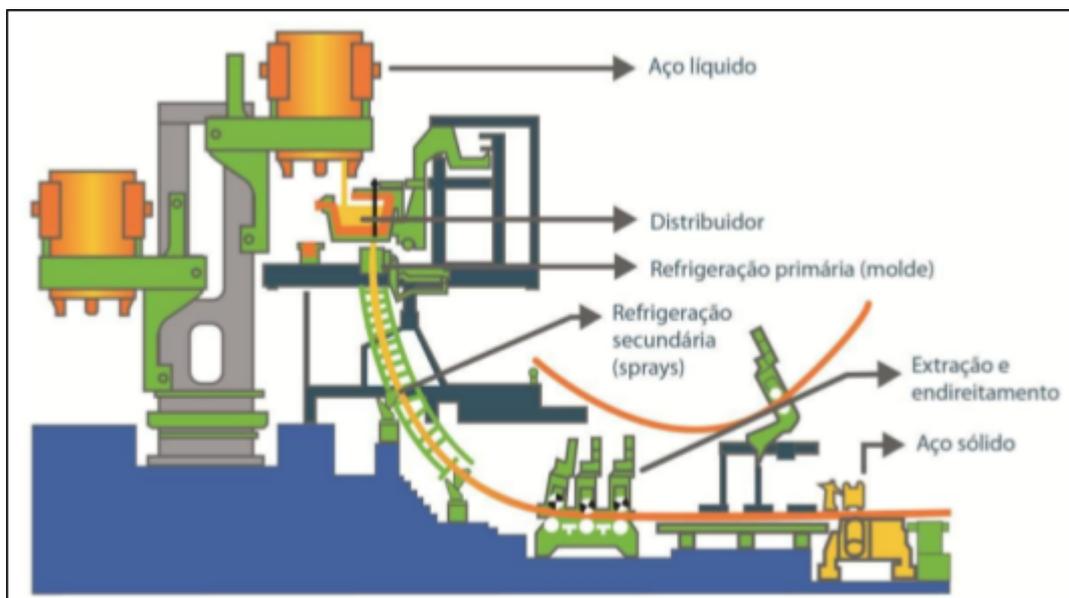
Após a redução, ocorre o refino, etapa essa que ocorre em fornos especiais chamados de conversores. Nas usinas integradas costuma-se usar os fornos básicos a oxigênio, também conhecidos como LD (Linz Donawitz). Já nas semi-integradas usualmente faz-se uso de fornos elétricos a arco. Nessa etapa, nas usinas integradas, é injetada uma lança no interior do metal fundido e por essa lança é introduzido oxigênio de alta pureza a uma velocidade hipersônica, que reage quimicamente com o carbono do meio, produzindo CO e CO<sub>2</sub>, dessa forma descarburando o aço (Fernandes, 2018). Nas usinas semi-integradas são adicionados oxigênio e carbono e dá-se o nome de refino oxidante, e o objetivo dessa adição é que o gás reaja com o carvão e outros elementos presentes na mistura e que, além de fornecer energia para o processo, forme uma escória que se estrutura em forma de espuma. A espuma formada favorece a fusão, podendo aumentar a eficiência em mais de 20%, pois a mesma protege o

refratário do forno, reduz o ruído do arco elétrico e reduz a perda de calor para as paredes do forno (Apostila GERDAU, 2007). Outros elementos presentes no banho como fósforo, silício, alumínio e cromo vão tender a reagir com o oxigênio, formando óxidos que vão para a escória. Nesta etapa também é feita a remoção de gases contidos no banho, como nitrogênio e hidrogênio.

Terminado o primeiro refino, o metal líquido, agora aço propriamente dito, é vazado em um forno panela onde ocorre o segundo refino, que se baseia justamente em dar os últimos ajustes na composição química do material. As principais adições que ocorrem nessa etapa são as ferro-ligas. É feita ainda a adição de um gás inerte (nitrogênio ou argônio) pelo fundo da panela, para ocorrer a rinsagem e posterior homogeneização do aço (Apostila GERDAU, 2007).

Ajustada a composição química final do aço, passa-se para a etapa de lingotamento contínuo. O objetivo dessa etapa é atribuir forma ao aço, moldando-o para que seja enviado diretamente a um cliente ou para a laminação. Ao receber a panela de aço líquido, a torre de lingotamento inicia o processo de vazamento. O aço fundido a aproximadamente  $1600^{\circ}\text{C}$  é vazado no distribuidor que suporta em torno de 300 toneladas, podendo assim manter o processo contínuo. Ao concluir o vazamento de uma panela, a mesma é retirada no mesmo momento que outra panela cheia é alocada para o vazamento. O aço no final dessa etapa terá o formato do molde escolhido, normalmente em forma de tarugo ou chapas (Apostila GERDAU, 2007).

Figura 3 – Lingotamento contínuo.

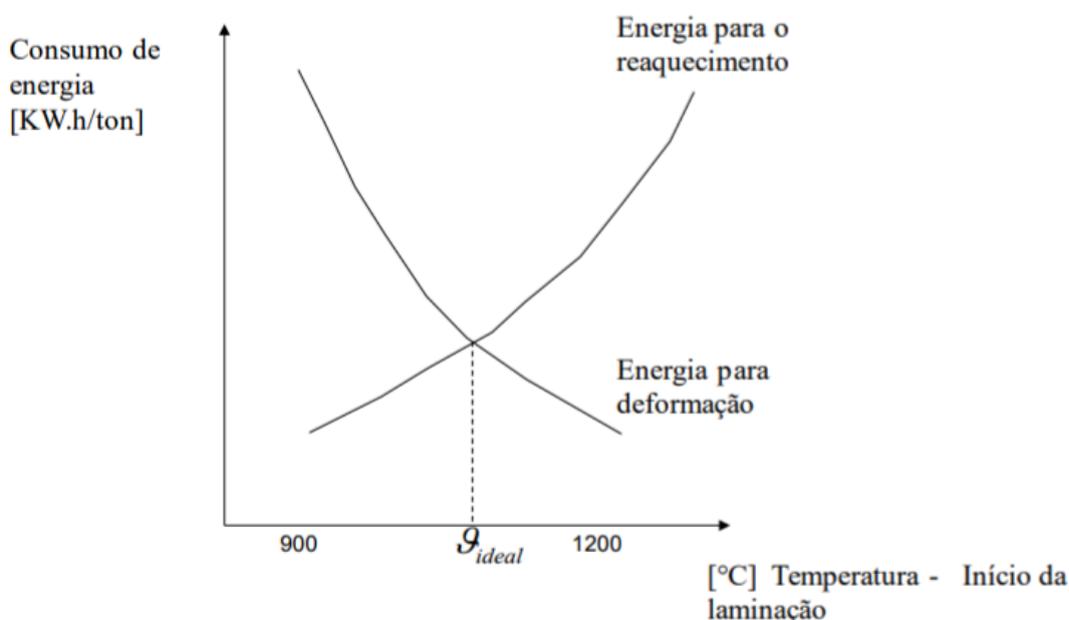


Fonte: (Apostila GERDAU, 2013)

A sequência mais comum após o lingotamento contínuo, é a passagem do aço pelo processo de laminação a quente, para ganhar forma. É um processo de conformação plástica que se baseia na aplicação da compressão direta do material por meio de rolos. Os rolos vão fazer a redução da secção dos tarugos, ou chapas, dando forma e definindo a morfologia da superfície do material. É possível produzir muitos produtos a partir da laminação, como por exemplo vergalhões, perfis em I, perfis em T, barras, chapas e fio-máquina. A laminação também é essencial para a produção da matéria prima da etapa da trefilação, o fio máquina.

No início da laminação é realizado o reaquecimento do material para facilitar a sua deformação plástica, uma vez que, quanto mais quente, melhor é a conformabilidade do aço, entretanto existe uma otimização dessa temperatura, pois aquecer demais pode ser muito custoso para o processo. A temperatura inicial do reaquecimento para a laminação dos aços costuma ser em torno de 1250°C, e durante o processo essa temperatura cai para aproximadamente 927°C. A essas temperaturas os aços sofrem rapidamente oxidação em contato com a atmosfera, por isso, antes de prosseguir o processo, costuma-se fazer a remoção de óxidos superficiais por meio de um processo de decapagem, logo após o aço sair do forno de reaquecimento, utilizando ar comprimido ou água pressurizada. Se não forem removidas, essas carepas formadas na superfície do aço podem gerar inclusões no produto final.

Gráfico 1 – Esquema didático da temperatura ideal para laminação.



Fonte: (Apostila GERDAU, 2011)

Diz-se que a laminação dos aços é um processo a quente, pois ocorre a temperatura acima da temperatura de recristalização do mesmo. Essas elevadas temperaturas são essenciais, pois devido às fortes deformações sofridas no processo de laminação, o aço iniciaria o fenômeno de encruamento pelo emaranhamento das discordâncias, terminando por fraturar durante o processo. Entretanto, quando acima da temperatura de recristalização, o aço tem energia suficiente para que mudanças microestruturais ocorram, ajustando-se às tensões externas da laminação e evitando o encruamento (Callister, 2020).

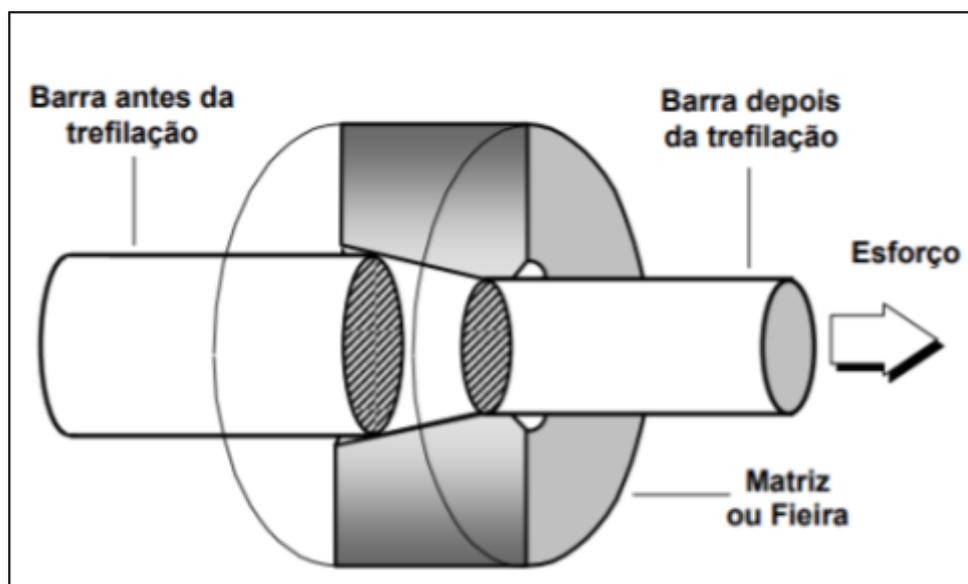
O primeiro passe por rolos após o reaquecimento do material é conhecido como desbaste, onde ocorrem as principais reduções de seção do tarugo. Os demais passes dão a forma final para o material que por fim é cortado no tamanho desejado, seja por corte a quente, ou a frio.

