

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
Campus Ibirubá**

GUILHERME STAUDT DE ANDRADE

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Melhoria contínua na alteração de um processo de
fabricação em uma indústria metal mecânica**

**Ibirubá
2023**

GUILHERME STAUDT DE ANDRADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Melhoria contínua na alteração de um processo de
fabricação em uma indústria metal mecânica

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Banca Examinadora
designada pelo Curso de Engenharia
Mecânica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia, Campus
Ibirubá, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Área de concentração: Gestão e
monitoramento de processo industrial

Orientador: Prof. Me. Flávio Roberto
Andara

Ibirubá

2023

Andrade, Guilherme S

Melhoria contínua na alteração de um processo de fabricação em uma indústria metal mecânica / Guilherme Staudt de Andrade

Orientador: Prof. Me. Flávio Roberto Andara

Monografia (graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Ibirubá 2023.

Gestão. Melhoria. Processos. Controle. Indústria.

**Melhoria contínua na alteração de um processo de
fabricação em uma indústria metal mecânica**

Guilherme Staudt de Andrade

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 06 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. (orientador) Me. Flávio Roberto Andara
IFRS campus Ibirubá

Prof. Me. Giancarlo Stefani Schleder
IFRS campus Ibirubá

Prof. Dr. Adão Felipe Oliveira Skonieski
IFRS campus Ibirubá

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados durante todos os meus anos de estudos.

Aos meus pais e irmão que me apoiaram em todas as decisões desde o início da minha escolha profissional, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao meu gerente e colegas de trabalho por toda a bagagem até o momento, foi de suma importância para a realização do TCC e pelo meu conhecimento adquirido até hoje.

Ao meu orientador por ter me guiado da melhor maneira possível, desempenhando sua função com dedicação e amizade.

Aos professores, em geral, por todos os conhecimentos passados da melhor forma possível, pelos conselhos na vida acadêmica, profissional e pessoal.

RESUMO

A indústria metal mecânica desempenha um papel vital na economia global, fornecendo produtos essenciais para uma ampla gama de setores industriais. No entanto, a necessidade de permanecer competitiva em um ambiente de negócios em constante evolução exige a busca por aprimoramentos nos processos de fabricação. A melhoria contínua emerge como uma estratégia fundamental para atender essa demanda, promovendo eficiência, redução de custos e qualidade superior. Este trabalho de conclusão de curso (TCC) se concentra na aplicação da melhoria contínua na alteração de um processo de fabricação em uma indústria metal mecânica. O objetivo central é o desenvolvimento de um processo de fabricação distinto de um componente soldado para um componente obtido a partir de um processo de fundição mantendo os mesmos requisitos de projeto. A pesquisa contribui para um entendimento mais profundo das técnicas e práticas de melhoria contínua aplicadas a processos de fabricação na indústria metal mecânica. Os resultados deste estudo fornecem insights valiosos que podem ser utilizados para aprimorar a eficiência operacional, reduzir custos e elevar a qualidade dos produtos nesse setor em constante evolução. Além disso, o TCC ressalta a importância da atualização de processos e melhoria contínua como uma estratégia essencial para manter a competitividade em um mercado industrial dinâmico e desafiador.

Palavras chave: Gestão. Melhoria. Processos. Controle. Indústria.

ABSTRACT

The metalworking industry plays a vital role in the global economy, supplying essential products to a wide range of industrial sectors. However, the need to remain competitive in a constantly evolving business environment requires the search for improvements in manufacturing processes. Continuous improvement has emerged as a key strategy to meet this demand, promoting efficiency, cost reduction and superior quality. This end-of-course work focuses on the application of continuous improvement in the alteration of a manufacturing process in a metalworking industry. The central objective is the development of a different manufacturing process from a welded component to a component obtained from a casting process while maintaining the same design requirements. The research contributes to a deeper understanding of continuous improvement techniques and practices applied to manufacturing processes in the metalworking industry. The results of this study provide valuable insights that can be used to improve operational efficiency, reduce costs and raise product quality in this constantly evolving sector. In addition, the TCC highlights the importance of updating processes and continuous improvement as an essential strategy for maintaining competitiveness in a dynamic and challenging industrial market.

Key words: Management. Improvement. Processes. Control. Industry.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTM = *American Society for Testing and Materials*

C.S = Coeficiente de Segurança

FNQ = Fundação Nacional da Qualidade

G.G.F = Gastos Gerais de Fabricação

MEF = Método dos Elementos Finitos

MEG = Modelo de Excelência da Gestão

MP = Matéria Prima

M.O.D = Mão de Obra Direta

M.O.I = Mão de Obra Indireta

PDCA = *Plan, Do, Check, Act.*

TQM = *Total Quality Management*

VM = *Von Mises*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Molde para vazamento de metal líquido.....	17
Figura 2 – Máquina de injeção de metal fundido.....	18
Figura 3 – Processo fundição centrífuga.....	19
Figura 4 – Processo fundição cera perdida.....	20
Figura 5 – Conjunto soldado travamento chassi.....	26
Figura 6 – Conjunto soldado abraçadeira tubo 80x80mm.....	27
Figura 7 – Conjunto soldado abraçadeira tubo 100x80mm.....	27
Figura 8 – Vista isométrica conjunto montado.....	28
Figura 9 – Vista lateral conjunto montado.....	28
Figura 10 – Desenho conjunto montado travamento estrutura chasis.....	29
Figura 11 – Fluxograma conjunto soldado.....	30
Figura 12 – Plano de corte.....	32
Figura 13 – Desenho cotas requisito de projeto soldado.....	37
Figura 14 - Fluxograma Fundidos.....	38
Figura 15 - Desenho cotas requisito de projeto fundido.....	44
Figura 16 - Resultados para escoamento do conjunto soldado.....	46
Figura 17 – Resultados para escoamento do conjunto fundido.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações ASTM A572 Grau 50.....	25
Tabela 2 - Tempo de processos travessa soldada.....	31
Tabela 3 - Tempo de processos abraçadeira soldada.....	33
Tabela 4 - Tempo conjunto completo.....	34
Tabela 5 - Custos travessa soldada.....	35
Tabela 6 - Custos abraçadeiras.....	36
Tabela 7 - Custo componente completo.....	36
Tabela 8 - Tempo de processos travessa fundida.....	39
Tabela 9 - Tempo de processos abraçadeira fundida.....	40
Tabela 10 - Tempo conjunto completo.....	41
Tabela 11 - Custos travessa fundida.....	42
Tabela 12 - Custos abraçadeira fundida.....	43
Tabela 13 - Custo total conjunto montado.....	43
Tabela 14 - Valores de acelerações no eixo cartesiano.....	45
Tabela 15 - Coeficiente de segurança.....	46
Tabela 16 – Propriedades mecânicas para ferros fundidos nodulares conforme DIN 1693.....	47
Tabela 17 - Comparação dos tempos de processos.....	48
Tabela 18 - Comparação dos custos.....	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivos específicos	14
1.3	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	GESTÃO DE PROCESSOS	15
2.2	SOLDAGEM.....	16
2.3	FUNDIÇÃO	17
2.4	FERRAMENTAS DA QUALIDADE	21
2.5	CUSTOS	23
2.6	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	APLICAÇÃO DO COMPONENTE.....	25
3.2	COLETA DE DADOS DOS CONJUNTOS SOLDADOS	30
3.2.1	Roteiro de processo	30
3.2.2	Tempo de processo	31
3.2.3	Custos	35
3.2.4	Requisitos de projeto	37
3.3	COLETA DE DADOS DOS FUNDIDOS	38
3.3.1	Roteiro de processo	38
3.3.2	Tempo de processo	39
3.3.3	Custos	42
3.3.4	Requisitos de projeto	44
3.4	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	45
3.4.1	Análise estrutural conjunto soldado	46
3.4.2	Análise estrutural conjunto fundido	47

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE PROCESSOS	48
4.2	COMPARAÇÃO DOS CUSTOS	49
4.3	COMPARAÇÃO ANÁLISES ESTRUTURAIS	50
5	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A busca constante pela otimização e aprimoramento de processos industriais é um tema fundamental para a competitividade e a eficiência das empresas no cenário global. Diante disso, a melhoria contínua de processos desempenha um papel crucial, permitindo que as organizações atinjam níveis mais elevados de produtividade, qualidade e eficácia.

No âmbito da indústria metal mecânica, um setor altamente dinâmico e sujeito a desafios constantes, a necessidade de aprimorar processos é ainda mais necessária. Este trabalho de conclusão de curso (TCC) tem como objetivo investigar e analisar a aplicação da melhoria contínua na alteração de um processo de fabricação em uma indústria metal mecânica, com ênfase na identificação e implementação de práticas e estratégias que possam levar a ganhos em termos de eficiência operacional, redução de custos e aumento da satisfação do cliente.

Serão utilizadas ferramentas e técnicas de gestão de processos com o objetivo de analisar os dados recolhidos e fazer a comparação de processos distintos. Segundo Braga & Vieira (2019), as ferramentas e técnicas de gestão de processos desempenham um papel crucial na análise e melhoria dos processos. No Brasil, a aplicação de ferramentas como mapeamento de processos, análise de causa e diagrama de Ishikawa tem sido amplamente adotada.

Através deste estudo, pretende-se contribuir para o avanço da gestão de processos na indústria metal mecânica, fornecendo conhecimento sobre como as técnicas de melhoria contínua podem ser aplicadas com sucesso para enfrentar os desafios deste setor.

1.1 JUSTIFICATIVA

O mercado agrícola vem de um crescimento significativo nas últimas décadas, impulsionado pela necessidade de atender à crescente demanda por alimentos e matérias-primas. Com isso, a confiabilidade e durabilidade dos componentes das máquinas agrícolas são fatores cruciais para garantir a eficiência das operações agrícolas e reduzir os custos de manutenção.

Este TCC propõe um projeto baseado na produção de um componente para máquinas agrícolas com ênfase em um processo de produção distinto, substituindo os tradicionais componentes soldados por uma solução mais rápida e eficaz. A justificativa para essa abordagem é fundamentada em várias razões:

- **Atendimento à Demanda do Mercado:** O aumento da demanda no mercado agrícola exige soluções inovadoras para otimizar a eficiência das máquinas agrícolas e seu tempo de fabricação.
- **Redução de custos de manutenção:** Componentes mais duráveis e resistentes podem resultar em redução dos custos de manutenção, aumentando a rentabilidade para os agricultores e operadores de máquinas agrícolas.
- **Adaptação a diferentes condições de solo:** A versatilidade do componente projetado permite sua aplicação eficaz em diversos tipos de solo, melhorando o desempenho das máquinas agrícolas em ambientes variados.
- **Sustentabilidade:** A busca por soluções mais duradouras contribui para a sustentabilidade, pois reduz a necessidade de substituição frequente de componentes e, conseqüentemente, a geração de resíduos.
- **Contribuição tecnológica:** A pesquisa e desenvolvimento de novos processos de produção e materiais podem contribuir para a evolução tecnológica na indústria agrícola.

Dessa forma, o projeto proposto é justificado pela necessidade de componentes mais robustos e duráveis no mercado agrícola, com potencial para melhorar a eficiência e a sustentabilidade das operações. Além disso, ele contribuirá para o avanço tecnológico na indústria agrícola, atendendo às crescentes demandas do setor.

1.2 OBJETIVOS

Desenvolvimento de um processo de fabricação distinto de um componente soldado para um componente obtido a partir de um processo de fundição mantendo os mesmos requisitos de projeto.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Estudo dos processos fabris;
2. Análise de tempos de processos;
3. Análise de custos dos processos;
4. Estudo das análises estruturais;
5. Protótipo do componente a ser estudado.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho limita-se na avaliação e possibilidade da alteração de um produto que é construído de aço ASTM A572, tendo como processos produtivos o corte, dobra, solda e linha de pintura por um produto que atenderá as mesmas solicitações, porém será obtido por um processo de fundição em areia obtendo um produto de ferro fundido nodular. Nesta avaliação, também será discutido os custos de produção e nesse momento entra a avaliação da depreciação de máquinas, assunto relevante para a gestão de processos, entretanto não será discutido em seus detalhes por se considerar um tópico que necessitaria de uma extensão teórica e cálculos para seu perfeito entendimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conhecimentos básicos relacionados ao tema da pesquisa. Também serão apresentados conceitos sobre gestão de processos, soldagem, fundição, ferramentas da qualidade, custos industriais e análise estrutural.

