

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

TIAGO BASTOS DIEHL

DESENVOLVIMENTO DE UM COPO PARA DEPENADEIRA DE AVES POR  
MANUFATURA ADITIVA APLICADO À CONFECÇÃO DE MOLDES PARA  
FUNDIÇÃO EM ALUMÍNIO

Xanxerê

2025

TIAGO BASTOS DIEHL

DESENVOLVIMENTO DE UM COPO PARA DEPENADEIRA DE AVES POR  
MANUFATURA ADITIVA APLICADO À CONFECÇÃO DE MOLDES PARA  
FUNDIÇÃO EM ALUMÍNIO

Monografia apresentada ao  
curso de Engenharia  
Mecânica do Câmpus  
Xanxerê do Instituto  
Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do diploma  
de Bacharel em Engenharia  
Mecânica

Orientador: Vanessa  
Milhomem Schmitt, M<sup>a</sup>

Xanxerê

2025

D559d Diehl, Tiago Bastos.  
Desenvolvimento de um copo para depenadeira de aves por manufatura aditiva aplicado à confecção de moldes para fundição em alumínio / Tiago Bastos Diehl. — Xanxerê, 2025.  
79 p. : il., color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina — Câmpus Xanxerê. Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientação: Vanessa Milhomem Schmitt.

Inclui referência.

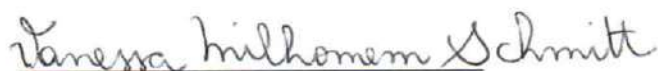
1. Impressão 3D. 2. Fundição. 3. Depenadeira. I.Schmitt, Vanessa Milhomem. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

TIAGO BASTOS DIEHL

DESENVOLVIMENTO DE UM COPO PARA DEPENADEIRA DE AVES POR  
MANUFATURA ADITIVA APLICADO À CONFECÇÃO DE MOLDES PARA  
FUNDIÇÃO EM ALUMÍNIO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Xanxerê, 4 de dezembro de 2025.



Prof<sup>a</sup>. Vanessa Milhomem Schmitt, M<sup>a</sup>.

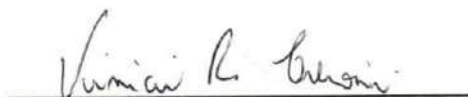
Orientadora

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Xanxerê



Prof. Vinicius Gonçalves Deon, Dr.

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Xanxerê



Prof. Vinicius Raphael Crenonini, Esp.

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Xanxerê

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por permitir este momento e por me dar a força necessária para seguir em frente ao longo dos anos. Agradeço aos meus pais e às minhas irmãs, que estiveram ao meu lado desde o início e sempre apoiaram esta caminhada. Especialmente, agradeço à minha esposa, pelo incentivo constante, por não permitir que eu desistisse e pelo apoio incondicional, principalmente nos momentos mais difíceis e desafiadores durante o conciliar da minha vida acadêmica e profissional. Agradeço também aos professores do IFSC e, em especial, à minha orientadora, por toda ajuda, paciência e pelos ótimos conselhos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