No caso da produção do fio máquina na laminação, é importante salientar a etapa de resfriamento controlado, que ocorre após a laminação propriamente dita, e serve para garantir boas propriedades mecânicas e facilitar a conformação plástica na trefila.

### 2.3 TREFILA

A trefilação clássica pode ser conceituada como processo de conformação plástica de compressão indireta, que consiste basicamente em passar uma barra ou um arame através de uma cavidade cônica de uma matriz, conhecida como fieira, aplicando-se um esforço de tração na ponta da barra que sai da cavidade. Vale salientar que esse processo costuma ocorrer a frio.

Figura 4 – Exemplo de trefila clássica.



Fonte: (Apostila GERDAU, 2007)

O processo de trefilação para produção de arames metálicos já é utilizado pela humanidade a bastante tempo, os faraós egípcios já usavam fios trefilados de ouro e prata como adorno a mais de 3000 mil anos antes de Cristo. Até meados de 1500 D.C. a trefilação era feita exclusivamente por tração manual dos fios, até que passaram a ser usadas a força animal e rodas d'água para desempenhar tal função. O processo evoluiu para máquinas a vapor no século XIX, e posteriormente para motores elétricos em meados de 1920 (Apostila GERDAU, 2007).

A matéria prima para a trefila é o fio máquina, sendo esse um fio laminado a quente com bitola variável de 5,5 mm a 16 mm, que depois da laminação é encaminhado para ser estocado na forma de bobinas, ou espulas, para ser enviado para a trefilaria. Ao chegar no setor de trefila, o fio máquina é desbobinado e passa por um processo de preparação superficial, onde ocorre uma decapagem que pode ser química ou mecânica, para retirar óxidos são prejudiciais ao processo. Além disso, também é de suma importância a aplicação adequada de lubrificantes durante o processo, caso contrário, a feira irá desgastar muito mais rápido. O lubrificante mais comum para trefilação de aços é sabão industrial em pó, como estearato de sódio e de potássio. (Apostila GERDAU, 2007).

As feiras costumam ser produzidas de materiais custosos, como metal duro, e apresentam uma baixa produtividade se comparado a outros processos. Por isso, apesar do excelente acabamento superficial que conferem aos materiais trefilados por esse método, a

trefilação por feiras vem perdendo espaço ano após ano para o método de trefilação por cassetes laminadores.

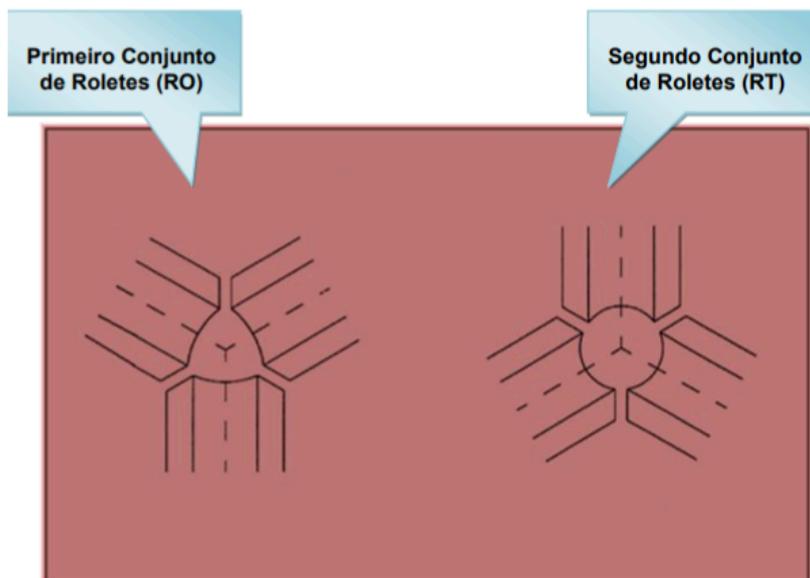
Os cassetes laminadores, também conhecidos como laminadores a frio, são constituídos por três rolos laminadores que estão alinhado em formato de “Y”, cada um a um ângulo de 120° dos outros, e realizam a trefila fazendo o fio máquina passar na pequena abertura existente entre os rolos. Apesar de na prática estar ocorrendo um processo de laminação, esse processamento ainda é considerado pela indústria como uma trefilação, devido ao impacto histórico da trefilação clássica e por produzirem o mesmo tipo de produto final.

Os cassetes laminadores conseguem ter uma produtividade maior que as feiras, devido ao fato de apresentarem menos atrito com o fio máquina. Além disso, também apresentam uma vida útil bem maior que as feiras, pois à medida em que os rolos do cassete vão se desgastando, é possível reajustá-los de tal forma a compensar o desgaste e manter a seção original do canal de passagem por bastante tempo, sem haver necessidade de troca de peças. Já na feira, o desgaste é um problema grave, pois uma vez desgastada, deve-se trocar toda a matriz. Apesar de ser um processo mais econômico e eficiente, os cassetes laminadores produzem uma superfície um pouco inferior ao das feiras, e por isso ainda são utilizadas algumas feiras em conjunto com processos com cassetes laminadores, no caso de materiais que necessitam um melhor acabamento superficial. Outra vantagem dos cassetes laminadores é a possibilidade de impressão de formas variadas na superfície dos fios, o que é fundamental para certos produtos, como por exemplo os arames nervurados CA-60 para produção de concreto armado, já que as nervuras em sua superfície melhoram a adesão ao concreto (Apostila GERDAU, 2011).

Outra diferença entre trefila por feira e por cassetes consiste na microestrutura final do material trefilado. Nas feiras, a deformação maior ocorrerá na superfície do material devido ao atrito, e portanto o material final terá uma maior dureza superficial devido ao encruamento. Já nos cassetes o material apresentará uma dureza interna maior devido a compressão direta (Apostila GERDAU, 2007).

Na trefilação por cassetes o material costuma passar por vários conjuntos de cassetes que somados resultarão no formato final desejado no material. O primeiro conjunto de cassetes, também denominado de rolete de entrada (RO), costuma dar um formato ovalado ao material, reduzindo sua bitola, para que, então, o mesmo passe por outro conjunto denominado rolete de saída (RT), que conformará o material na forma circular.

Figura 5 – Exemplo de conjunto de cassetes laminadores RO e RT.



Fonte: (Apostila GERDAU, 2011)

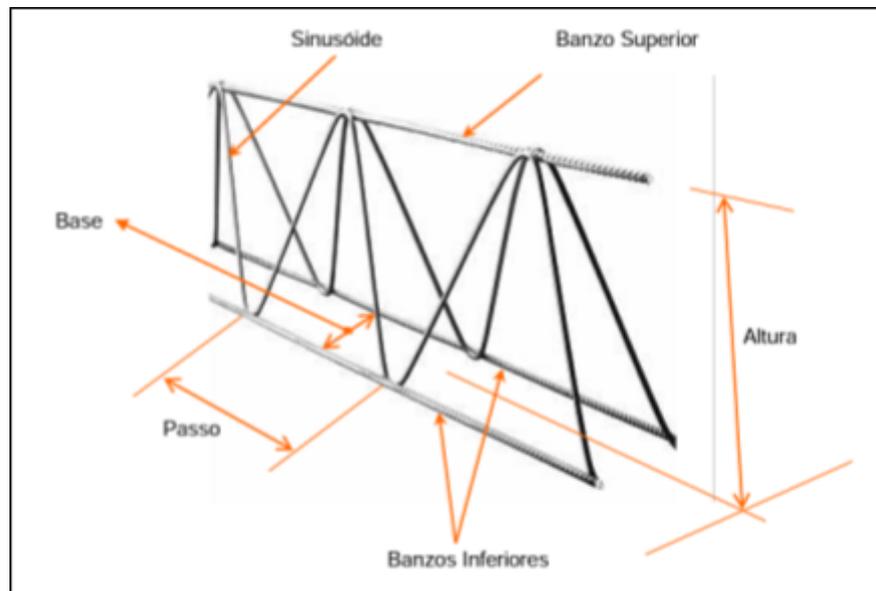
Apesar de apresentar atrito em uma escala bem inferior que as fieiras, ainda assim se faz importante o uso de lubrificação no caso dos cassetes, e costuma-se usar lubrificante em pó.

## 2.4 TRELIÇAS

Treliças de fios de CA-60 podem ser definidas como armaduras de aço pré-fabricadas, em forma de estrutura espacial prismática. É constituída de três fios retilíneos chamados de banzos, que estão conectados entre si por dois outros fios que foram conformados de forma senoidal, e por isso são chamados de senóides.

As treliças são um produto projetado especificamente para a construção civil e seu padrão de qualidade é estabelecido em algumas normas, como as NBR's (norma brasileira) 14862 e 7480. Portanto, as treliças precisam estar dentro de certas tolerâncias dimensionais para poderem ser comercializadas. Alguns parâmetros importantes para esse tipo de material são a altura, que pode ser definida como a distância entre o banzo superior e o plano base formado pelos banzos inferiores. O passo, que define-se como a distância entre pontos de solda em um mesmo banzo. E por fim, a abertura da base, que é a distância entre os banzos inferiores (Apostila GERDAU, 2011).

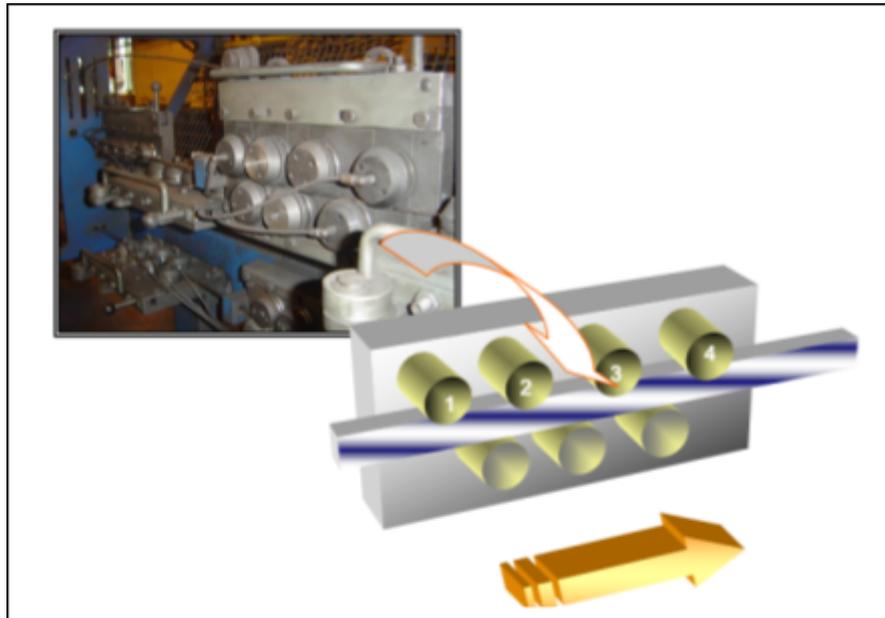
Figura 6 – Parâmetros importantes para produção de treliças.