2.1 GESTÃO DE PROCESSOS

A gestão de processos é fundamental para melhorar a eficiência e eficácia das organizações por meio da análise, otimização e monitoramento dos processos de negócios. Ela desempenha um papel crucial na busca pela excelência operacional e na adaptação às mudanças de mercado.

A gestão de processos no Brasil tem evoluído ao longo das décadas, acompanhando a globalização e as demandas crescentes por produtividade e qualidade. Inicialmente, as organizações brasileiras adotaram abordagens como o Total Quality Management (TQM) e, posteriormente, passaram a incorporar métodos mais avançados, como o Seis Sigma e o Lean (Campos, 1992).

Diversos modelos são amplamente utilizados na gestão de processos. No contexto brasileiro, o Modelo de Excelência da Gestão (MEG) da Fundação Nacional da Qualidade (FNQ) se destaca como uma referência importante para a avaliação e melhoria de processos (FNQ, 2020).

A tecnologia desempenha um papel cada vez mais importante na gestão de processos. Sistemas de Gerenciamento de Processos de Negócios (BPM) são utilizados para automatizar e monitorar fluxos de trabalho, tornando os processos mais eficientes e transparentes (Dutra, 2015).

A gestão de processos no Brasil enfrenta desafios relacionados à resistência à mudança e à necessidade de integração de processos em um ambiente cada vez mais digital. Perspectivas futuras incluem a aplicação de inteligência artificial e automação avançada para melhorar ainda mais a eficiência e a eficácia dos processos (Ribeiro & Fernandes, 2017).

A gestão de processos desempenha um papel vital na busca pela excelência operacional e competitividade das organizações no Brasil. Com uma base sólida de

teoria e prática, as organizações podem alcançar níveis mais altos de eficiência e eficácia em seus processos.

2.2 SOLDAGEM

A soldagem é um processo amplamente utilizado em diversas indústrias para unir materiais, criando uma conexão sólida entre as peças. Ela desempenha um papel fundamental na fabricação de estruturas metálicas, componentes automotivos, equipamentos eletrônicos e em muitos outros setores.

A revolução industrial trouxe avanços significativos nessa área de conhecimento com o processo de soldagem por arco elétrico no início do século XX (Cary & Helzer, 2005).

Existem vários processos de soldagem, cada um com suas características e aplicações específicas, dentre elas:

- Soldagem a Arco Elétrico: Este é um dos métodos mais comuns, envolvendo a criação de um arco elétrico entre o eletrodo e a peça de trabalho para fundir o metal de adição e as peças a serem unidas (Kou, 2002).
- Soldagem a Gás: Nesse processo, um gás é usado para proteger a poça de fusão do metal, evitando a contaminação por oxigênio (Cary & Helzer, 2005).
- Soldagem por Resistência: Esse método envolve a passagem de uma corrente elétrica através das peças a serem unidas, criando calor por resistência elétrica (Kou, 2002).

A metalurgia da soldagem é um campo crítico para entender o comportamento dos materiais durante o processo de soldagem. Ela envolve o estudo das mudanças na microestrutura do metal de base e do metal de adição devido à soldagem, bem como a influência dessas mudanças nas propriedades mecânicas e químicas dos materiais (Kou, 2002).

A soldagem desempenha um papel vital na fabricação moderna e em diversas indústrias. Para garantir a integridade estrutural e a qualidade dos produtos, é fundamental compreender os processos de soldagem, a metalurgia envolvida, os defeitos possíveis e as técnicas de controle de qualidade.

2.3 FUNDIÇÃO

A fundição é um processo essencial na indústria metalúrgica que envolve a transformação de metal líquido em uma forma sólida através do uso de moldes. É amplamente empregada na produção de peças metálicas em diversos setores, como automobilístico, construção civil, agrícola, aeronáutica e muitos outros.

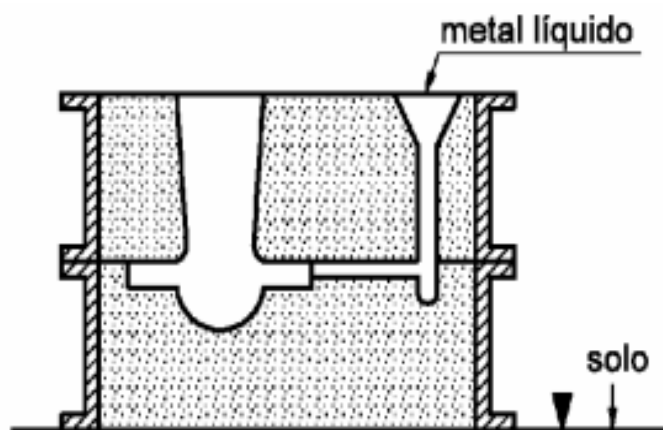
A história da fundição no Brasil está ligada ao desenvolvimento da indústria nacional. Desde os tempos coloniais, a fundição desempenhou um papel importante na produção de objetos de ferro, como utensílios domésticos e ferramentas (Loureiro, 2010).

Este processo abrange uma variedade de técnicas e métodos, cada um dos quais adequado para diferentes aplicações. Alguns dos tipos mais comuns de fundição incluem:

- Fundição em Areia:

A fundição em areia é um dos métodos mais tradicionais. Envolve o uso de moldes de areia para criar peças metálicas. Esses moldes podem ser temporários ou permanentes, dependendo das necessidades de produção. A figura 1 o molde pronto para vazamento de metal líquido.

Figura 1 – Molde para vazamento de metal líquido



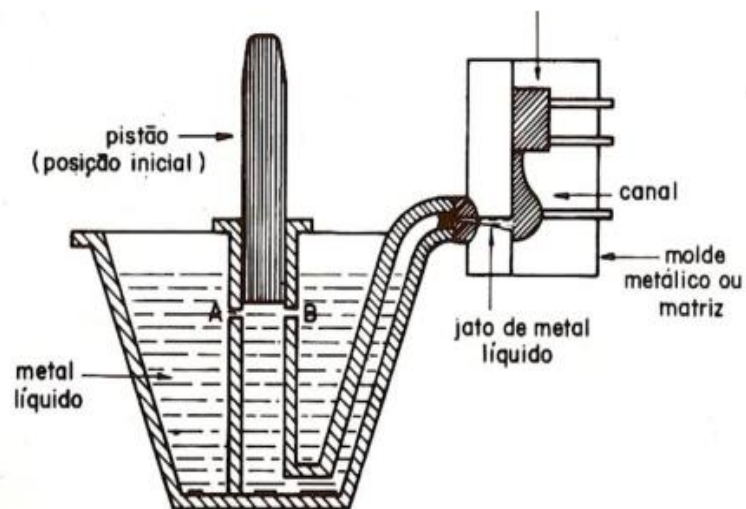
Fonte: Dias et al. (2016)

O período de solidificação é afetado pelas dimensões da peça fundida. Após o processo de resfriamento, o molde é deliberadamente quebrado, entretanto, o material original não é descartado e a peça final é, então, extraída. Após a etapa de desmoldagem, a peça passa por procedimentos de acabamento superficial, que englobam tratamentos térmicos e usinagem (Dias et al., 2016).

- Fundição sob Pressão:

A fundição sob pressão é um processo que envolve a injeção de metal derretido em moldes com alta pressão. É comum em aplicações que exigem alta precisão. A figura 2 ilustra uma máquina de injeção de metal fundido. Observa-se que o movimento vertical do pistão gera pressão sob o metal líquido que sobe e preenche toda a matriz metálica. O molde então é aberto e a peça é retirada.

Figura 2 – Máquina de injeção de metal fundido



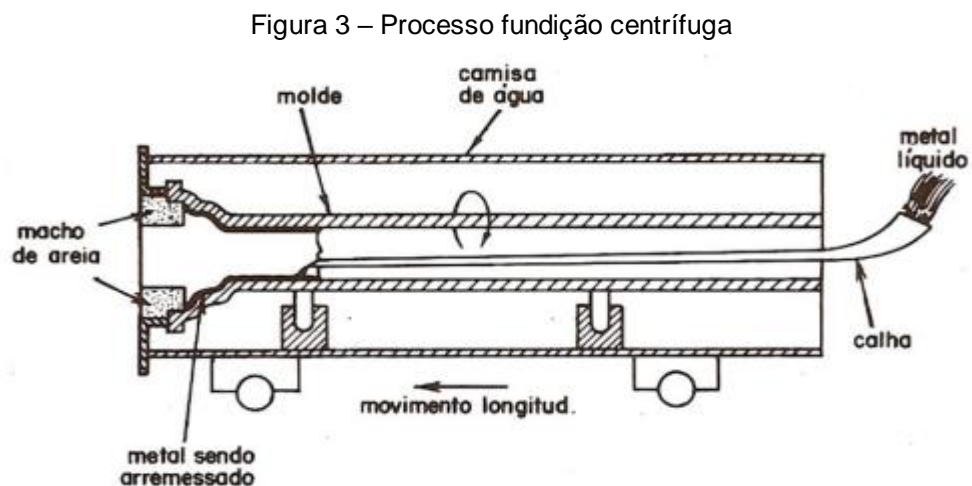
Fonte: Costa (2000)

Muitas vezes, após o processo de fundição, dependendo das tolerâncias dimensionais definidas pelo projeto não é preciso realizar operações de usinagem para finalização, resultando em uma redução nos custos de produção. As peças fabricadas por meio da fundição sob pressão se destacam pela sua superfície limpa e brilhante.

Porém, os moldes têm custo elevado, tendo limitação de peças com peso entre 0,25 a 25kg e limitação quanto às ligas utilizadas no processo (COSTA, 2000).

- Fundição Centrífuga:

Consiste na produção para a criação de tubos, cilindros e buchas, sejam eles de natureza mecânica ou não. No processo, o aço em estado líquido é derramado em um molde de metal previamente aquecido que está em movimento, permitindo que o aço se molde às paredes do molde devido ao movimento circular e à força centrífuga aplicada ao metal. A figura 3 ilustra o processo.



Fonte: Viana (2002)

Em razão de se tratar de um processo que tem como característica principal a expulsão do metal com o metal ainda líquido, a solidificação e contração se dão de forma rápida e homogênea, sempre de fora para dentro.

Dependendo do peso e dimensão do tubo é possível se produzir uma escala maior de peças. O vazamento do metal líquido no molde se dá em aproximadamente 28 Kg/seg. (VIANA, 2002).

- Fundição por Cera Perdida:

A fundição por cera perdida, também conhecida como fundição de precisão, envolve a criação de um modelo de cera que é coberto com material cerâmico e, em seguida, o modelo de cera é derretido, deixando um molde vazio para o metal. O processo é demonstrado na figura 4 abaixo:

Figura 4 – Processo fundição cera perdida



Fonte: Dias et al. (2016)

A técnica de fundição de precisão conhecida como cera perdida tem vindo a adquirir um crescente destaque em escala global, principalmente devido a motivos econômicos. Esse método tem sido aplicado com sucesso na produção de componentes de dimensões maiores e ligas com desafios de fusão.

A escolha dos materiais e ligas é fundamental na fundição. O Brasil possui uma rica variedade de minérios metálicos, o que contribui para a produção de diversas ligas metálicas usadas na fundição, como o alumínio, ferro fundido e ligas de cobre (Dias et al., 2016).

Com o avanço da tecnologia, a fundição no Brasil tem adotado sistemas de controle de processo mais avançados, como a automação de fornos, sistemas de controle de qualidade por imagens e análise termográfica (Dias et al., 2016).

A sustentabilidade tem se tornado uma preocupação crescente na indústria de fundição brasileira. O desenvolvimento de técnicas mais eficientes e limpas, como a reciclagem de resíduos de fundição, tem sido enfatizado para reduzir o impacto ambiental (Anastácio et al., 2016).

Concluindo, vê-se que esse processo desempenha um papel fundamental na indústria brasileira, com uma história rica e um impacto significativo na produção de peças metálicas. O país enfrenta desafios e oportunidades na busca por maior eficiência, qualidade e sustentabilidade na fundição.

2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

O gerenciamento da qualidade é fundamental para melhorar processos e produtos nas organizações, visando a satisfação do cliente e a competitividade. Uma parte essencial do gerenciamento da qualidade é o uso de ferramentas específicas que auxiliam na análise e melhoria dos processos. (Deming, 1986).