Fonte: (Apostila GERDAU, 2011)

A fabricação das treliças começa pelo processo de alimentação dos *payoffs* (estação de desbobinamento) da máquina, por espulas de CA-60 nervurado vindo dos laminadores a frio. Cinco fios de aço são então conduzidos até duas estações consecutivas de endireitadores. Os endireitadores nada mais são do que grupos de roletas alinhados de forma alternada que objetivam tornar retilíneo o fio de aço. O fio de aço ao ser desbobinado pode apresentar certo nível de deformação plástica, e para otimização do processo de fabricação de treliças, o mesmo precisa estar linear. Ao passar pelos roletes, o aço é conformado plasticamente em direções opostas consecutivamente, o que acaba por eliminar as deformações decorrentes do seu armazenamento. (Apostila GERDAU, 2011).

Figura 7 – Esquema do funcionamento dos roletes endireitadores.



Fonte: (Apostila GERDAU, 2011)

Após o endireitamento dos arames, estes são separados em dois grupos, dois para formação das senóides e três para formar os banzos. Os arames selecionados para as senóides passam por uma parte do equipamento chamada de perfiladeira, que irá conformar plasticamente esses arames em direções opostas consecutivamente, dando a forma característica das senóides. Todos os fios continuam a ser puxados até um ponto de encontro onde ocorrerá a soldagem dos mesmos e união de todas as partes na forma desejada de treliça.

A união dos fios das treliças ocorre por soldagem por resistência em ponto com caldeamento. Esse tipo de soldagem é compatível com essa linha de produção por sua eficiência e baixo custo operacional. Nesse tipo de soldagem não é necessário o uso de um metal de adição, sendo a união metalúrgica feita pela pressão exercida nas partes do material aquecidas pela passagem de corrente elétrica. A corrente é transmitida ao material por eletrodos de cargas opostas que entram em contato com o material em áreas simetricamente opostas.

As partes de encontro dos arames das treliças são soldados de forma automática e com controles eletrônicos muito precisos que moderam os principais parâmetros para esse tipo de solda, são eles: o tempo, a pressão exercida e a corrente.

Óxidos superficiais no material a ser soldado atrapalham o processo, uma vez que tendem a aumentar a resistência à passagem de corrente elétrica, requerendo uma corrente

mais alta para chegar na temperatura necessária. Quanto à microestrutura interna do material, é comum que, para os CA-60, seja composta principalmente por ferrita e perlita. Entretanto, ao passar pelo elevado aquecimento durante a soldagem, os pontos de solda vão tender a apresentar uma estrutura de perlita fina, que tem boa resistência mecânica e ductilidade. Testes mecânicos realizados mostram que os pontos de solda tendem a ser os mais resistentes na treliça (Apostila GERDAU, 2011).

Figura 8 – Representação de dois arames de aço sendo comprimidos e soldados por dois eletrodos.



Fonte: (Apostila GERDAU, 2011)

O material que compõem os eletrodos é um aspecto muito importante para o processo, uma vez que a condutividade do mesmo vai interferir na corrente, e a dureza vai determinar a vida útil desta peça. Mesmo com uma dureza elevada, devido às fortes solicitações que sofrem durante o processo de fabricação, os eletrodos costumam ser as peças mais trocadas de todo o equipamento, tendo a rotatividade a cada um ou dois dias. Os materiais usados para eletrodos podem ser separados em dois principais grupos, as ligas à base de cobre e os compostos de cobre-tungstênio (Apostila GERDAU, 2011). Entre as ligas de cobre teremos algumas classes, são essas:

- Classe 1 : Ligas de cobre com aproximadamente 1% de cádmio, muito usadas para soldar ligas de alumínio, de magnésio e aços galvanizados ou estanhados.
- Classe 2: Ligas de cobre com aproximadamente 0,8% de cromo. Esses eletrodos são muito utilizados em aços ligados, ligas de níquel e de cobre.

- Classe 3: Ligas de cobre, níquel, cobalto e berílio. São endurecidas por tratamento térmico, usadas para ligas como monel e inonel.

O outro grupo de eletrodos são os de tungstênio-cobre, fabricados por metalurgia do pó e apresenta uma gama de diferentes opções de composição. Esse material não é uma verdadeira liga metálica, sendo considerado um compósito. Suas propriedades mecânicas e elétricas dependem da composição, sendo o cobre facilitador da condução elétrica e o tungstênio, o responsável pela resistência mecânica.

Depois da soldagem, as treliças vão para a última etapa de corte, na Gerdau aço Norte são produzidas treliças de 8 ou 12 metros.

## 2.5 MASP

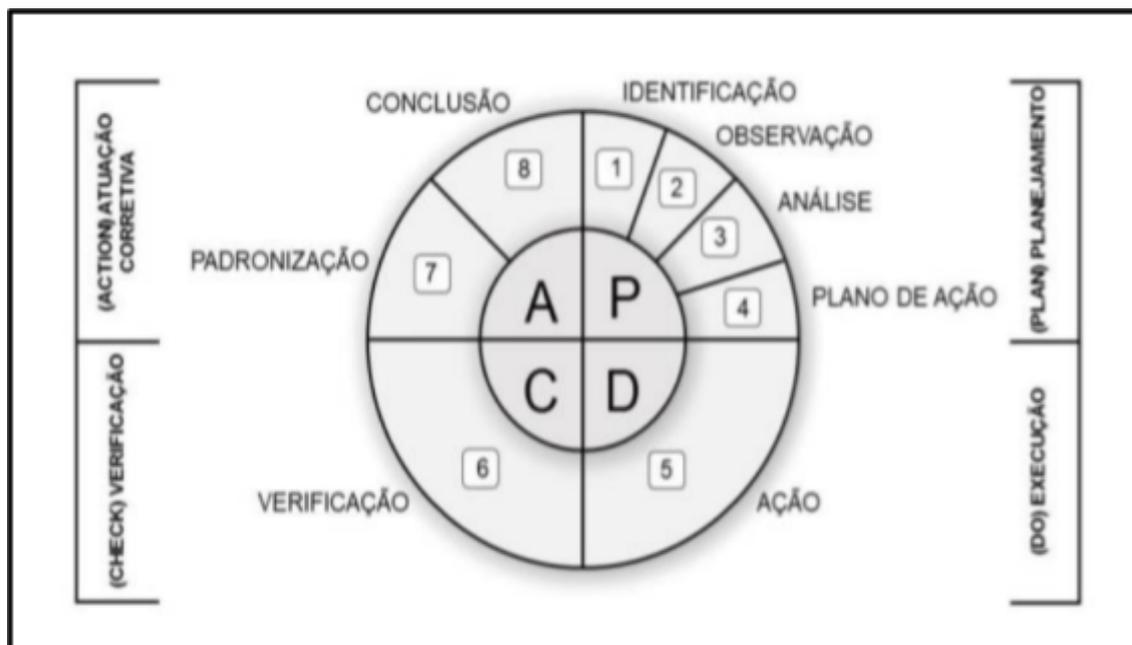
A palavra método tem sua etimologia na junção de duas palavras gregas, *meta*, que significa “além de”, e *hodos*, que significa caminho. Por tanto seu significado original seria algo como “caminho para se chegar além” (Salvadori, 2021).

O método de análise de problema (MASP) tem sua origem no Japão na década de 1950. Nessa época era conhecido como história do controle de qualidade (*QC-Story*). Seu primeiro uso foi na fábrica *Komatsu Awatsu*, na cidade de Komatsu, para elaboração de relatórios. Esse método fez muito sucesso, e acabou recebendo até o prêmio japonês de literatura para o controle de qualidade. Esse método é ainda hoje muito utilizado em empresas, permitindo manter e controlar a qualidade dos produtos, serviços, ou processos, através da abordagem ordenada por etapas de situações que estejam abaixo do padrão estabelecido, ou para atingir um objetivo predeterminado (Silva, 2014).

O principal objetivo desse método sistêmico é a resolução de problemas de forma rápida e eficiente. As ações tomadas para solucionar o problema devem ser baseadas nos dados e informações adquiridos durante a aplicação do método.

O processo proposto pelo MASP se baseia no ciclo de melhoria contínua *plan-do-check-act* (PDCA), estando cada uma das etapas do método dentro de alguma etapa do PDCA. O PDCA é um sistema de melhoria contínua e solução de problemas dividido em quatro etapas. O MASP amplia e aprofunda ainda mais essas etapas (Salvadori, 2021).

Figura 9 – Esquematisação das etapas do MASP dividindo-as por fase PDCA.



Fonte: (Salvadori, 2021)

As etapas do MASP podem ser divididas e definidas da seguinte forma (Silva, 2014) :

1. Identificação do problema: Deve-se definir o problema formalmente e delimitar o que se deseja melhorar. É considerada por muitos autores como a etapa mais importante do método, uma vez que é fundamental realizar uma boa identificação da problemática para que as etapas seguintes funcionem bem.
2. Observação: Nesta etapa é feita a coleta de dados sobre o problema, e tenta-se ver o mesmo de diferentes pontos de vista, estratificando informações e utilizando ferramentas estatísticas. Quanto mais dados, mais completa será a investigação e maior a chance de sucesso nas próximas etapas.
3. Análise: Nesta etapa as informações adquiridas nas fases anteriores são utilizadas para formular hipóteses prováveis da causa raiz do problema estudado.
4. Plano de ação: Partindo do passo anterior, é então formulado um plano de ação a fim de atingir a causa raiz, de forma lógica e estratégica, sempre baseando-se nos dados analisados.
5. Ação: Este estágio pode ser dividido em duas principais atividades, a primeira seria o treinamento das pessoas envolvidas no projeto sobre o plano de ação e tudo que o mesmo propõe. Já a segunda parte seria a execução de fato do plano de ação.

6. Verificação: Esta etapa do método se firma na avaliação dos resultados obtidos após a aplicação do plano de ação, e também da eficácia e eficiência das soluções propostas em atingir a causa raiz do problema.
7. Padronização: Caso a solução proposta tenha gerado frutos satisfatórios, deve-se então padronizar o processo para que o problema não volte a ocorrer e também para prevenir que outros problemas similares possam surgir.
8. Conclusão: É a última fase e consiste em recapitular as etapas e avaliar os erros e acertos para futuros planejamentos.

É importante frisar ainda que em qualquer etapa do processo em que seja detectada uma necessidade de mudança ou falha em alguma das fases anteriores, pode-se regredir um passo e reiniciar a fase anterior, ou, ainda mais grave, se a causa raiz avaliada estiver errada, pode-se iniciar todo o ciclo do MASP do zero.

## 2.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

### 2.6.1 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta útil para estratificar dados quanto ao impacto que os fatores observados têm sobre o processo. O nome Pareto é uma homenagem ao cientista político Vilfredo Pareto (1848-1923), que com suas pesquisas conseguiu demonstrar que 80% da riqueza do mundo se concentra em 20% da população (Leão, 2019). Assim como na distribuição de riqueza mundial, o conceito de 80% do impacto advindo de apenas 20% dos fatores começou a ser percebido em diversos casos, inclusive no meio industrial, tornando este diagrama um importante instrumento para evidenciar quais causas devem ser atacadas com maior prioridade para solucionar um problema de forma mais eficiente.

### 2.6.2 Diagrama de causa e efeito

Também conhecido como diagrama de Ishikawa, foi proposto pela primeira vez por Kaoru Ishikawa, e tem por objetivo facilitar a visualização das possíveis causas raízes dos problemas analisados. Costuma ser representado em um formato semelhante a espinha de um peixe, por isso também costuma ser chamado de diagrama de espinha de peixe (Leão, 2019).

O diagrama de causa e efeito costuma separar as causas do problema quanto a origem das mesmas. Normalmente essa separação se dá em ramificações classificadas como “Mão de obra”, “Máquina”, “Método” e “Material”, mas podem variar.

### 2.6.3 5W2H

A ferramenta 5W2H foi cunhada por profissionais da indústria automobilística japonesa com objetivo de auxiliar ciclos PDCA, e apresenta sua principal aplicação na fase de planejamento das ações. Funciona como um *checklist* para direcionar a execução de atividades previamente planejadas. A sigla vem do inglês *What* (como), *When* (quando), *Where* (onde), *Who* (quem), *Why* (por quê), *How* (como), *How much* (quanto custa). Cada uma das letras simboliza uma coluna na tabela a ser gerada, formando assim uma versão sumariada do plano de ação (De Avila, 2016).

### 2.6.4 A metodologia japonesa 5S

A metodologia do 5S surgiu no Japão em meados do século XX, e baseia-se na ideia de estruturação da área de trabalho para se alcançar uma otimização da eficiência na gestão de recursos, objetos e tempo, além de assegurar uma maior eficácia na manutenção desta mesma organização. A metodologia do 5S propõe que somando mudanças físicas, culturais e processuais na área de trabalho, a produtividade de todos tenderá a subir, uma vez que distrações e ruídos desnecessários ao processo forem eliminados (Campos, 2005).

A nomenclatura 5S vem de cinco termos em japonês que representam a filosofia base para essa metodologia organizacional, esses termos são:

1. Seiri - Senso de utilização: Separar o necessário do desnecessário, otimizando a área de trabalho tirando tudo que não for essencial.
2. Seiton - Senso de organização: Organizar a área de trabalho de forma sistemática.
3. Seiso - Senso de limpeza: Cuidar e limpar o ambiente de trabalho.
4. Seiketsu - Padronização: Sistematizar a padronização das condutas que devem ser seguidas.
5. Shitsuke - Autodisciplina: Educação, compromisso, senso de união em prol do coletivo.

A metodologia do 5S tem uma íntima ligação com o sistema Toyota de produção, ao ponto em que eram tratados até mesmo como sinônimos na década de 1950. O sistema Toyota de produção foi desenvolvido após a segunda guerra mundial por Sakichi Toyoda, e aprimorada subsequentemente por Kiichiro Toyoda e Taiichi Ohno. No pós guerra, o japão teve de enfrentar uma enorme escassez de recursos, e esse período teve um impacto profundo na cultura e modo de agir da população japonesa no geral. Nesse ambiente, novas soluções foram desenvolvidas para produzir de forma a evitar o máximo desperdício de tempo e material. Aí que o sistema Toyota de produção prosperou, uma vez que se apresenta como um método para a busca de uma produção otimizada e sem perdas. O caminho para atingir o estilo de produção toyotista foi justamente embasado na filosofia do 5S (Bharambe et al. 2020).

Além da Criação do 5S, Taiichi Ohno desenvolveu também outras ferramentas complementares para atingir seus objetivos. Entre elas, uma das mais importantes é o sistema de controle de fluxo de materiais conhecido pelo termo japonês *kanban*. Inicialmente desenvolvida para controlar estoques de produção de uma forma visual e intuitiva, é aplicada ainda hoje por várias empresas para atingir eficientemente os princípios do 5S (Ohno, 1988). Em muitas de suas formulações para controle de materiais, o *kanban* se presta a dividir visualmente a gestão dos mesmos em três categorias (Huang e Kusiak, 1996), são essas :

1. Estoque cheio - Geralmente da cor verde, significa que o estoque apresenta quantidade suficiente para não precisar de reposição. A quantidade máxima de material nessa classificação não deve superar o estoque máximo de material necessário para o pleno funcionamento da área, pois caso isso ocorra o princípio Seiri do senso de utilização estaria sendo descumprido. O estoque limite de material deve ser calculado com base na utilização do mesmo pela área e no tempo de reposição do mesmo, também chamado de *Lead time*. A quantidade mínima nessa classificação é equivalente ao ponto de reposição, em que se inicia a próxima partição.
2. Ponto de reposição - Geralmente da cor amarela, indica um quantitativo de material a partir do qual deve-se iniciar o processo de reposição, e vai até o início do limite crítico. O quantitativo de materiais nessa etapa deve ser calculado da mesma forma que na etapa anterior, e objetiva ser um quantitativo suficientemente grande de materiais para suprir a área até que o tempo de

reposição seja concluído. O limite inferior de materiais nessa etapa é o início do Estoque crítico.

3. Estoque crítico indica uma quantidade de material que já poderia não ser suficiente para suprir a área pelo tempo necessário até que o material seja repostado. Por isso é importante nunca deixar a quantidade de material na área chegar no estoque crítico, sempre solicitando reposição antes da etapa de “ponto de reposição” acabar.

Outra ferramenta desenvolvida por Taiichi Ohno foi o método dos cinco porquês (Ohno, 1988). Esse método é muito utilizado na análise de problemas para se alcançar a causa raiz, e consiste basicamente em perguntar “por que?” acerca de um sintoma consecutivas vezes, e a cada vez aprofundando-se mais e mais na causa do problema. É possível que exista mais de uma resposta para um dos porquês, e portanto ocorre uma bifurcação na trajetória de respostas. Também ocorre, com certa frequência, do método chegar a causa raiz antes que todos os porquês sejam feitos. O principal objetivo dessa ferramenta é evitar que durante a análise de um problema, a investigação cesse em um sintoma e não em uma causa raiz, pois isso levaria a que o plano de ação não fosse eficaz em impedir recorrências da problemática (Key, 2019).

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho objetiva a resolução prática de problemas de uma indústria paralelamente a criação de conhecimento, portanto pode-se caracterizar o mesmo como uma pesquisa-ação. A pesquisa-ação pode ser definida quando o autor se envolve diretamente com a resolução de problemas reais, como em conjunto com organizações privadas, por exemplo, havendo pesquisa e ação simultaneamente (Salvadori, 2021).

Durante a resolução do problema selecionado, será utilizado o método MASP, tratando de forma sistemática a realização de ações para mitigar e/ou eliminar a causa raiz do problema em questão.

As etapas do método a ser utilizado consistem na identificação do problema, observação holística do processo de fabricação tratado para redução de custos, análise dos dados, criação do plano de ação, ação, checagem de resultados e padronização. Durante as etapas citadas também foram realizadas as seguintes fases:

- entendimento das partes do equipamento e a familiarização com as peças que estão sofrendo desgaste;
- obtenção de informações sobre os gastos com esses materiais;
- verificação do processo de troca, manutenção, compra e solicitação dos mesmos;
- análise e estratificação dos dados;
- realização de um plano de ação visando atacar as principais causas possíveis, como propriedades não conformes, parâmetros da máquina não otimizados, falta de lubrificação, peças mal ajustadas e aumento do preço do fornecedor;
- Foi também montado um plano de ação, o qual teve sua estratégia seguida e avaliada na conclusão quanto sua eficácia.

Dentre as diversas técnicas para ensaiar dureza que foram desenvolvidas ao longo dos anos, a dureza Rockwell ainda é uma das mais utilizadas para ensaiar metais. Essa escala de dureza foi desenvolvida em 1922 por Hugh M. Rockwell, e consiste no uso de um sistema de pré carga que possibilita esse método avaliar uma extensa gama de metais, desde os mais moles até os mais duros (Rockwell, 1919). Os ensaios de dureza foram realizados em durômetro Rockwell C, com pré carga de 10 Kgf e carga maior de 150 Kgf, utilizando indentador cônico de diamante de 0,3 mm. Foram realizados 5 ensaios em cada amostra para avaliar a dispersão dos dados.

Para os ensaios de composição química das amostras foi utilizado o método de espectroscopia de emissão óptica por centelha com um Thermofisher Ispark 8820.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO

Sendo essa a primeira etapa do MASP, os esforços foram direcionados para identificar o problema e definir a meta a ser alcançada. Assim, foram consultadas planilhas de gastos em setores da macroárea da trefila, para que fosse possível detectar qual linha de produção estava sendo mais impactada pelo gasto com peças operacionais. As treliças foram comparadas com as áreas de tela coluna e tela painel, as quais também produzem insumos para a indústria da construção civil soldando arames e vergalhões por soldagem resistiva, sendo essas portanto as áreas mais equiparáveis em termos de equipamentos.

O resultado dessa comparação pode ser visto no gráfico 2, onde o gasto com peças foi normalizado pela produção para cada uma das áreas. É possível identificar que para cada tonelada de produto finalizado, o gasto relativo com peças operacionais se apresenta maior no setor das treliças quando comparado aos demais. Além disso, cabe pontuar ainda que o setor das treliças apresenta um claro crescimento desse gasto relativo ao longo dos anos, tendo um crescimento de 73% desse gasto entre 2019 e 2023.

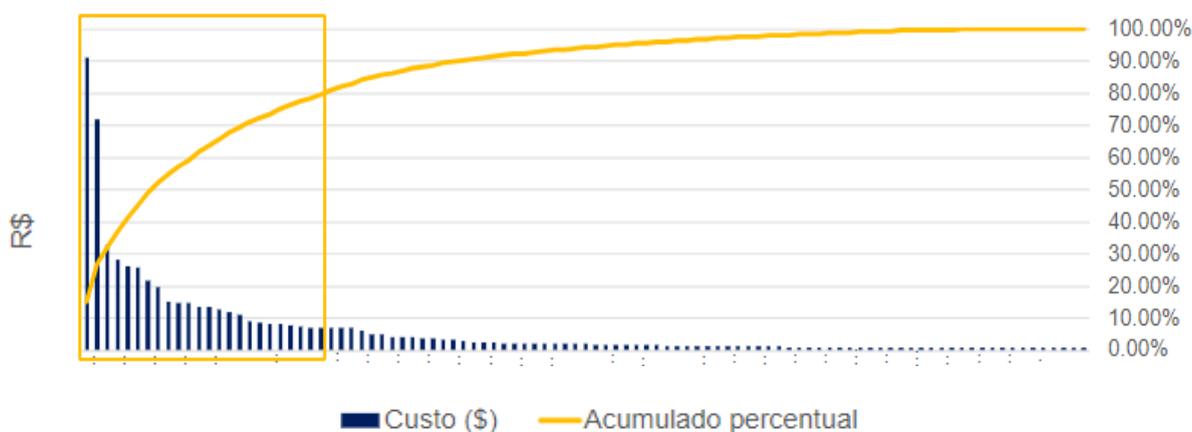
Gráfico 2 – Comparação ano a ano do gasto com peças entre diferentes setores em relação à tonelada de produto produzido.