As ferramentas da qualidade têm suas raízes nas contribuições de pioneiros como Walter A. Shewhart, cujo trabalho em gráficos de controle definiu o início do controle estatístico da qualidade (Shewhart, 1931). Posteriormente, os ensinamentos de W. Edwards Deming e Joseph M. Juran desempenharam um papel crucial na disseminação das ferramentas da qualidade e na abordagem total da qualidade (Deming, 1986; Juran, 1951).

O ciclo PDCA (ciclo de melhoria contínua) é um modelo de gestão que envolve quatro etapas interligadas: Planejar, Executar, Verificar e Agir. O PDCA é uma estrutura fundamental para a aplicação das ferramentas da qualidade, fornecendo um método sistemático para identificar, analisar e melhorar processos (Deming, 1986).

Abaixo serão mencionadas as principais ferramentas da qualidade utilizadas dentro de uma indústria:

- Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe): Desenvolvido por Kaoru Ishikawa, essa ferramenta é usada para identificar e categorizar as possíveis causas de um problema, permitindo uma análise mais profunda (Ishikawa, 1990).
- Histograma: Um gráfico de barras usado para representar a distribuição de dados e identificar padrões, desenvolvido por Karl Pearson (Pearson, 1895).
- Diagrama de Pareto: Baseado no trabalho de Vilfredo Pareto, essa ferramenta auxilia na priorização de problemas, identificando os principais fatores que contribuem para um problema (Pareto, 1896).
- Diagrama de Dispersão: Usado para visualizar a relação entre duas variáveis, auxiliando na identificação de correlações (Pearson, 1903).
- Gráficos de Controle: Desenvolvidos por Walter Shewhart, esses gráficos ajudam a monitorar a estabilidade de um processo ao longo do tempo, identificando desvios e variações (Shewhart, 1931).
- 5 Porquês: Uma técnica simples, mas poderosa, para identificar a causa raiz de um problema, desenvolvida como parte do Sistema Toyota de Produção (Ohno, 1988).
- Fluxograma: É uma representação gráfica de um processo, sistema ou procedimento. Ele é uma ferramenta amplamente usada para visualizar e documentar sequências de atividades, decisões, ações e interações em uma maneira lógica e fácil de entender. Os fluxogramas usam símbolos gráficos e setas para mostrar o fluxo de informações ou materiais por meio de um processo (Oliveira, 2020)

Em relação às suas vantagens e benefícios, o uso eficaz das ferramentas da qualidade pode resultar em melhoria da qualidade do produto, a redução de custos operacionais, o aumento da satisfação do cliente e a vantagem competitiva.

Portanto, as ferramentas da qualidade desempenham um papel crucial no gerenciamento da qualidade e na melhoria contínua dos processos organizacionais.

Com uma base sólida de teoria e prática, as organizações podem alcançar níveis mais altos de qualidade, eficiência e competitividade.

2.5 CUSTOS

A gestão de custos desempenha um papel crucial na indústria metalúrgica, onde a eficiência e a competitividade são essenciais. Ela envolve a identificação, análise e controle dos custos associados aos processos de fabricação e produção.

A indústria metalúrgica lida com uma variedade de custos de produção, incluindo custos de matéria-prima, mão de obra direta, custos indiretos de fabricação e custos de depreciação de ativos (Martins & Laugeni, 2005).

Diferentes sistemas de custeio são aplicados em indústrias metalúrgicas para alocar custos aos produtos. O sistema de custeio por absorção é comumente utilizado para cumprir as exigências contábeis e fiscais, enquanto o custeio baseado em atividades (ABC) é adotado para uma alocação mais precisa de custos indiretos (Horngren et al., 2016).

A análise de CVL é uma ferramenta importante para a tomada de decisões de curto prazo em indústrias metalúrgicas. Ela permite a determinação do ponto de equilíbrio e a avaliação do impacto de diferentes volumes de produção nos resultados financeiros (Martins & Laugeni, 2005).

A redução de custos é uma preocupação constante em indústrias metalúrgicas, especialmente em um ambiente competitivo. A aplicação de técnicas como o Seis Sigma e o Lean Manufacturing tem sido usada para melhorar a eficiência dos processos e reduzir custos (Slack et al., 2008).

A gestão eficaz de custos não apenas influencia a lucratividade de uma indústria metalúrgica, mas também desempenha um papel na formulação de estratégias de negócios. (Horngren et al., 2016).

A gestão de custos desempenha um papel crítico na indústria metalúrgica brasileira, contribuindo para a eficiência, a competitividade e a tomada de decisões estratégicas. Com uma abordagem sólida de controle de custos e análise de processos, as empresas podem enfrentar os desafios do setor e alcançar o sucesso financeiro.

2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural é um assunto muito importante na aplicação da engenharia como um todo. Este tema abrange métodos e técnicas para entender o comportamento estrutural de materiais e sistemas, permitindo a previsão de deformações, tensões, e outras respostas a diferentes tipos de carregamentos.

Existem diferentes métodos de análise estrutural. Os métodos analíticos utilizam equações matemáticas para analisar estruturas mais simples, enquanto os métodos numéricos, como o Método dos Elementos Finitos (MEF), convertem problemas contínuos em sistemas de equações resolvidas numericamente. (Zienkiewicz & Taylor, 2000)

Os primeiros trabalhos na área da mecânica estrutural que utilizaram a análise por elementos finitos foram feitos por Hrennikoff (1941) e McHenry (1943). A partir da década de 1970, com o rápido desenvolvimento de computadores, a aplicação do MEF teve um impressionante crescimento e enorme divulgação no meio científico. Atualmente, o método representa uma poderosa ferramenta para análise numérica, utilizada em engenharia, física e matemática.

Um software bastante utilizado para esse fim é o ANSYS, que utiliza o método dos elementos finitos para solucionar problemas estruturais. Este método vem sendo utilizado a décadas, seja no meio acadêmico ou na indústria, através de *softwares* que se tornaram ferramentas práticas e poderosas na solução numérica de problemas estruturais, entre outras áreas.

Para avaliar o estado de tensão em um material sujeito a forças externas e prever o ponto onde o material pode começar a falhar, a tensão de *Von Mises* é frequentemente utilizada. Quando um material é submetido a forças, diferentes componentes de tensão atuam em diferentes direções. A tensão de *Von Mises* é uma maneira de combinar essas diferentes componentes de tensão em uma única medida para determinar se o material está prestes a falhar. Essa abordagem é especialmente útil em situações onde o material está sujeito a múltiplas direções de tensão. (Hibbeler, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, será abordado a metodologia utilizada para a análise da viabilidade de alteração de processo e produto. Serão apresentadas informações referentes ao processo de produção, tempo de processos, custos, requisitos de projeto e informações de análises estruturais.

O levantamento de dados de um processo de fabricação de um conjunto soldado foi realizado dentro de uma empresa do ramo metal mecânico na cidade de Ibirubá-RS, sendo ela uma organização que tem seu produto próprio e também presta o fornecimento de peças e componentes para outras grandes indústrias multinacionais.

3.1 APLICAÇÃO DO COMPONENTE

O objetivo da aplicação do componente estudado é realizar o travamento estrutural de um chassi de uma plataforma de colheita de milho. Cada tamanho de chassi possui uma quantidade variável de utilização dessa travessa. Sendo a aplicação mínima de 4 unidades por máquina.

Para construir essa união dos tubos, foi criada a parte central toda soldada com chapas de espessura de 4,25mm e unidas com abraçadeiras também soldadas com a mesma espessura, todas utilizando aço ASTM A572 Grau 50 conforme especificações técnicas na tabela 1.

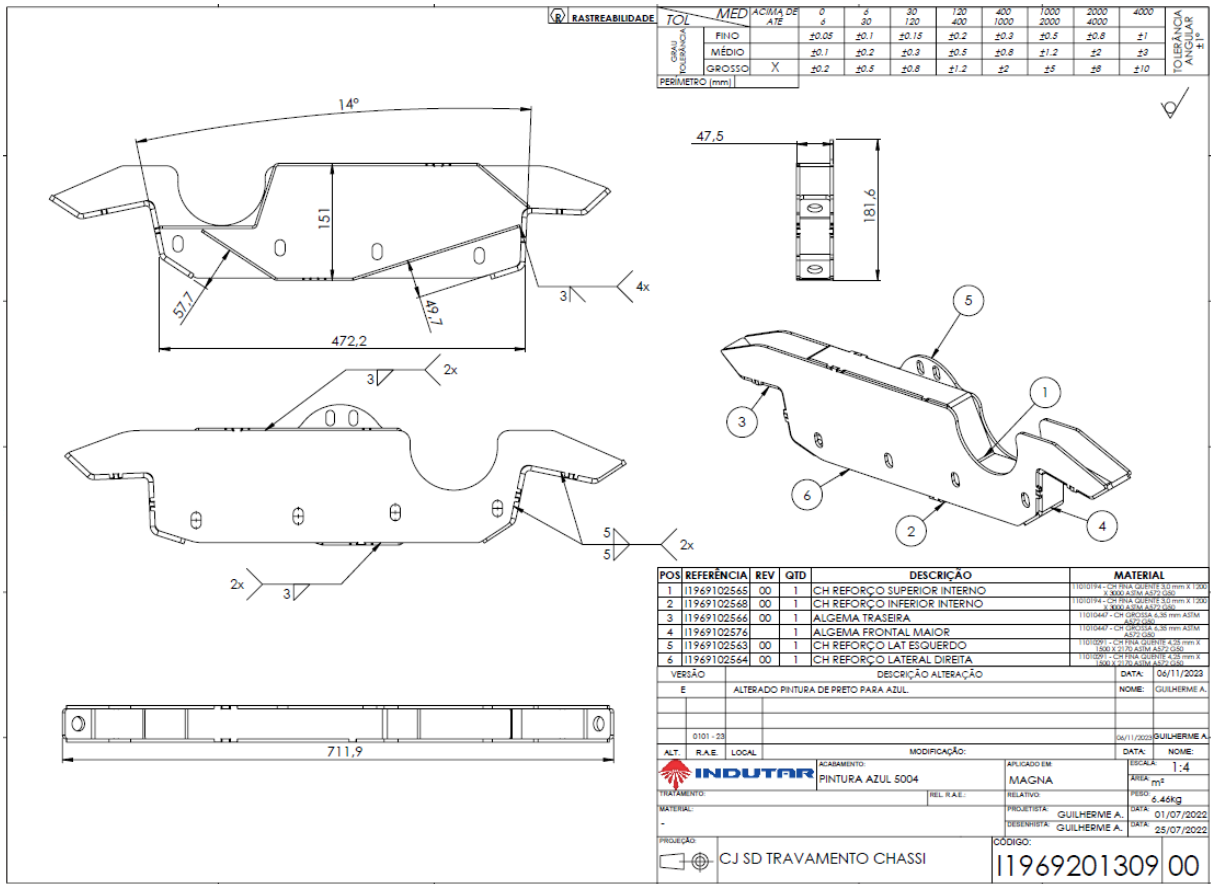
Tabela 1 – Especificações ASTM A572 Grau 50

Especificação	Equivalência NBR 7007	Limite de Escoamento Mín. (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento 200 mm (%)	Alongamento 50 mm (%)
ASTM A36	MR 250	250	400-550	20	21
ASTM A572 Grau 50	AR 350	350	450 mín.	18	21
ASTM A572 Grau 60	AR 415	415	520 mín.	16	18
ASTM A588	AR 350 COR	350	485 mín.	18	21

Fonte: Catálogo de produtos Gerdau

O conjunto soldado central possui um total de 6 peças, sendo elas 4 com processos de dobra. A união dos componentes para formar o conjunto é feita com dispositivo de solda seguindo as especificações do desenho técnico da figura 5.

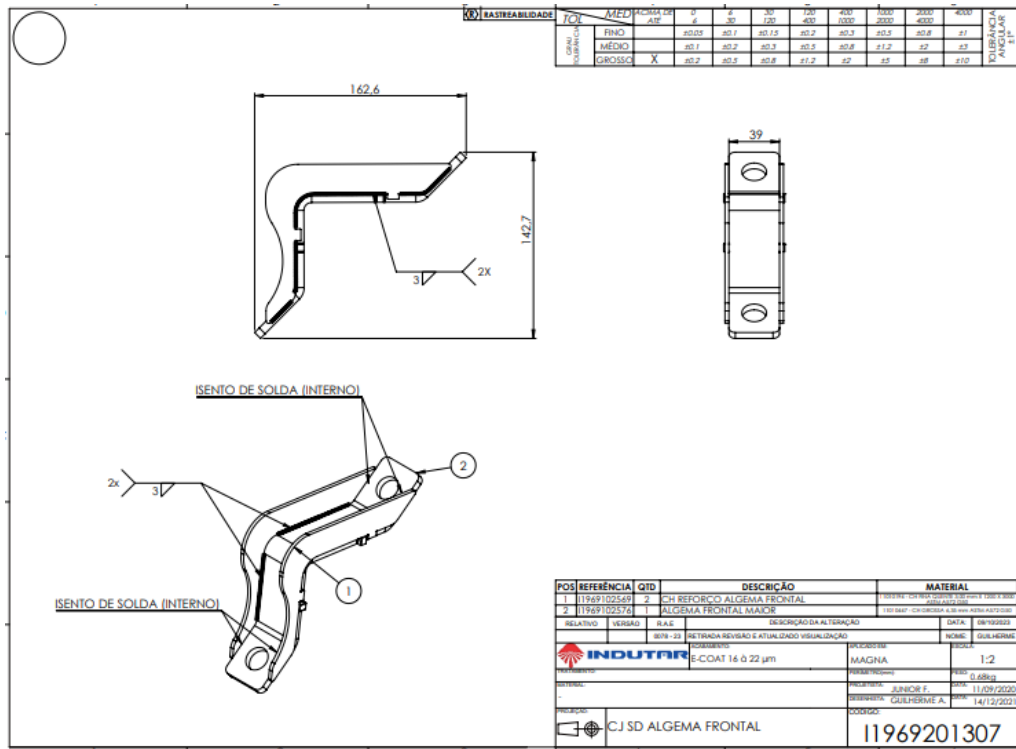
Figura 5 – Conjunto soldado travamento chassi



Fonte: Autor (2023)

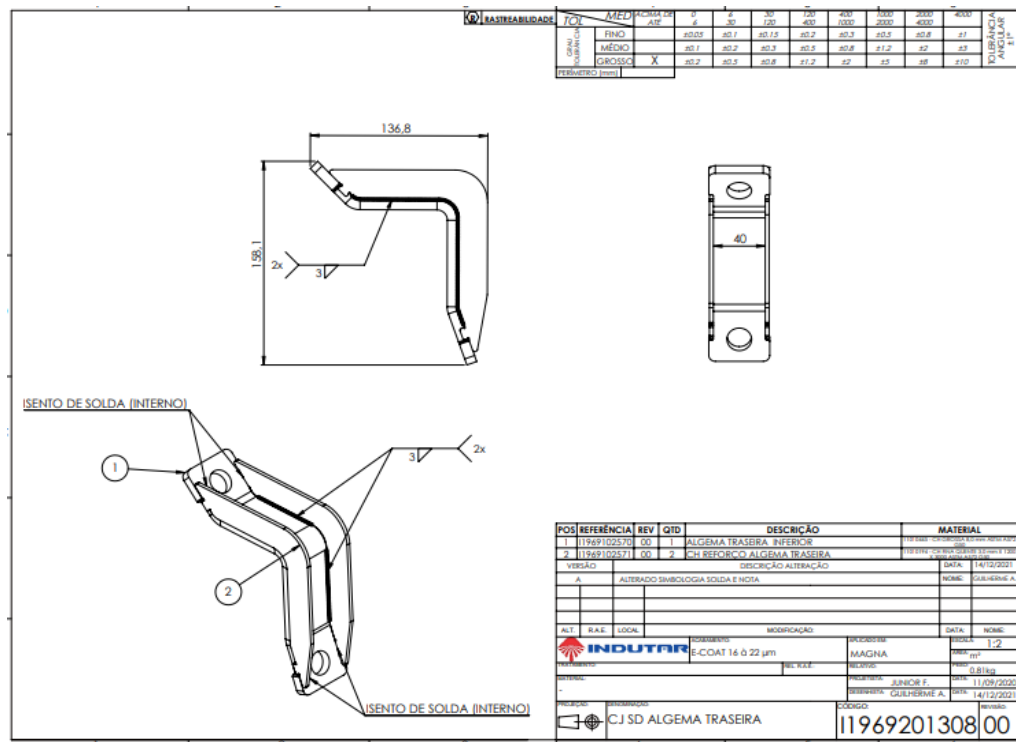
As abraçadeiras possuem um total de 3 peças com dois tipos distintos, sendo eles 1 com processo de dobra. Na parte dos tubos do chassi, existe um tubo 80x80mm na parte de trás e um tubo 100x80mm na parte frontal. Portanto, possuem dois tipos de conjuntos de abraçadeiras soldadas. A união dos componentes para formar os conjuntos é feita com dispositivos de solda seguindo as especificações dos desenhos técnicos das figuras 6 e 7.

Figura 6 – Conjunto soldado abraçadeira tubo 80x80mm



Fonte: Autor (2023)

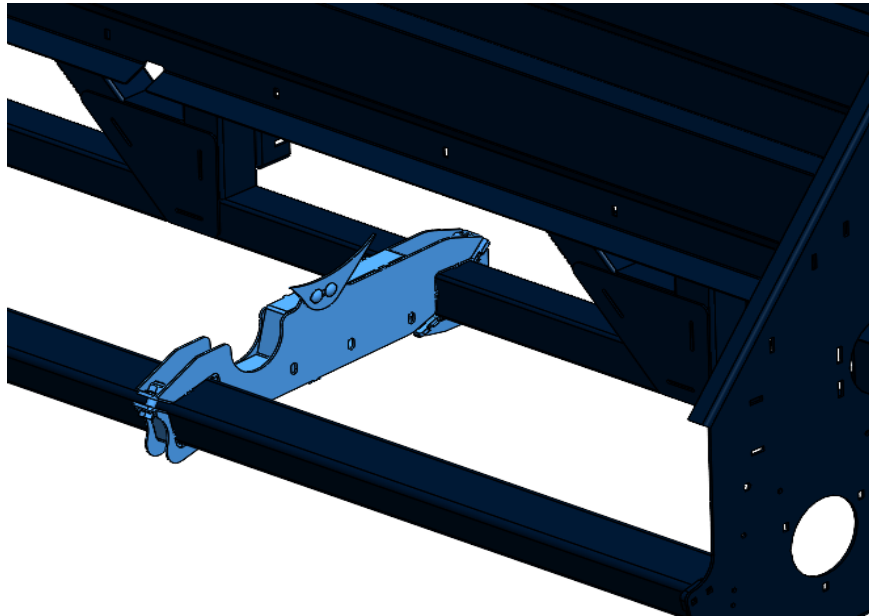
Figura 7 – Conjunto soldado abraçadeira tubo 100x80mm



Fonte: Autor (2023)

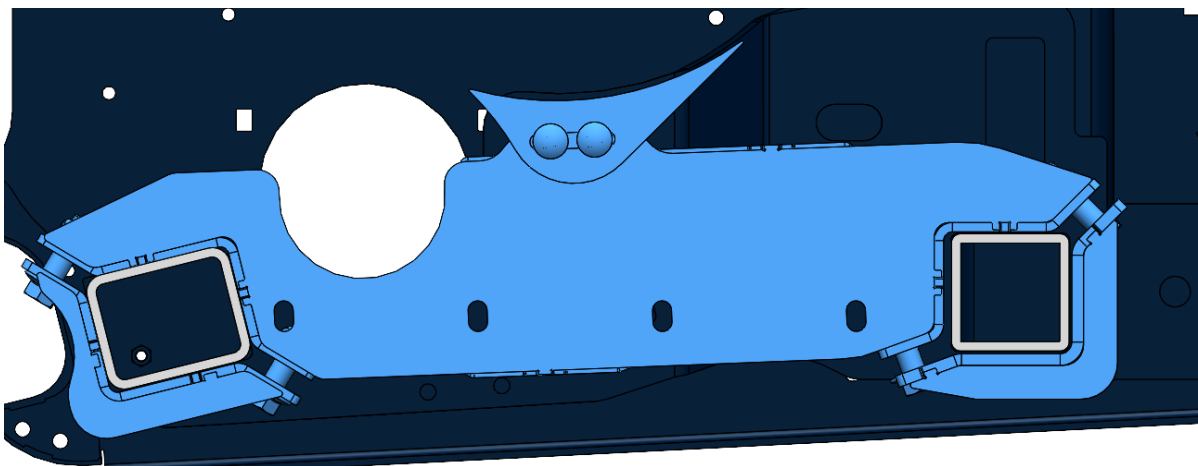
Abaixo é possível verificar a disposição do conjunto já montado na máquina, onde o travamento ocorre através da montagem do conjunto soldado central com a abraçadeira soldada para o tubo mecânico 80x80mm na parte traseira e a abraçadeira soldada para o tubo mecânico 100x80mm na parte frontal, ambos estruturais conforme ilustrado na figura 8 e 9.

Figura 8 – Vista isométrica conjunto montado



Fonte: Autor (2023)

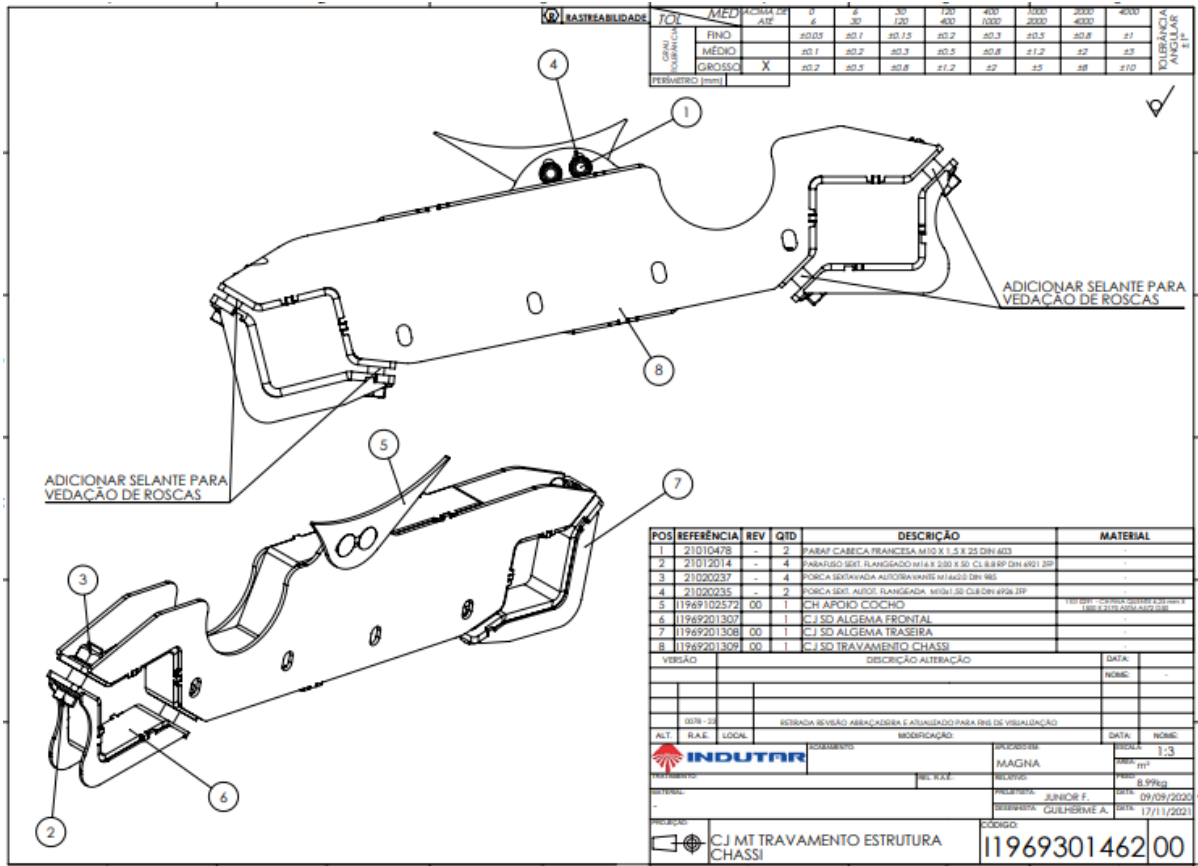
Figura 9 – Vista lateral conjunto montado



Fonte: Autor (2023)

É possível verificar todos os componentes utilizados para montagem no chassi na figura 10 do desenho técnico.