Fonte: Autoria própria

Partindo dessa identificação inicial, o trabalho direcionou-se para a identificação do crescimento progressivo dos gastos com peças operacionais nas máquinas de treliça como problema a ser solucionado. Em seguida as peças operacionais que impactam no custo de produção foram distribuídas em um gráfico tipo Pareto, visto que são abundantes, sendo assim possível focar os esforços apenas nas 80% mais significantes para o custo do processo. Esta distribuição pode ser vista nos gráficos.

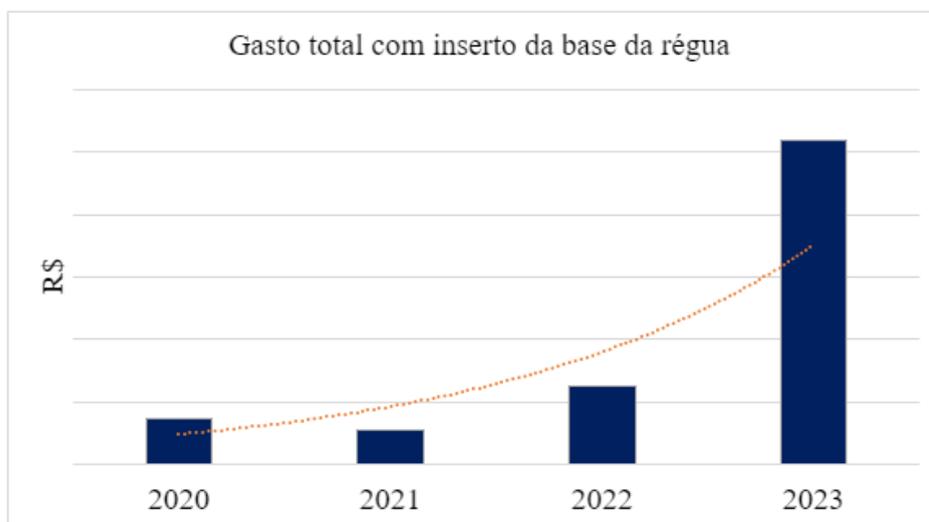
Gráfico 3 – Distribuição de Pareto das peças operacionais das máquinas de treliça, tendo os 80% mais relevantes destacados pelo quadrado amarelo.



Fonte: Autoria própria

Dentre as peças identificadas como as 80% mais relevantes no processo, pode-se dividi-las em três grupos: 1- As que não apresentavam alteração do seu valor médio histórico quando comparadas a compras de anos recentes. 2- As que apresentavam um claro aumento do custo anual quando comparado a anos anteriores. 3- As que eram peças mais recentes e não tinham dados de compras em anos anteriores para se fazer esse tipo de comparação. Esse aumento do gasto com as peças foi observado comparando os gastos em real por tonelada no ano de 2023 com o gasto em anos anteriores. Uma dessas peças é conhecida como o inserto da régua do banzo superior, e tomando a mesma como exemplo, pode-se perceber o aumento exponencial apresentado por algumas peças no gráfico 4.

Gráfico 4 – Crescimento exponencial do gasto com o inserto da base da régua



Fonte: Autoria própria

Como indicador a ser usado no projeto para fins de checagem do resultado das ações tomadas, cunhou-se a unidade “Tonelada por peça”, que representaria a produtividade das peças selecionadas, ou seja, quantas toneladas do produto é possível produzir com uma peça. Essa unidade auxilia a mitigar erros relacionados a variações na produção que afetariam a velocidade de consumo das peças, além de permitir que se avalie peças individualmente mais facilmente.

A última etapa da identificação do problema consistiu em compilar as peças que apresentavam claro crescimento de custo anual em uma tabela quanto a dados básicos, como material e propriedades. A propriedade da dureza foi colocada toda em escala vickers para que fosse possível englobar todos os materiais em uma mesma escala.

Quadro 1 – Tabela de material e propriedades das peças com custo crescente

<b>NOME</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>TIPO DE DESGASTE</b>	<b>DUREZA</b>
RÉGUA BANZO SUPERIOR	AISI D2	abrasão	HV 633
SUPORTE ELETRODO SUP/INF	Ampcoloy 940	eletroerosão/ abrasão	HV 210
ROLO TRACIONADOR BI-PARTIDO	SAE 4340	abrasão	HV 800
RÉGUA GUIA (APOIO)	SAE 1045	abrasão	HV 423
INSERTO DA BASE DA RÉGUA	AISI D2	abrasão	HV 674
SUPORTE GUIA BANZO INF	AISI O2	abrasão	HV 577
SUPORTE ELETRODO INF	Ampcoloy 972 com banho de prata	eletroerosão/ abrasão	HV 147
TRAVA ELETRODO INT	Cobre eletrolítico	eletroerosão/ abrasão	HV 45 a 155

Fonte: Autoria própria

## 4.2 OBSERVAÇÃO

A observação iniciou-se pela verificação da qualidade dos materiais recebidos, tanto composição quanto propriedades físicas e geometria. Para algumas peças foi possível identificar problemas de fornecimento que causavam dificuldade no uso das mesmas e redução da durabilidade. Uma das propriedades mais importantes para as peças estudadas é a dureza, visto que muitas delas entram diretamente em contato com o material sendo produzido, ou seja, a maior fonte de desgaste presente tende a ser a abrasão. A dureza é uma propriedade mecânica dos materiais que, assim como o limite de resistência à tração, indica a resistência do material a deformação plástica. No entanto, essa resistência refere-se a deformações plásticas localizadas, como por exemplo riscos e indentações. A dureza é uma propriedade tão intimamente ligada à resistência à abrasão que os primeiros testes cunhados para qualificação dessa propriedade baseavam-se na prática de riscar um material na superfície de outro e observar se houve desgaste (Callister, 2020).

Através da indicação da operação durante momento de *brainstorming*, observou-se que algumas das peças analisadas aparentavam estar vindo com material diferente do especificado na compra e/ou com geometria fora do especificado em desenho técnico. Uma dessas peças foi o inserto do suporte da régua. Foi realizada inspeção visual e geométrica da peça com um paquímetro, e também ensaio de dureza com durômetro Rockwell. O ensaio visual revelou uma clara diferença de tonalidade na superfície dos insertos de lotes mais recentes quando comparados a insertos de lotes mais antigos, como é possível observar na figura 10.

Figura 10 – Insertos do suporte da régua de lotes distintos.(Lote antigo à esquerda e novo à direita)



Fonte: Autoria própria

No quesito da geometria não foi encontrada variação significativa entre as peças, entretanto o ensaio de dureza revelou uma clara distinção desta propriedade mecânica entre as mesmas, como pode ser visto no quadro 2.

Quadro 2 – Resultados dos ensaios de dureza dos insertos do suporte da régua

LOTE	DUREZA (HRC)				
	ANTIGO	54	57	56	57
NOVO	28	29	28	30	28

Fonte: Autoria própria

Devido a esses resultados tão distintos entre as propriedades de materiais de lotes diferentes foi executado um ensaio composicional para averiguar a suspeita de que o material da peça sendo fornecido havia mudado, aprofundando assim a informação que havia sido observada. A espectrometria de emissão óptica por centelha é uma técnica de análise química multielementar que tem como uma de suas principais vantagens a velocidade da obtenção dos resultados. Essa técnica se fundamenta no uso de um cátodo que emite uma corrente elétrica (centelha) na amostra, evaporando a mesma localmente, e excitando assim os átomos presentes em formato de íons, que por sua vez emitem comprimentos de onda característicos para cada elemento presente (Brehm, 1999). O equipamento possui detectores capazes de identificar quantitativa e qualitativamente os elementos presentes por meio dos comprimentos de onda emitidos. Esse processo é amplamente utilizado na indústria siderúrgica pela sua compatibilidade com a análise de materiais metálicos.

O resultado composicional do Inseto do suporte da régua pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultados do ensaios de composição química dos insertos

LOTE	Composição química (%)									
	C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr	Ni	Mo	V
ANTIGO	1,525	0,227	0,225	0	0,028	0,028	11,448	0,063	0,654	0,833
NOVO	0,332	0,485	0,102	0,001	0,012	0	1,581	0,982	0,193	0

Fonte: Autoria própria

Partindo dos resultados obtidos na análise composicional foi possível comparar os dados com composições de aços tabelados na literatura e identificar que o lote antigo se aproxima bastante da composição do aço ferramenta para trabalho a frio AISI D2, enquanto o material do lote novo se aproxima muito mais de um aço Wnr. 1.8550.

Durante o processo de observação, uma das peças sendo analisadas apresentou seguidas quebras na área de produção, algo que não acontecia com lotes anteriores da mesma peça. Esta peça é uma das que apresentaram gastos crescentes presentes do quadro 1, e é conhecida como Régua do banzo superior. Foi então realizado um estudo dirigido para observar como se dava essa falha atípica do material. O primeiro passo foi a observação da

superfície de fratura, que demonstrou claros sinais de fadiga, como pode ser observado na figura 11. A fadiga é um fenômeno progressivo de fratura que ocorre na presença de carregamentos cíclicos e repetitivos sobre o material, carregamentos esses que nucleiam e fazem crescer trincas, ciclo a ciclo, até a fratura catastrófica da peça. A fadiga ocorre mesmo abaixo do limite de escoamento do material, e gera trincas muito finas, o que faz com que seja de difícil detecção. Uma das características macroscópicas mais distintas no caso da fadiga são as “marcas de praia”. Essas marcas podem ser definidas como sinais da variação cíclica de carregamento sobre o material, e tendem a se formar em arcos ou curvas semicirculares com um ponto de origem em comum (González-Velázquez, 2018). Na figura 11 é possível perceber essas marcações ao longo do material.

Figura 11 – Superfície de fratura observada nas Réguas do banzo superior.



Fonte: Autoria própria

Similarmente ao inserto do suporte da régua, foi realizado estudo da composição do material das régua para avaliar se o mesmo estava de acordo com o especificado no desenho técnico da peça. Os resultados estão expostos no quadro 4.

Quadro 4 – Resultados dos ensaios de composição química da Régua.

<b>Composição química (%)</b>									
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
1,927	0,369	0,363	0,001	0,026	0,052	12,560	0,207	0,088	0,110

Fonte: Autoria própria

Os resultados foram comparados com composições tabeladas de aços ferramentas na literatura e a composição mais compatível foi a do AISI D6, diferindo principalmente no teor de Cromo e Vanádio quando comparado a composição do material especificado no desenho, o AISI D2. O aço AISI D6 apresenta uma menor resistência a flexão que o AISI D2 (Sheikh, 2021), sendo assim um material com propriedades inferiores para a aplicação desejada. Observou-se então, por meio desses exemplos, que ainda existiam oportunidades para melhorar significativamente a sistemática de recebimento e controle de qualidade das peças fornecidas à empresa.