Figura 10 – Desenho conjunto montado travamento estrutura chassi



Fonte: Autor (2023)

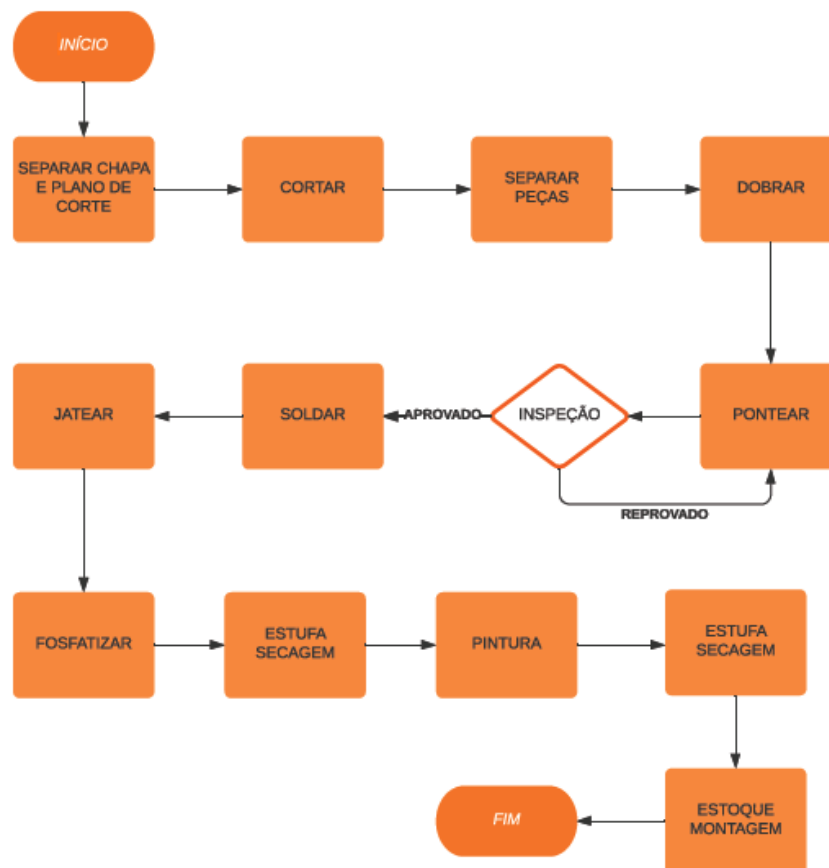
3.2 COLETA DE DADOS DOS CONJUNTOS SOLDADOS

Neste momento, será detalhado o processo de coleta de dados relacionado aos conjuntos soldados em análise, o que representa uma etapa essencial no desenvolvimento da pesquisa. A obtenção de dados precisos é de suma importância para garantir a validade e a revisão das conclusões a serem tiradas.

3.2.1 Roteiro de processo

Para a definição do roteiro de processo dos conjuntos soldados da travessa e das abraçadeiras, foi desenvolvido um fluxograma conforme figura 11 visando o aprimoramento da compreensão do fluxo de trabalho envolvido. Esse esquema gráfico foi criado com o intuito de fornecer uma representação visual clara de todos os processos envolvidos na produção do componente em questão.

Figura 11 – Fluxograma conjunto soldado



Fonte: Autor (2023)

3.2.2 Tempo de processo

Para a obtenção de um valor médio referente a coleta de tempo de processos, foi realizado a medição em 5 conjuntos. Entretanto, o que se apresenta nas tabelas 1, 2 e 3 corresponde à média final da inspeção realizada.

3.2.2.1 Travessa soldada

Abaixo segue a tabela 2 de tempo de processos referente a travessa soldada, onde mostra a ordem do fluxo, o processo em questão e seus respectivos tempos em horas.

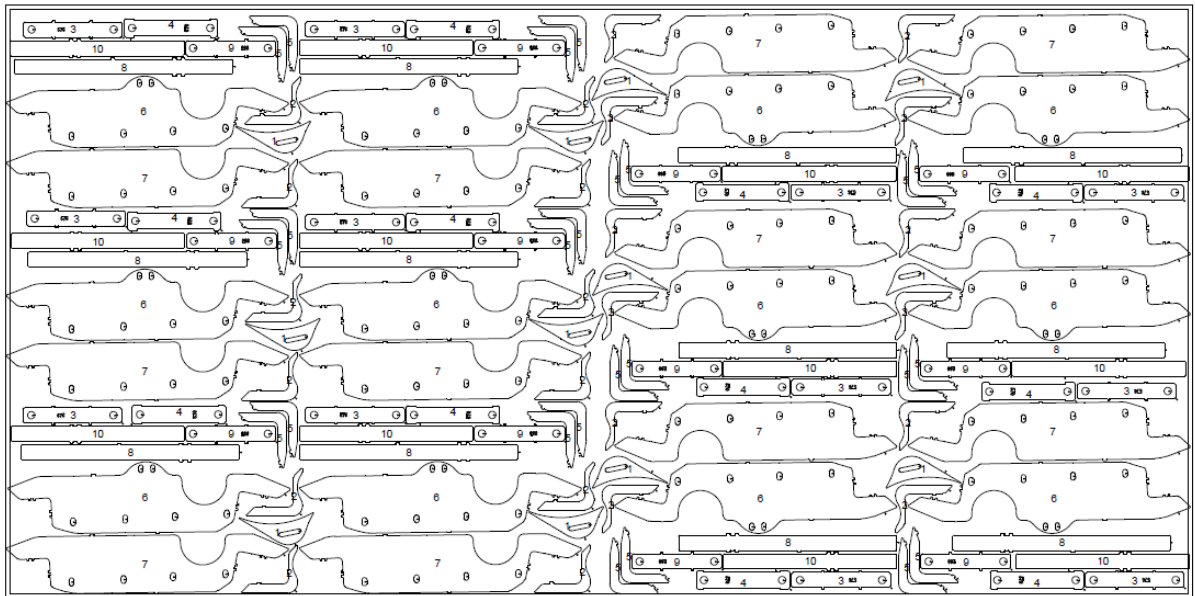
Tabela 2 – Tempo de processos travessa soldada

TRAVESSA SOLDADA		
ORDEM	PROCESSO	TEMPO (HORAS)
1º *	SEPARAR CHAPA E PLANO DE CORTE	00:05:17
2º *	CORTAR CHAPA COMPLETA	00:47:09
3º	SEPARAR PEÇAS	00:05:39
4º	DOBRAR	00:03:14
5º	PONTEAR	00:01:50
6º	INSPEÇÃO	00:02:05
7º	SOLDAR	00:03:48
8º *	JATEAR	00:10:00
9º *	FOSFATIZAR	00:10:00
10º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
11º *	PINTAR	00:10:00
12º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
13º *	ESTOCAR MONTAGEM	00:03:23
	TOTAL:	02:02:25

Fonte: Autor (2023)

O tempo médio elevado para o 2º processo, 00:47:09, é referente ao corte total da chapa que tem 3 metros de comprimento por 1,5 metro de largura, onde permite a obtenção de até 12 conjuntos dos travamentos soldados e abraçadeiras conforme figura 12 do plano de corte, visto que a produção é feita com volume para evitar excesso de *setup* da máquina e atender uma demanda maior.

Figura 12 - Plano de corte



Fonte: Autor (2023)

No 4º processo referente dobra das peças, como dito anteriormente, das 6 peças totais da travessa, 4 são dobradas, portanto o tempo refere-se as 4 peças com o processo, onde as outras 2 estão aguardando para todas seguirem o fluxo do processo.

No processo de jateamento até a estufa de secagem, as peças apresentam os mesmos tempos, pelo fato de estarem em uma linha de pintura, o que tem uma velocidade de deslocamento única.

Para o tempo de ponteamto e solda, já está sendo considerado o *setup* para realização do processo.

3.2.2.2 Abraçadeiras

Abaixo segue a tabela 3 de tempo de processos referente a abraçadeira soldada, onde mostra a ordem do fluxo, o processo em questão e seus respectivos tempos em horas.

Esses tempos podem ser considerados tanto para abraçadeira que vai montada no tubo 80x80mm quanto a abraçadeira que vai montada no tubo 100x80mm.

Tabela 3 - Tempo de processos abraçadeira soldada

ABRAÇADEIRA		
ORDEM	PROCESSO	TEMPO (HORAS)
1º *	SEPARAR CHAPA E PLANO DE CORTE	00:05:17
2º *	CORTAR CHAPA COMPLETA	00:47:09
3º	SEPARAR PEÇAS	00:02:22
4º	DOBRAR	00:01:46
5º	PONTEAR	00:01:15
6º	INSPEÇÃO	00:02:05
7º	SOLDAR	00:02:43
8º *	JATEAR	00:10:00
9º *	FOSFATIZAR	00:10:00
10º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
11º *	PINTAR	00:10:00
12º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
13º *	ESTOCAR MONTAGEM	00:03:23
	TOTAL:	01:56:00
	TOTAL SEM PROCESSOS IGUAIS:	00:10:11

Fonte: Autor (2023)

No 4º processo referente dobra das peças, como dito anteriormente, das 3 peças totais da travessa, 1 é dobrada, portanto o tempo refere-se a 1 peça com o processo, onde as outras 2 estão aguardando para todas seguirem o fluxo do processo.

No processo de jateamento até a estufa de secagem apresentam os mesmos tempos pelo fato de estarem em uma linha de pintura.

3.2.2.3 Tempo conjunto completo

As tabelas 2 e 3 apresentam os processos em comum, sinalizados em vermelho. A travessa e as abraçadeiras estão aplicadas em um mesmo componente montado, portanto, podem ser unificados os tempos de processo em função de produção, visto que as peças devem chegar juntas na montagem para não ocorrer atrasos.

Abaixo será mostrado a tabela 4 referente tempo total de produção de 1 componente montado completo de travessa e abraçadeiras.

Tabela 4 – Tempo conjunto completo

COMPONENTE COMPLETO		
TIPO	QUANTIDADE	TEMPO
TRAVESSA	1	02:02:25
ABRAÇADEIRA	2	00:20:22
TOTAL:		02:22:47

Fonte: Autor (2023)

Para a travessa foi considerado o tempo total de todos os processos, já para a abraçadeira foi considerado somente os processos distintos, destacados em preto, pois como dito anteriormente, existem processos em comum por estarem aplicados ao mesmo conjunto montado.

Teve uma soma total de 2 horas, 22 minutos e 47 segundos para finalizar o processo de produção do componente completo. Já está diluído no tempo a variação decorrente de troca de profissional, turno de trabalho e fadiga. Variação essa que é definida pela empresa.

3.2.3 Custos

Neste momento, será detalhado o custo de cada componente soldado já produzidos pela empresa, onde se teve acesso total aos valores reais.

3.2.3.1 Custos travessa soldada

Abaixo, segue a tabela 5 de custo referente a uma travessa soldada, onde mostram os itens levados em consideração na soma de custos de um produto, onde são estabelecidos pela empresa: Matéria prima (M.P), Mão de obra direta (M.O.D), mão de obra indireta (M.O.I) e gastos gerais de fabricação (G.G.F).

Para esclarecimento, os custos referentes a M.O.D são relacionados ao custo de hora máquina somado a hora operador, enquanto a M.O.I refere-se as todas as equipes que dão suporte e monitoramento de processo, como qualidade e engenharia de produto. Finalizando, tem-se os G.G.F que correspondem aos insumos correspondentes ao processo (óleo de reservatório, arame de solda, inserto depreciação de máquina e energia).

Tabela 5 – Custos travessa soldada

CUSTO TRAVESSA				
M.P	M.O.D	M.O.I	G.G.F	TOTAL
R\$ 73,33	R\$ 30,08	R\$ 13,00	R\$ 32,79	R\$ 149,20

Fonte: Autor (2023)

3.2.3.2 Custos abraçadeiras

Abaixo segue a tabela 6 de custo referente uma abraçadeira soldada, onde mostram os itens levados em consideração na soma de custos de um produto, onde são estabelecidos pela empresa: Matéria prima (M.P), Mão de obra direta (M.O.D), mão de obra indireta (M.O.I) e gastos gerais de fabricação (G.G.F).

Tabela 6 – Custos abraçadeiras

CUSTO ABRAÇADEIRA				
M.P	M.O.D	M.O.I	G.G.F	TOTAL
R\$ 4,46	R\$ 4,43	R\$ 1,88	R\$ 4,87	R\$ 15,64

Fonte: Autor (2023)

3.2.3.3 Custo total conjunto montado

Abaixo será mostrado a tabela 7 referente o custo total de fabricação de 1 componente montado completo de travessa e abraçadeiras.

Tabela 7 – Custo componente completo

COMPONENTE COMPLETO		
TIPO	QUANTIDADE	VALOR
TRAVESSA	1	R\$ 149,20
ABRAÇADEIRA	2	R\$ 31,28
	TOTAL:	R\$ 180,48

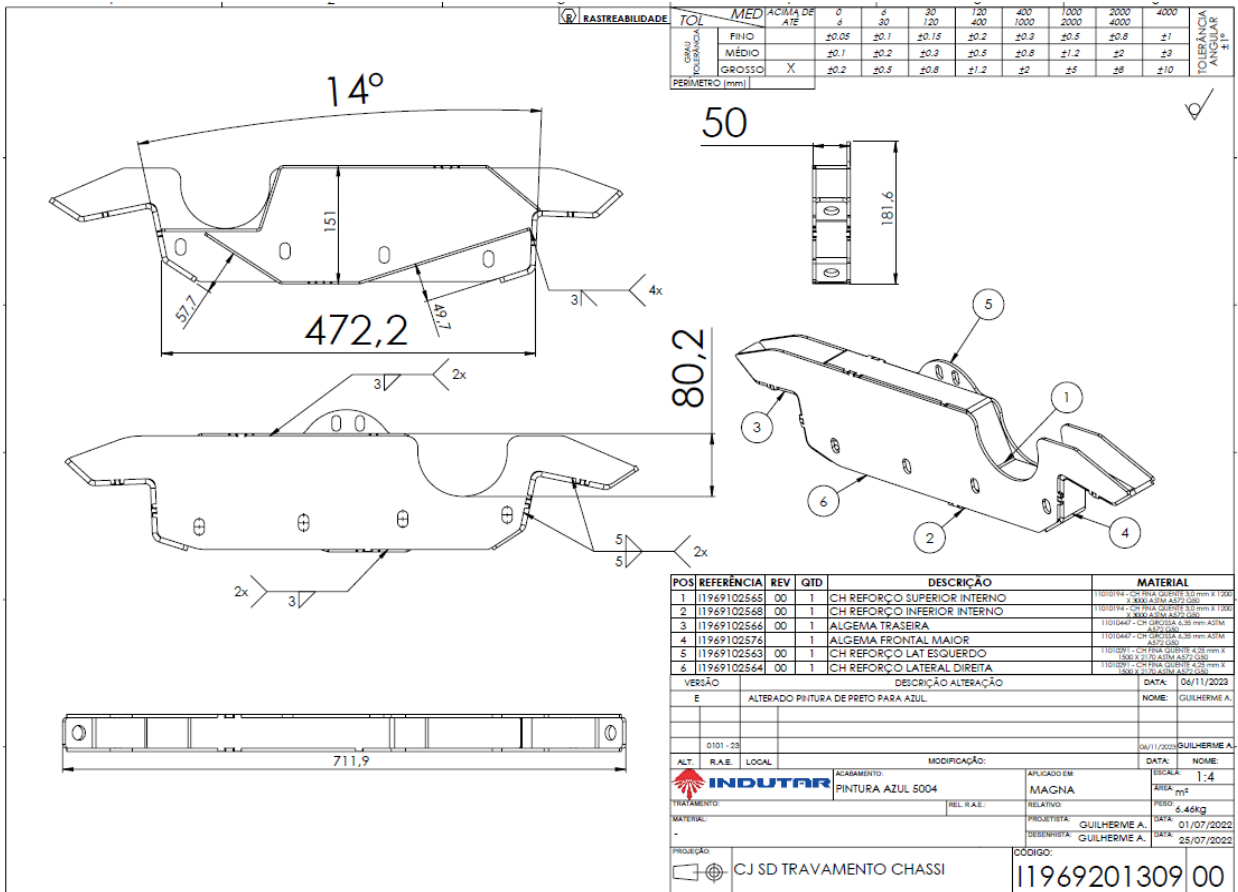
Fonte: Autor (2023)

3.2.4 Requisitos de projeto

Os requisitos de projeto do conjunto devem ser garantidos conforme o desenho técnico da figura 14:

1. Garantia do ângulo de 14° visto na figura 13.
2. Distância entre abertura de tubos visto na figura 13.
3. Largura do conjunto visto na figura 13.
4. Recorte para passar eixo visto na figura 13.
5. Análise estrutural.

Figura 13 – Desenho cotas requisito de projeto soldado



Fonte: Autor (2023)

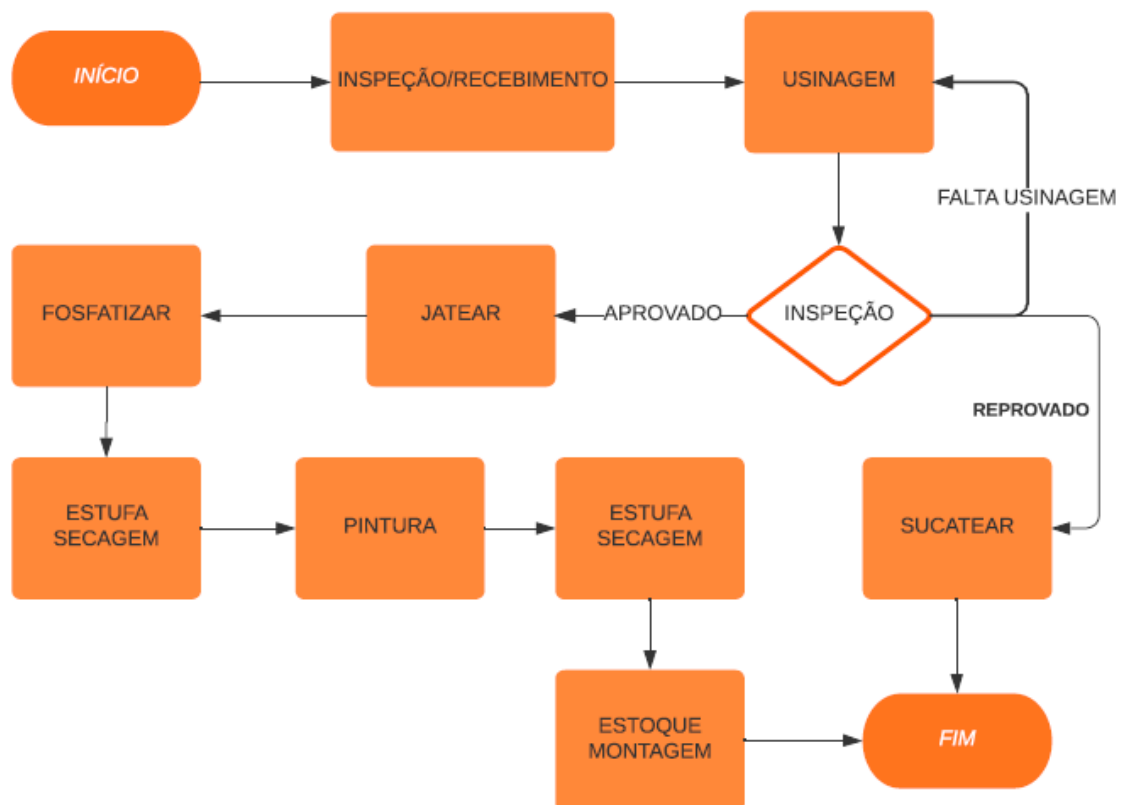
3.3 COLETA DE DADOS DOS FUNDIDOS

Para a obtenção de um valor médio referente a coleta de tempo de processos, foi realizada a medição em 5 conjuntos de protótipos. Entretanto, o que se apresenta nas tabelas 8, 9 e 10 corresponde à média final da inspeção realizada.

3.3.1 Roteiro de processo

Com o objetivo de tornar mais compreensível o fluxo de processos para a fabricação das travessas e abraçadeiras fundidas, foi criado um fluxograma conforme figura 14. Esse esquema gráfico tem como finalidade oferecer uma representação visual que seja facilmente compreensível de todas as etapas envolvidas na produção desses componentes.

Figura 14 - Fluxograma Fundidos



Fonte: Autor (2023)

3.3.2 Tempo de processo

Para a coleta de tempo de processos, foi realizado uma medição direta de um lote piloto de 5 unidades de protótipo. Entretanto, o que se apresenta nas tabelas 7, 8 e 9 corresponde à média final da inspeção realizada.

3.3.2.1 Travessa fundida

Abaixo segue a tabela 8 de tempo de processos referente a travessa fundida, onde mostra a ordem do fluxo, o processo em questão e seus respectivos tempos em horas.

Tabela 8 - Tempo de processos travessa fundida

TRAVESSA FUNDIDA		
ORDEM	PROCESSO	TEMPO (HORAS)
1º *	INSPEÇÃO/RECEBIMENTO	00:02:28
2º	USINAGEM	00:04:30
3º	INSPEÇÃO	00:02:12
4º *	JATEAR	00:10:00
5º *	FOSFATIZAR	00:10:00
6º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
7º *	PINTAR	00:10:00
8º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
9º *	ESTOCAR MONTAGEM	00:03:23
	TOTAL:	01:02:33

Fonte: Autor (2023)

No processo de jateamento até a estufa de secagem apresentam os mesmos tempos pelo fato de estarem em uma linha de pintura, o que tem uma velocidade de deslocamento única.

3.3.2.2 Abraçadeira fundida

Abaixo segue a tabela 9 de tempo de processos referente a abraçadeira fundida, onde mostra a ordem do fluxo, o processo em questão e seus respectivos tempos em horas.

Esses tempos podem ser considerados tanto para abraçadeira que vai aplicada no tubo 80x80mm quanto a que vai no tubo 100x80mm.

Tabela 9 - Tempo de processos abraçadeira fundida

ABRAÇADEIRA FUNDIDA		
ORDEM	PROCESSO	TEMPO (HORAS)
1º *	INSPEÇÃO/RECEBIMENTO	00:02:28
2º	USINAGEM	00:02:30
3º	INSPEÇÃO	00:01:15
4º *	JATEAR	00:10:00
5º *	FOSFATIZAR	00:10:00
6º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
7º *	PINTAR	00:10:00
8º *	ESTUFA SECAGEM	00:10:00
9º *	ESTOCAR MONTAGEM	00:03:23
	TOTAL:	00:59:36
	TOTAL SEM PROCESSOS IGUAIS:	00:03:45

Fonte: Autor (2023)

3.3.2.3 Tempo conjunto completo

As tabelas 8 e 9 apresentam processos em comum que estão sinalizados com “*”. A travessa e as abraçadeiras estão aplicadas em um mesmo componente montado, portanto, podem ser unificados os tempos em função de produção, visto que as peças devem chegar juntas na montagem para não ocorrer atrasos.

Abaixo será mostrado a tabela 10 referente tempo total de produção de 1 componente montado completo de travessa e abraçadeiras.

Tabela 10 - Tempo conjunto completo

COMPONENTE COMPLETO		
TIPO	QUANTIDADE	TEMPO
TRAVESSA	1	01:02:33
ABRAÇADEIRA	2	00:07:30
	TOTAL:	01:10:03

Fonte: Autor (2023)

Para a travessa foi considerado o tempo total de todos os processos, já para a abraçadeira foi considerado somente os processos distintos, pois como dito anteriormente, existem processos em comum por estarem aplicados ao mesmo conjunto montado.

Teve uma soma total de 1 hora, 10 minutos e 03 segundos para finalizar o processo de produção do componente completo. Já está diluído no tempo a variação decorrente de troca de profissional, turno de trabalho e fadiga. Variação essa que é definida pela empresa.

3.3.3 Custos

Neste momento, será detalhado o custo de cada componente fundido que já foi entregue pelo fornecedor de uma empresa de fundição mais o custo de fabricação em análise.