A observação do problema seguiu para o processo de compra das peças. Durante contato com a equipe de compras foi observado que para todas as peças compradas pela empresa, inclusive as peças de custo crescente, era sempre sinalizado nos acordos de fornecimento que os componentes deveriam ser fornecidos juntamente com um certificado de qualidade que abrangesse: certificado de matéria-prima; certificados de tratamento térmico/superficial; relatório de inspeção dimensional; cópia do desenho utilizado para fabricação do material. Apesar da exigência, nem todas as peças estavam sendo fornecidas com tais certificações, o que dificultava o rastreio de lotes com propriedades abaixo do esperado.

Durante as observações quanto ao processo de compra das peças também foi considerada a elevada rotatividade de fornecedores. Algumas peças chegaram a ter mais de cinco fornecedores diferentes no espaço de um ano. Essas mudanças de fornecedores eram tratadas unicamente com a área de compras, e as outras áreas da empresa, incluindo a produção, não era avisada diretamente sobre essas mudanças. A alteração de fornecedor pode fazer com que a qualidade de um material caia bruscamente caso o controle de qualidade não tenha os meios para detectar de forma sistemática o produto que está sendo fornecido.

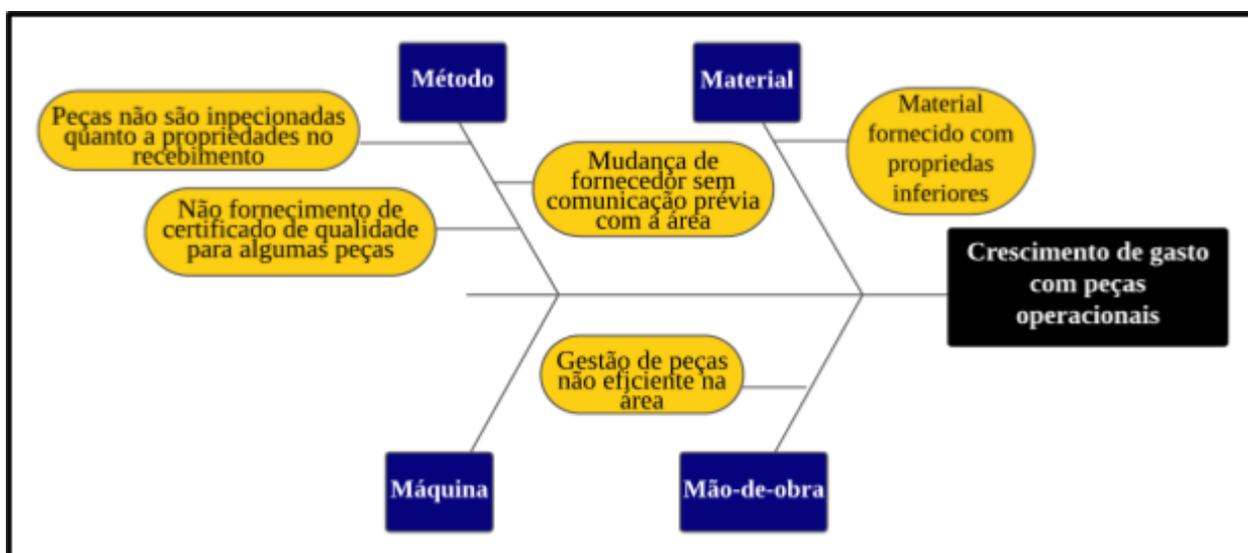
Por último, a observação focou na área solicitante das peças das máquinas de treliça. A princípio foi avaliada a forma como o material é armazenado na área. Todas as peças

operacionais eram armazenadas em quatro armários, os quais apresentavam ainda oportunidades de 5S, como melhoria do sistema de *kanban*, impossibilitando assim uma gestão mais eficiente dessas peças. Além disso, não existia uma sistemática de controle de troca de peças em que fosse possível juntar dados sobre tempo de vida médio das peças, dificultando assim uma gestão quanto aos quantitativos mínimos de cada peça na área, além de pontos de reposição e estoque máximo. Esses fatores ocasionaram que algumas peças analisadas fossem solicitadas em excesso e a área tinha gastos maiores do que seria normalmente.

### 4.3 ANÁLISE

A análise iniciou-se na inserção dos pontos observados no processo em um diagrama de causa e efeito, classificando os mesmos quanto à origem. O diagrama pode ser visto na figura 12.

Figura 12 - Diagrama de causa e efeito dos pontos observados.



Fonte: Autoria própria

Partindo desta primeira triagem, foi executada a técnica dos cinco porquês para detalhar cada tópico, objetivando alcançar a causa raiz dos mesmos. Cada porquê tem como resposta o resultado de análises feitas na área, por meio de verificação de registros e conversas com os times. A tabela dos 5 porquês pode ser vista no Quadro 5.

Quadro 5 – Tabela dos cinco porquês dos tópicos do diagrama de causa e efeito.

Tópico da observação	porquê 1	porquê 2	porquê 3	porquê 4	porquê 5
Peças não são inspecionadas quanto a propriedades no recebimento	Falta de equipamento apropriado				
Não fornecimento de certificado de qualidade para algumas peças	Não exigência de fornecimento de certificados	Cultura se perdeu ao longo dos anos	Não havia sido definido alguém para manter esse processo ativo		
Mudança de fornecedor sem comunicação prévia com a área	Fluxo interno não definia como necessário repassar essa informação	Não era percebido pelo time de compras a importância dessa comunicação	Time de compras não estava ciente da criticidade dessas peças para o processo	As peças críticas das máquinas não estavam bem listada e definidas	
Material fornecido com propriedades inferiores	Fornecedor produziu com material errado, ou não fez todos os processos indicados	Fornecedor com qualificação abaixo do desejado	Mudança de fornecedores antigos para novos fornecedores que nunca haviam prestado esse serviço		
Gestão de peças não eficiente na área	Estocagem de material na área	Cultura organizacional foi perdida ao longo do tempo	Não se via a importância de ter dados sobre o tempo de vida das peças e ponto de reposição do estoque	Peças apresentavam boa qualidade na época, apresentando comportamento previsível.	

Fonte: Autoria própria

Os tópicos analisados no quadro dos cinco porquês chegaram às causas raízes solucionáveis antes do quinto porquê, por isso a última coluna ficou vazia.

Chegando às causas raízes, a etapa de análise chega ao fim dando-se início à etapa de elaboração do plano de ação.

#### 4.4 PLANO DE AÇÃO

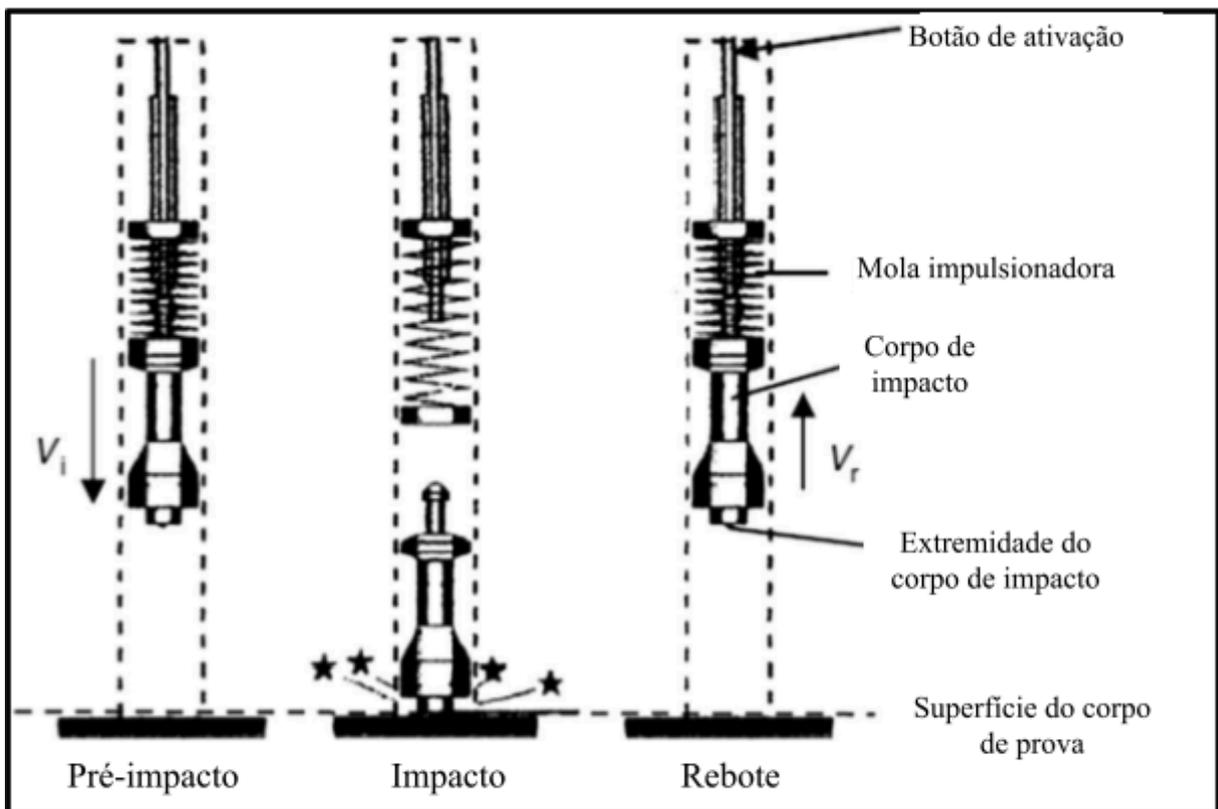
Partindo do resultado da análise de cada tópico, foram elaboradas as ações do plano de ação do projeto. O primeiro tópico abordado foi a ausência de equipamento apropriado para realização de inspeção quanto a propriedade das peças recebidas. Como observado previamente, no caso das peças mais significativas ao processo, a abrasão é o principal fator de desgaste das mesmas, e por isso a propriedade da dureza é tão importante de ser avaliada. O curso de ação então foi achar uma forma de medir a dureza que não fosse destrutiva e pudesse ser utilizada para uma gama de peças com diferentes tamanhos, pesos e geometrias. A opção encontrada foi a aquisição de um durômetro portátil que fosse capaz de aferir dureza em diversas posições e para uma ampla gama de materiais diferentes. O tipo de durômetro que mais se adequa a essas especificações é um durômetro portátil de dureza Leeb.

A escala de dureza Leeb foi projetada em meados de 1970 na empresa suíça Proceq SA, e deve os créditos de sua invenção a Leeb e Brandestini (Escalante et al. 2023). Esse método foi projetado para ser capaz de ensaiar de forma rápida, portátil e confiável uma ampla gama de metais de diferentes durezas. É considerado um teste de dureza dinâmico devido a seu funcionamento, que diferentemente dos métodos de aferição de dureza clássicos, não se baseia em uma indentação, mas sim na energia de rebote de uma esfera de alta dureza (Bertol, 2009).