3.3.3.1 Custos travessa

Abaixo segue a tabela 11 de custos referente uma travessa fundida, onde mostram os itens levados em consideração na soma de custos de um produto, onde são estabelecidos: Matéria prima (M.P), Mão de obra direta (M.O.D), mão de obra indireta (M.O.I) e gastos gerais de fabricação (G.G.F).

Nesse caso, o custo de matéria prima é realizado pelo orçamento do fornecimento da peça fundida.

Tabela 11 – Custos travessa fundida

CUSTO TRAVESSA FUNDIDA				
M.P	M.O.D	M.O.I	G.G.F	TOTAL
R\$ 80,00	R\$ 10,20	R\$ 5,00	R\$ 3,20	R\$ 98,40

Fonte: Autor (2023)

3.3.3.2 Custos abraçadeiras

Abaixo segue a tabela 12 de custos referente uma abraçadeira fundida, onde mostram os itens levados em consideração na soma de custos de um produto, onde são estabelecidos: Matéria prima (M.P), Mão de obra direta (M.O.D), mão de obra indireta (M.O.I) e gastos gerais de fabricação (G.G.F).

Nesse caso, o custo de matéria prima é realizado pelo orçamento do fornecimento da peça fundida.

Tabela 12 – Custos abraçadeira fundida

CUSTO ABRAÇADEIRA FUNDIDA				
M.P	M.O.D	M.O.I	G.G.F	TOTAL
R\$ 10,00	R\$ 6,30	R\$ 2,60	R\$ 1,60	R\$ 20,50

Fonte: Autor (2023)

3.3.3.3 Custo total conjunto montado

Abaixo será mostrado a tabela 13 referente custo total de produção de 1 componente montado completo de travessa e abraçadeiras.

Tabela 13 – Custo total conjunto montado

COMPONENTE COMPLETO		
TIPO	QUANTIDADE	VALOR
TRAVESSA	1	R\$ 98,40
ABRAÇADEIRA	2	R\$ 41,00
	TOTAL:	R\$ 139,40

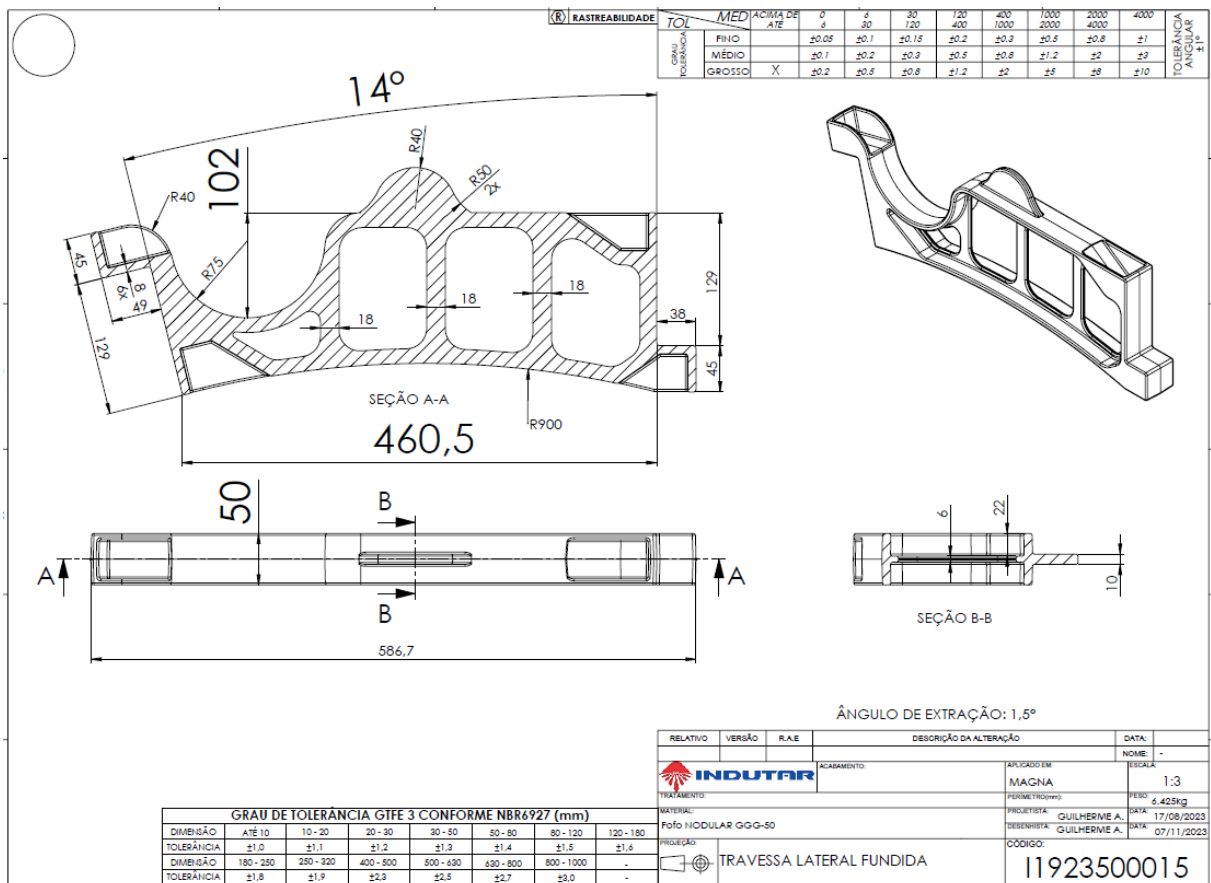
Fonte: Autor (2023)

3.3.4 Requisitos de projeto

Para a garantia dos requisitos de projeto, deve ser levado em consideração os principais pontos do modelo fundido. Portanto, devem ser garantidos os pontos abaixo ilustrados na figura 15 em comparação com a figura 13 dos requisitos de projeto do conjunto soldado.

1. Garantia do ângulo de 14° visto na figura 15;
2. Não exceder distância de 472,2mm entre os tubos visto na figura 15;
3. Largura do conjunto visto na figura 15;
4. Recorte mínimo de 80,2mm para passar eixo visto na figura 15;
5. Análise estrutural.

Figura 15 - Desenho cotas requisito de projeto fundido



Fonte: Autor (2023)

3.4 ANÁLISE ESTRUTURAL

Por ter um curto tempo de desenvolvimento definido pela empresa, a parte de análise estrutural foi terceirizada por uma empresa especializada, onde a mesma utiliza o *Software ANSYS*. Foram realizadas análises estáticas no equipamento, com objetivo de efetuar a verificação do seu dimensionamento quanto a carregamento de pico (sobrecarga) que podem levar a falha por escoamento, sendo esses carregamentos fornecidos pela empresa.

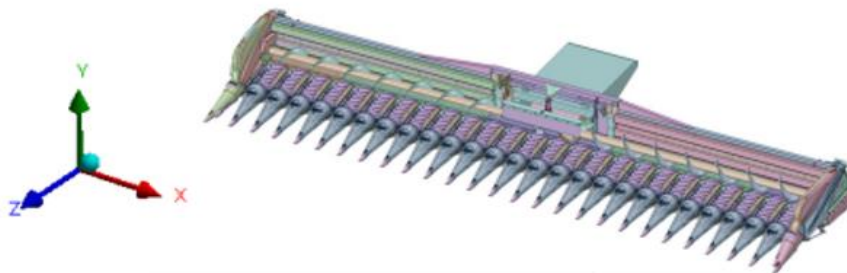
A análise estrutural realizada utilizou como carregamento os picos de acelerações (valor máximo e mínimo observado em cada eixo X, Y e Z) medidos durante as mais diversas condições de movimentação e operação do equipamento. Dessa forma, o carregamento imposto na estrutura para avaliação do tensionamento do material será a combinação dos valores máximos e mínimos do histórico de carregamento. Esses valores estão disponíveis na tabela 14.

Foi utilizado um coeficiente de segurança de 1,3 pois conforme a tabela 15, o material utilizado foi testado, são idênticas as condições dos testes realizados e os modelos foram testados em experimentos.

Os conjuntos de travamento foram aplicados na maior máquina disponível com um peso total de 5700 kg e 12 metros de largura.

Tabela 14 - Valores de acelerações no eixo cartesiano

ACELERAÇÃO (m/s ²)						
	X (transversal)		Y (vertical)		Z (longitudinal)	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Pico	4,905	-4,905	-24,525	0	7,3575	-7,3575
Fadiga	2,4525	-2,4525	-17,1675	-7,3575	2,4525	-2,4525



Fonte: Autor (2023)

Tabela 15 - Coeficiente de segurança

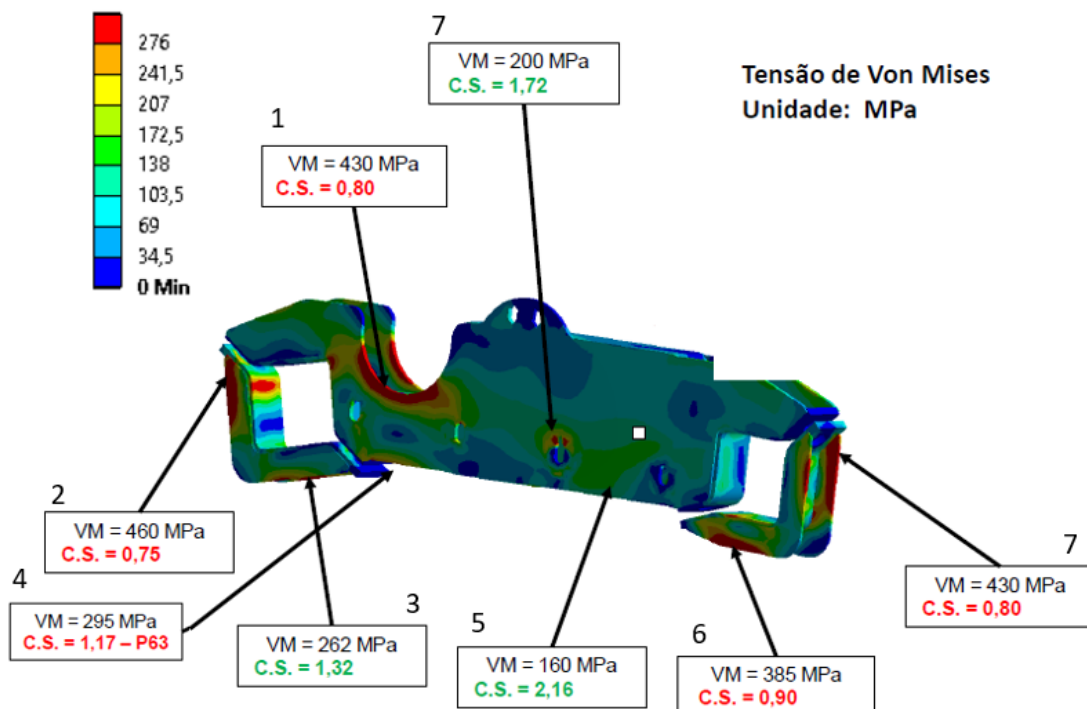
Fatores utilizados para determinar um coeficiente de segurança para materiais dúcteis		
Informações	Qualidade as informações	Fator
Dados disponíveis a partir de testes	Material utilizado foi testado	1,3
	Dados representativos de testes do material estão disponíveis	2,0
	Dados razoavelmente representativos de testes disponíveis	3,0
	Dados insuficientes representativos de testes estão disponíveis	5,0 +
Condições Ambientais Conhecidas	São idênticas as condições dos testes realizados	1,3
	Igual a de ambiente de laboratório	2,0
	Ambiente moderadamente desafiador	3,0
	Ambiente extremamente desafiador	5,0 +
Modelos Analíticos para forças e tensões	Modelos foram testados em experimentos	1,3
	Modelos testados apresentam precisamente o Sistema	2,0
	Modelos aproximados	3,0
	Modelos são aproximações grosseiras	5,0+

Fonte: Robert L. Norton (2013)

3.4.1 Análise estrutural conjunto soldado

Os valores obtidos através dos dados fornecidos estão representados na figura 16 para possíveis falhas por escoamento. Onde estão sendo destacados os principais pontos com o seu coeficiente de segurança (C.S) e tensão de *Von Mises* (VM).