O princípio de funcionamento da dureza Leeb se baseia na aferição da perda de energia cinética de um corpo de impacto de massa e geometria conhecida quando o mesmo incide sobre a superfície do material a ser analisado. O corpo de impacto fica armazenado dentro de um dispositivo de impacto, que acelera o corpo de impacto, seja por mola ou por queda livre, até uma velocidade conhecida. O corpo de impacto de massa bem definida é acelerado em direção ao corpo de prova que se deseja aferir a dureza, e então ocorre o impacto entre ambos os corpos, fazendo com que parte da energia cinética do corpo de

impacto seja perdida deformando plasticamente a superfície do corpo de prova (Leeb, 1979). Quanto maior a deformação plástica formada no corpo de prova, maior será a variação da energia cinética do corpo de impacto antes e depois do contato entre os corpos. Após o impacto ocorre o rebote, em que o corpo de impacto retorna sua trajetória com uma energia cinética inferior, e a variação da sua energia cinética é aferida pelo dispositivo de impacto (Escalante et al. 2023). As etapas de pré-impacto, impacto e rebote são ilustradas na figura 13.

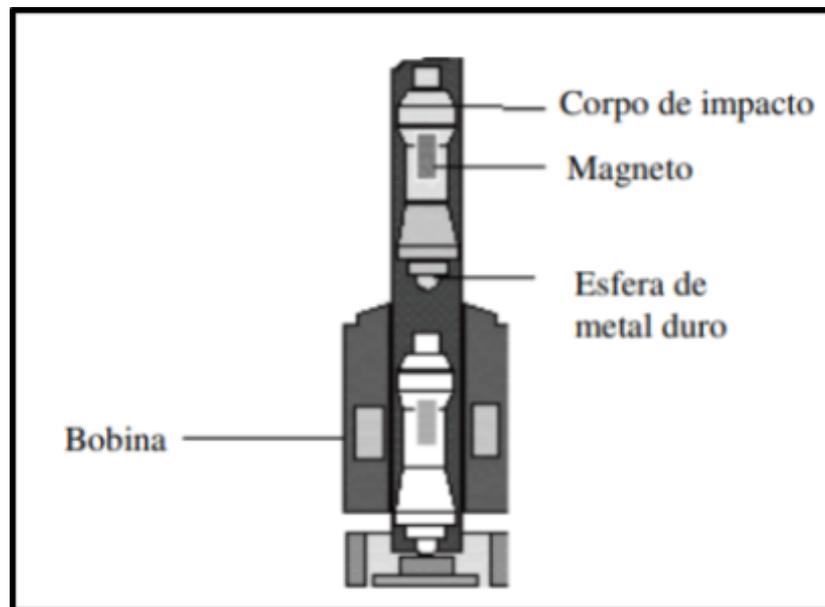
Figura 13 - Exemplificação do processo de impacto de um ensaio de dureza Leeb.



Fonte: Adaptado de Kevlar et al. 2018

A detecção da variação da energia cinética do corpo de impacto durante o processo de rebote se dá por meio de um ímã acoplado no dispositivo de impacto, que, durante a fase de rebote, passa por dentro de uma bobina instalada de forma que a mesma envolve circularmente o canal guia do dispositivo de impacto. Ao passar pela bobina, o ímã gera uma força eletromotriz (FEM), que vai ser proporcional à velocidade de rebote. Partindo do registro da FEM produzida, o equipamento faz o cálculo da dureza do corpo de prova comparado a mesma com a FEM gerada no momento Pré-impacto. A ilustração do ímã e da bobina podem ser vistos na figura 14.

Figura 14 - Bobina e ímã em dispositivo de dureza Leeb.



Fonte: Bertol, 2009

Segundo Escalante et al. 2023, o cálculo para aferição da dureza Leeb feito pelo equipamento adota a equação 4.1:

$$HL = \frac{B}{A} * 1000 \approx \frac{Vr}{Vi} * 1000 \quad (4.1)$$

Onde:

*HL*: Resultado da dureza leeb

*A*: FEM máxima detectado na fase pré-impacto [mV]

*B*: FEM máxima detectado na fase de rebote [mV]

*V<sub>r</sub>*: Velocidade de rebote [m/s]

*V<sub>i</sub>*: Velocidade de impacto [m/s]

O uso do durômetro Leeb é normatizado pela norma ASTM A956, e apresenta sua única forma de calibração o uso de blocos padrão de medição. Pela facilidade de uso, baixo custo e capacidade de aplicação, foi decidido pela aquisição do durômetro deste tipo.

Quanto à falta de fornecimento de certificados no recebimento das peças, a ação planejada foi a padronização do fluxo de recebimento, indicando especificamente quem ficaria responsável pelo recebimento, organização e cobrança dos certificados. Além disso, também foi alinhada uma ratificação com todos os fornecedores sobre a exigência de certificados.

Sobre a mudança de fornecedores, foram feitas tratativas com as áreas de produção para que fosse feita a indicação das peças críticas para cada processo, para que o time de compras fique ciente e só faça mudança de fornecedor após alinhamento prévio com a área de produção.

Sobre a gestão de peças na área de produção, foi idealizada a implementação de um sistema de *kanban* nos armários, com a listagem das peças e formulação de estoque máximo, mínimo, e ponto de reposição.

Por fim as informações do plano de ação foram compiladas em uma planilha de 5W2H representada no quadro 6.

Quadro 6 – Tabela 5W2H com as informações mapeadas no plano de ação

O que?	Por quê?	Quem?	Onde?	Quando?	Como?
<b>Listar peças críticas da área enviar e ao time de compras</b>	Para que o time de compras saiba quais peças devem ter mudança de fornecedor informada	Time de produção	Área de produção	Até 25/11/23	Comparando as peças por grau de importancia e criticidade no processo.
<b>Reestruturar kanban, atualizar planilha de gestão de peças operacionais e Criar controle de peças.</b>	Para se ter o controle necessário com o mínimo de gasto possível.	Autor	Área de produção	Até 30/11/23	Estudando as máquinas de fazer treliças e vendo dados históricos sobre consumo das peças
<b>Implementar análise quanto a dureza na área de recebimento de peças</b>	Para assegurar a qualidade das peças compradas.	Autor	Almoxarifado	Até 25/12/23	Comprar durometro Leeb
<b>Voltar a exigir Certificado para peças</b>	Para assegurar a qualidade das peças compradas.	Inspetor técnico	Time de compras + almoxarifado	Até 25/12/23	Padronizando recebimento de peças e Comunicando aos fornecedores

Fonte: Autoria própria

Ao fim da formulação do plano de ação, o mesmo foi repassado com todas as partes envolvidas e as ações tomaram seguimento.

#### 4.5 AÇÃO

A ação iniciou-se pela listagem de peças críticas da área. Foram analisados mapas de processo e dados históricos. As peças analisadas no Pareto da fase de identificação também foram utilizadas para alcançar a lista completa de peças críticas ao processo. Essa listagem foi enviada em formato de documento interno para o time de compras, que passou a referenciar antes de fazer qualquer mudança de fornecedores.

A segunda ação foi a reestruturação da gestão de sobressalentes da área. Os armários foram organizados e limpos, seguindo os fundamentos do 5S. Além disso, foi criada uma lista com todas as peças, constando quantidades mínimas, máximas e pontos de reposição, que foram calculados com base em indicações do fabricante da máquina. Um exemplo dessa listagem de peças é mostrado no quadro 7.

Quadro 7 - Exemplo do modelo de tabela criado para estruturar o kanban das peças.

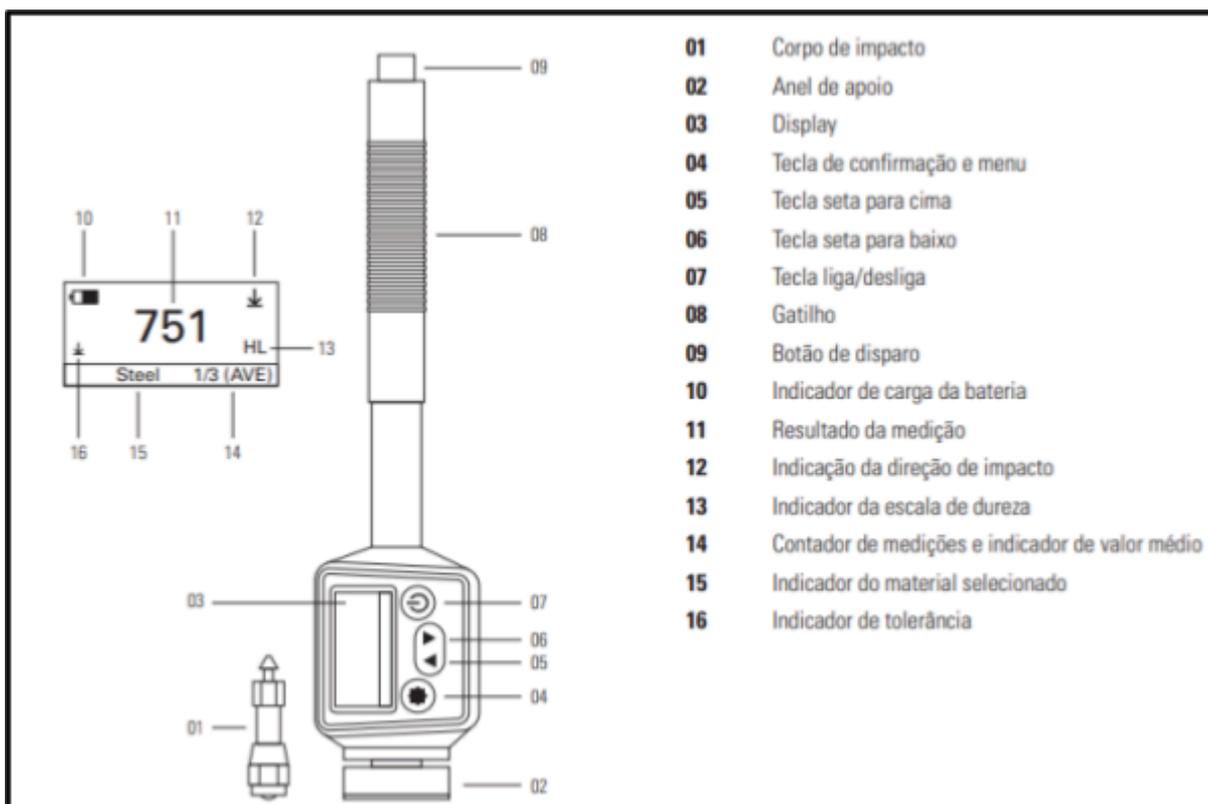
Localização	Descrição	Estoque máximo	Ponto de reposição	Estoque mínimo
ARMÁRIO E PRATELEIRA	Nome da peça			
ARMÁRIO E PRATELEIRA	Nome da peça			
ARMÁRIO E PRATELEIRA	Nome da peça			
ARMÁRIO E PRATELEIRA	Nome da peça			
ARMÁRIO E PRATELEIRA	Nome da peça			
ARMÁRIO E PRATELEIRA	Nome da peça			

Fonte: Autoria própria

Partindo das informações inseridas nessa tabela, foram colocados adesivos verdes, amarelos e vermelhos nas prateleiras dos armários, para separar cada quantitativo de peça por uma cor. Vermelho sendo estoque crítico, amarelo ponto de reposição, e verde estoque cheio.

A terceira ação foi a compra do durômetro Leeb. Para essa ação foi feito orçamento de durômetros que se enquadrassem nos requisitos mínimos necessários. E ao fim do orçamento foi feita a compra do durômetro Leeb MTK 1001 da empresa Metro Tokyo. É possível observar a ilustração do durômetro adquirido na figura 15.

Figura 15 - Ilustração do durômetro adquirido fornecida pelo fabricante



Fonte: Manual do fabricante

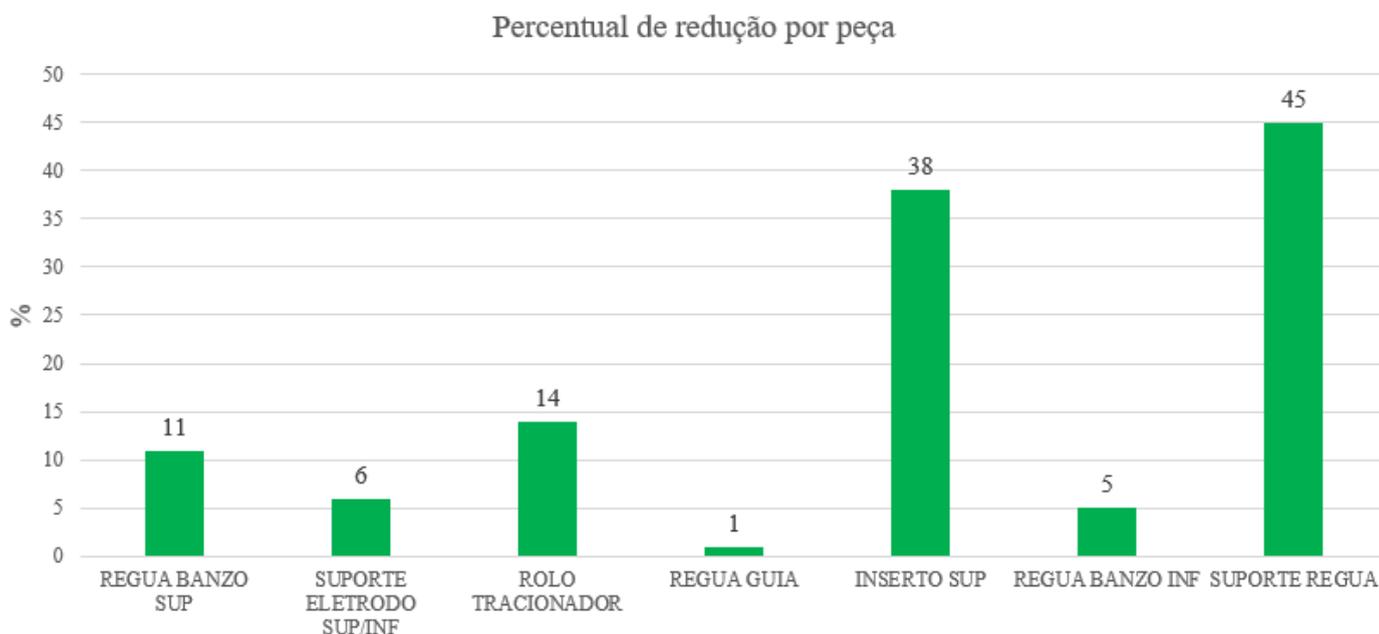
A quarta e última ação foi acerca dos certificados de qualidade das peças. A princípio foi enviado um comunicado a todos os fornecedores lembrando a necessidade de fornecimento de certificados de qualidade. Além disso, foi padronizado que o inspetor de peças do almoxarifado ficaria responsável pela manutenção do recebimento desses certificados.

#### 4.6 CHECAGEM

A checagem englobou os meses de Janeiro e Fevereiro deste ano, em que as ações já estavam implantadas na área, e comparou os mesmos com a média de consumo por peça

mensal do ano de 2023. O resultado da redução percentual de consumo das peças mais significativas no crescimento de gasto podem ser observadas no gráfico 4.

Gráfico 5 – Redução percentual do consumo das peças mais impactantes.



Fonte: Autoria própria

Apesar dos dados se mostrarem promissores nos dois meses avaliados, é um espaço de tempo muito curto para assegurar que não haverá variações nos resultados.

#### 4.7 PADRONIZAÇÃO

Todas as ações realizadas estão em processo de padronização, entretanto, esta etapa ainda necessita de mais dados da fase de checagem para ser posta em prática. As ações serão padronizadas em modelos internos da empresa e os colaboradores serão treinados, caso a checagem continue a dar resultados positivos.

## 5 CONCLUSÃO

Foi possível concluir por meio deste projeto que os conhecimentos na área de engenharia de materiais somados a ferramentas da qualidade como MASP e 5S, têm grande potencial de solucionar problemas práticos das indústrias brasileiras. Principalmente quando falamos da indústria de transformação, seguimento industrial esse que, consome, fabrica e altera materiais diariamente. Vale ressaltar ainda a importância, observada ao longo do projeto, que a qualidade dos materiais de engenharia representam para atividades extremas como a conformação plástica de aços.

As checagem iniciais apresentaram resultado promissor, com redução de custo com todas as peças de maior influência nos custos das máquinas de produzir treliças.

## **6 PERSPECTIVAS FUTURAS**

- Realizar checagem mais aprofundada para garantir que não haja grandes variações nos resultados.
- Finalizar a padronização das ações
- Observar outras propriedades importantes nas peças, como resistência à fadiga e condutividade.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**2023 world steel in figures.** Brussels, Belgium: World Steel Association, 2023. Disponível em: [https://worldsteel.org/publications/bookshop/?filter\\_publication-subject=steel-data-and-statistics](https://worldsteel.org/publications/bookshop/?filter_publication-subject=steel-data-and-statistics) Acesso em: 14/08/2023.

AKANUMA, H. (2005). "**The significance of the composition of excavated iron fragments taken from Stratum III at the site of Kaman-Kalehöyük, Turkey**". *Anatolian Archaeological Studies*. Tokyo: Japanese Institute of Anatolian Archaeology. **14**: 147–158.

APOSTILA GERDAU AC-243-**Lingotamento contínuo** – 06/08/2013 pág 06.

APOSTILA GERDAU LAM-502-**Fundamentos da Laminação, versão IV** - 19/09/2011.

APOSTILA GERDAU TRE-001-**Introdução a trefila, Versão B** – 05/12/2007 pág 05.

APOSTILA GERDAU TRE-092-**Trefilação com cassetes** – 08/09/2011 pág 10.

APOSTILA GERDAU TEL-002-**Treliças: armaduras em fios de aço** – 08/09/2011 pág 10.

APOSTILA GERDAU, ACIARIA ACI-008- **Operação de Pontes Rolantes na Preparação de Cestões**, revisão C – 17/12/2007, pág 23.

BERTOL, Helton Claudio. **Determinação de critérios para aceitação de medições de dureza realizadas com durômetros portáteis em regiões de soldas.** 2009.

BHARAMBE V, Patel S, Moradiya P, Acharya V. **Implementation of 5S in Industry: a Review.** Multidisciplinary International Research Journal of Gujarat Technological University. 2020.

BREHM, Feliciane Andrade. **Produção de padrões para análise espectrométrica por emissão óptica de uma liga de aço AISI/SAE 1020.** 1999.

CALDAS, José Augusto de Castro. **Análise de duas rotas tecnológicas na siderurgia brasileira com foco na eficiência energética.** 2011.

CALLISTER Jr., William D., and David G. Rethwisch. **Callister's materials science and engineering.** John Wiley & Sons, 2020.

CAMPOS, Renato et al. **A ferramenta 5S e suas implicações na gestão da qualidade total. Simpep–Simpósio de Engenharia de Produção**, v. 12, p. 685-692, 2005.

CHIAVERINI, Vicente (1986). **Tecnologia Mecânica.** São Paulo: McGraw Hill. 146 páginas

DE AVILA NETO, Clovis Antunes et al. **Aplicação do 5W2H para criação do manual interno de segurança do trabalho. Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 20) Ano 2016**, 2016.

DIAS, Gabriel Silva. **Eletrodos de W-Cu para máquinas de treliças**. 2022.

ESCALANTE QUISPE, Jordi Fredy; SANJINES HUALPA, Juan Augusto. **Implementación y estimación de la incertidumbre de un módulo de durómetros portátiles para evaluar la dureza superficial de componente mecánicos según las normas ASTM A-956 y ASTM A-1038 para el laboratorio de materiales de la EPIMMEM de la UCSM**. 2023.

FERNANDES, Lucas Sônego. **Redução do excesso da camada de zinco em linha de galvanização de arames**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

GONZÁLEZ-VELÁZQUEZ, Jorge Luis. **Fractography and failure analysis**. Vol. 24. Switzerland: Springer International Publishing, 2018.

**História do aço**. Rio De Janeiro, Brasil. INSTITUTO AÇO BRASIL, 2023. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/historia-do-aco/> Acesso em 10/09/2023.

NOLDIN, J. H. Jr. **Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes auto redutores**. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Puc - Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

KEY, Barbara A. **Five Whys Root Cause System Effectiveness: A Two Factor Quantitative Review**. 2019.

KOVLER, Konstantin; WANG, Fengzhe; MURAVIN, Boris. **Testing of concrete by rebound method: Leeb versus Schmidt hammers**. *Materials and Structures*, v. 51, n. 5, p. 138, 2018.

LEÃO, Guilherme Valença de Souza et al. **Utilização de uma metodologia masp durante evento kaizen em indústria siderúrgica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.

LEEB, D. **Dynamic hardness testing of metallic materials**. *NDT International*, v. 12, n. 6, p. 274-278, 1979.

MADDIN, Robert; MUHLY, James D.; WHEELER, Tamara S. **How the iron age began**. *Scientific American*, v. 237, n. 4, p. 122-131, 1977.

OHNO, Taiichi. **Toyota production system: beyond large-scale production**. Productivity press, 1988.

HUANG, Chun-Che; KUSIAK, Andrew. **Overview of Kanban systems**. 1996.

**Relatório anual Gerdau 2021**. Gerdau S.A. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/relatorio-anual-2021/> Acesso em: 14/08/2023.

SALVADORI, Thais Silvério. **Nova abordagem no Método de Análise e Solução de Problemas (MASP)**. 2021.

SHEIKH, Haseeb Javeed; SINGH, T. **Comparative Analysis of Annealed AISI D6 and D2 Cold Working Steel**. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, v. 9, n. 4, p. 112-127, 2021.

SILVA,A, William Felipe da. **Utilização do MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) na melhoria do fluxo de informações: Um estudo de caso.** 2014.

VIANA, Fernando Luiz E. **Indústria: Indústria Siderúrgica.** Fortaleza: BNB, ano 8, n.289, maio. 2023. (Caderno Setorial Etene)

ROCKWELL, H.M. & S.P. Rockwell, "**Hardness-Tester**", U.S. patent 1,294,171, 1919.