Figura 16 – Resultados para escoamento do conjunto soldado



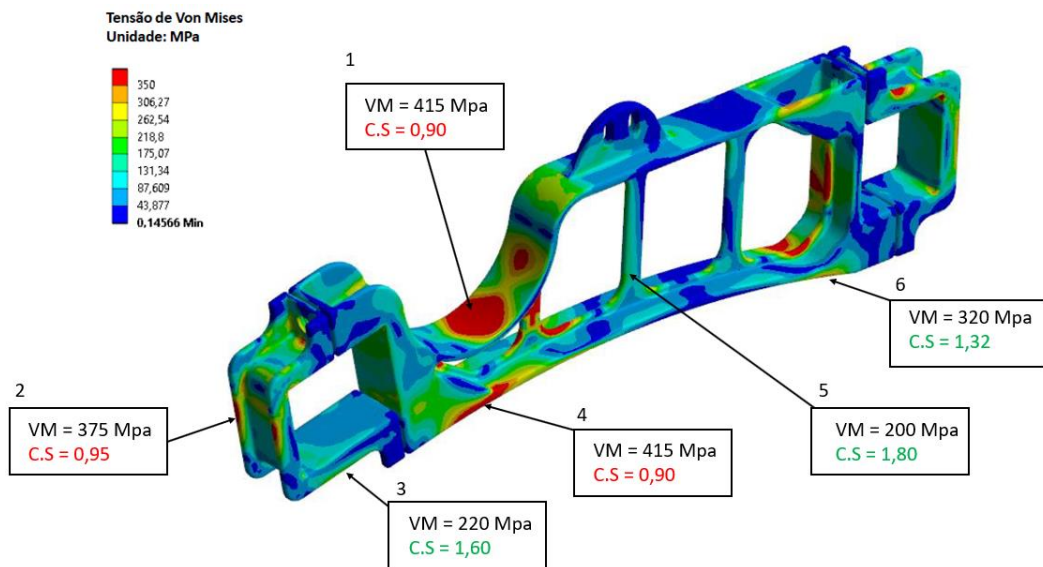
Fonte: Resistenge (2018)

Os pontos que estão reprovados estruturalmente de acordo com o coeficiente de segurança 1,3 para possível falha por escoamento foram decididos pela empresa de mantê-los. Após isso, os conjuntos rodaram à campo de 2018 até o momento, tendo zero indícios de falhas relatados ao setor responsável.

3.4.2 Análise estrutural conjunto fundido

Os valores obtidos através dos dados fornecidos estão representados na figura 17 para possíveis falhas por escoamento. Onde estão sendo destacados os principais pontos. Foi considerado para as peças, ferro fundido nodular GGG-50, conforme especificações técnicas que estão disponíveis na tabela 16.

Figura 17 – Resultados para escoamento do conjunto fundido



Fonte: Resistenge (2023)

Tabela 16 – Propriedades mecânicas para ferros fundidos nodulares conforme DIN 1693

PROPRIEDADE MECÂNICAS PARA FERROS FUNDIDOS NODULARES CONFORME DIN 1693			
	Resistência tração mín. (Mpa)	Escoamento mín. (Mpa)	Alongamento mín. (%)
GGG40	420	280	12
GGG50	500	350	7
GGG60	600	400	3

Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, será possível analisar os resultados dos levantamentos de tempo e custo obtidos nos diferentes processos. Além disso, será destacado os resultados da análise estrutural dos componentes como requisito de projeto. Após isso, será calculada a diferença de custo para uma média de volume de produção anual para verificar a viabilidade da alteração de processo.

4.1 COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE PROCESSOS

Abaixo, é possível verificar na tabela 17 a comparação dos tempos de processos de produção interna referente aos conjuntos soldados em relação aos fundidos. Na mesma tabela, está sendo considerado para ambos os processos um conjunto completo, ou seja, uma travessa e 2 abraçadeiras. O tempo de 00:47:09 minutos da tabela 1 é referente ao corte de 12 conjuntos como dito anteriormente. Para a obtenção de tempo de apenas um conjunto para comparação, é necessário dividir os 12 conjuntos pelo tempo total, resultando em aproximadamente 00:04:09 minutos o tempo de corte por conjunto.

Tabela 17 - Comparação dos tempos de processos

TEMPO PROCESSOS		
PROCESSO	QUANTIDADE	TEMPO (HORA)
SOLDADOS	1	01:39:47
FUNDIDOS	1	01:10:03
	DIFERENÇA:	00:29:44

Fonte: Autor (2023)

O volume médio anual necessário para atender a demanda é de 2.500 conjuntos de travamentos que realizado com o processo atual, tem um tempo 4157:38:20 horas. Já o conjunto fundido que atenderá a mesma demanda terá um tempo de 2918:45:00 horas, o que se reflete em aproximadamente 29,8% de economia. Esse tempo corresponde a um conjunto. Portanto, a redução de tempo anual é de 1238:53:20 horas.

4.2 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS

Abaixo, é possível verificar na tabela 18 a comparação dos custos de fabricação referente aos conjuntos soldados em relação aos fundidos. Na mesma tabela, está sendo considerado para ambos os processos um conjunto completo, ou seja, uma travessa e 2 abraçadeiras.

Tabela 18 - Comparação dos custos

CUSTO TOTAL		
PROCESSO	QUANTIDADE	VALOR
SOLDADOS	1	R\$ 180,48
FUNDIDOS	1	R\$ 139,40
	DIFERENÇA:	R\$ 41,08

Fonte: Autor (2023)

O volume médio anual necessário para atender a demanda é de 2.500 conjuntos de travamentos que realizado com o processo atual, tem um custo de R\$180,48 reais. Já o conjunto fundido que atenderá a mesma demanda terá um custo de R\$139,40, o que se reflete em 22,7% de economia. Esse valor corresponde a um conjunto. Portanto, a redução de custo anual é de R\$102.700 reais.

4.3 COMPARAÇÃO ANÁLISES ESTRUTURAIIS

Observa-se que o ponto 1 e 4 (C.S = 0,90) da figura 17 ainda não chegou ao valor desejado teórico com coeficiente de segurança 1,3. Porém, o ponto 1 da figura 17 teve uma pequena melhora estrutural em relação ao ponto 1 (C.S = 0,80) da figura 16.

Nota-se que o ponto 2 (C.S = 0,95) da figura 17 ainda não chegou ao valor desejado teórico com coeficiente de segurança 1,3. Porém teve uma pequena melhora estrutural em relação ao ponto 2 (C.S = 0,75) da figura 16.

O ponto 5 (C.S = 1,80) da figura 17 está bem estruturado e foi possível a retirada dos furos existentes no modelo antigo.

No ponto 6 (C.S = 1,32) da figura 17 é possível verificar uma melhora estrutural considerável em relação ao ponto 6 (C.S = 0,90) da figura 16.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, é evidente que a alteração no processo se mostrou altamente vantajosa do ponto de vista econômico. A economia de 22,7% no custo de processo ressalta a eficiência dessa modificação, justificando plenamente a sua implementação. O ganho no tempo de processo também se destaca como um benefício significativo, uma vez que a redução de aproximadamente 29,8% no tempo necessário para completar as etapas de usinagem e pintura representa uma otimização considerável.

Os resultados acima informados, mostram a importância de um estudo constante de todos os componentes de uma máquina, comprovando a possibilidade de melhoria contínua.

Como trabalho futuro, deve ser reavaliado os históricos de condições de carregamento impostas na tabela 14, visto que o conjunto soldado da figura 16 apresenta pontos de falhas de escoamento, o que não foi visto na prática nos últimos 5 anos, podendo estar impactando também nos resultados estruturais do conjunto fundido. Ainda, caso os valores continuem indesejados, deve ser feita uma melhoria nas regiões do conjunto com coeficiente de segurança menor que 1,3 nos pontos 1, 2 e 4 da figura 17.

Portanto, conclui-se que a alteração no processo se mostrou economicamente vantajosa e também proporcionou melhorias substanciais na eficiência temporal do procedimento.

REFERÊNCIAS

- ANASTÁCIO, D. F., Dias, R. S., & Santos, M. P. Sustentabilidade na Fundição Brasileira. In *Fundição sob Pressão no Brasil: Processos, Máquinas e Ligas* (pp. 443-464). Associação Brasileira de Fundição, 2016.
- BRAGA, R. P., & Vieira, L. M. Melhoria de Processos com Ferramentas da Qualidade: Um Estudo de Caso em uma Indústria Metalúrgica. *Sistemas & Gestão*, 14(4), 363-372, 2019.
- CAMPOS, V. F. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia UFMG, 1992.
- CARY, H. B., & Helzer, S. C. *Modern Welding Technology*. Pearson, 2005.
- COSTA, Fernando Febeliano da. *Tecnologia Mecânica*. Centro Paula Souza, São Paulo - SP, 2000.
- DEMING, W. E. *Out of the Crisis*. The MIT Press, 1986.
- DIAS, R. S., Braga, A. M. B., & Santos, M. P. Fundição em areia verde com modelos perdidos: conceitos e aplicabilidade. In *Fundição sob Pressão no Brasil: Processos, Máquinas e Ligas* (pp. 3-20). Associação Brasileira de Fundição, 2016.
- DUTRA, A. S. *Gerenciamento de Processos de Negócio: BPM (Business Process Management)*. Elsevier, 2015.
- FNQ - Fundação Nacional da Qualidade. Critérios de Excelência. Disponível em: <http://www.fnq.org.br/>. Acesso em: 01 de nov. de 2023.
- GERDAU. Catálogos e manuais. Disponível em: <https://mais.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais/>. Acesso em: 01 de dez. de 2023.
- HIBBELER, *Resistência dos materiais*. 7ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- HICKS, J. *Welded Joint Design*. CRC Press, 2002.
- História do Ansys. Disponível em: <https://www.ansys.com/company-information/the-ansys-story>. Acesso em: 10 de nov. de 2023.
- HORNGREN, C. T., Datar, S. M., & Rajan, M. V. *Contabilidade de Custos*. LTC, 2016.
- HRENNIKOFF, A., " Solution of Problems in Elasticity by the Framework Method ", *Journal of Applied Mechanics*, vol. 8, pp. 169-175, 1941.
- ISHIKAWA, K, *Introduction to Quality Control* (7th ed.). 3A Corporation, 1990.

JURAN, J. M. Quality Control Handbook. McGraw-Hill, 1951.

KOU, S. Welding Metallurgy. John Wiley & Sons, 2002.

LOUREIRO, C. F. B. Fundição no Brasil Colonial e Imperial: Técnicas, Organização e Controle (Doctoral dissertation, Universidade Estadual de Campinas), 2010.

MARION, J. C. Contabilidade Empresarial. Atlas, 2010.

MARTINS, E., & Laugeni, F. P. Administração de Custos: Uma Abordagem Gerencial. Atlas, 2005.

MCHENRY, D., "A Lattice Analogy for the solution of Plane Stress Problems", Journal Institute of Civil Engineering, vol. 21, pp. 59-82, 1943.

NORTON, R. L. Projeto de máquinas, uma abordagem integrada. Porto Alegre: Bookman. 2013.

OHNO, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press, 1988.

OLIVEIRA, Rodrigo. FLUXOGRAMA: Avalie e melhore os processos através do mapeamento da situação atual e futura (1ª ed.), 2020.

PAIM, R., & Lacerda, D. P. Gestão de Processos Organizacionais. Qualitymark Editora, 2014.

PARETO, V. Cours d'economie politique. Rouge, 1896.

PEARSON, K. Contributions to the Mathematical Theory of Evolution, 1895.

PEARSON, K. Mathematical Contributions to the Theory of Evolution. XI. On the Influence of Natural Selection on the Variability and Correlation of Organs. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, 200, 1-66, 1903.

RIBEIRO, J. L. D., & Fernandes, A. C. Cultura Organizacional e Gestão de Processos: Uma Análise Bibliométrica na Base Scopus. Revista de Gestão e Secretariado, 8(3), 93-118, 2017.

SHEWHART, W. A. Economic Control of Quality of Manufactured Product. D. Van Nostrand Company, 1931.

SLACK, N., Chambers, S., & Johnston, R. Administração da Produção (3ª ed.). Atlas, 2008.

VIANA, Flávio. FUNDIÇÃO CENTRIFUGADA. FV TEcnologia, [S.L], p. 1-11, 200. undefined.

ZIENKIEWICZ, O. C., & Taylor, R. L. "The Finite Element Method: Volume 1, Basic Formulation and Linear Problems." Butterworth-Heinemann, 2000.