A crescente competitividade industrial e a demanda por maior eficiência nos processos produtivos têm incentivado a adoção de tecnologias capazes de reduzir custos, aumentar a agilidade e melhorar a precisão na fabricação de componentes. Nesse contexto, a manufatura aditiva surge como alternativa para prototipagem rápida e desenvolvimento de peças com geometrias complexas, além de reduzir desperdícios de material. A indústria de processamento de aves exige equipamentos robustos, higienizáveis e eficientes, como as depenadeiras, compostas por tambores e suportes onde são montados dedos de borracha para remoção das penas. Embora muitos desses suportes sejam fundidos em alumínio, o componente estudado é tradicionalmente produzido em aço inoxidável AISI 304, por processos consolidados, porém limitados. Este trabalho propõe a substituição do processo convencional pela fundição em alumínio, utilizando um modelo impresso em 3D como base para a confecção do molde. A avaliação considerou custo unitário, acabamento superficial, precisão geométrica e estabilidade dimensional das peças produzidas. Os resultados demonstraram que o modelo impresso em 3D é adequado como padrão para a confecção do molde, com modificações no projeto CAD — aumento das espessuras de parede, adição de raios nas arestas internas e ângulo de saída de 10° — garantindo o êxito da fundição. O custo de produção do processo convencional mostrou-se superior, especialmente em lotes reduzidos, enquanto a fundição permitiu maior diluição de custos do modelo e furação dos dedos, mantendo a produção economicamente vantajosa. Em relação ao acabamento, a fundição apresentou rugosidade superior à peça soldada, característica do processo em areia, mas sem comprometer a funcionalidade do componente. Quanto à geometria, o processo convencional oferece maior precisão inicial. Dessa forma, a integração entre impressão 3D e fundição em areia demonstrou-se viável tecnicamente e economicamente, proporcionando redução de custos, maior produtividade e adequada estabilidade geométrica, apresentando-se como alternativa para fabricantes regionais de máquinas e equipamentos para frigoríficos.

Palavras-Chave: Impressão 3D. Fundição. Depenadeira.

## ABSTRACT

The increasing industrial competitiveness and the demand for greater efficiency in production processes have encouraged the adoption of technologies capable of reducing costs, increasing agility, and improving precision in component manufacturing. In this context, additive manufacturing emerges as an alternative for rapid prototyping and the development of parts with complex geometries, in addition to reducing material waste. The poultry processing industry requires robust, hygienic, and efficient equipment, such as plucking machines, composed of drums and supports where rubber fingers are mounted for feather removal. Although many of these supports are cast in aluminum, the plucked component is traditionally produced in AISI 304 stainless steel, using consolidated but limited processes. This work proposes a replacement of the conventional process with aluminum plucking, using a 3D printed model as a basis for mold making. The evaluation of these unit costs, surface finish, geometric precision, and dimensional stability of the produced parts is also considered. The results demonstrated that the 3D printed model is suitable as a standard for mold manufacturing, with modifications to the CAD design—increased wall thickness, addition of radii on the inner edges, and a 10° draft angle—ensuring the success of the advantages. The production cost of the conventional process shown is higher, especially in small batches, while the sand casting process provides greater cost dilution for the model and finger drilling, maintaining economically advantageous production. Regarding the finish, the presented surface showed superior roughness compared to the welded part, a characteristic of the sand casting process, but without compromising the component's functionality. As for geometry, the conventional process offers more initial solutions. Thus, the integration between 3D printing and sand casting is demonstrated technically and economically, providing cost reduction, increased productivity, and adequate stability, presenting itself as an alternative for regional manufacturers of machinery and equipment for refrigerators.

Keywords: 3D printing. Casting. Plucking machine.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Copo para depenadeira.....	18
Figura 2 - Esquema de uma aresta de corte típica.....	18
Figura 3 - Representação do esquema de corte em chapas metálicas.....	19
Figura 4 - Operação de dobramento de uma chapa metálica plana.....	20
Figura 5 - Operação de calandra de uma chapa metálica.....	21
Figura 6 - Esquema de soldagem TIG.....	22
Figura 7 - Vista explodida copo depenadeira.....	23
Figura 8 - Montagem parcial do copo.....	25
Figura 9 - Processo FDM (Fused Deposition Modeling).....	26
Figura 10 - Diferença na altura de camadas do processo FDM.....	27
Figura 11 - Fluxograma da produção de peças fundidas.....	29
Figura 12 - Etapas da produção de um molde de areia convencional.....	33
Figura 13 - Geometrias recomendadas para evitar falhas no processo de fundição.....	34
Figura 14 - Geometrias recomendadas para evitar falhas no processo de fundição.....	34
Figura 15 - Pendura de frangos na nórea.....	36
Figura 16 - Modelo de depenadeira industrial.....	37
Figura 17 - Seção transversal de uma depenadeira.....	38
Figura 18 - Dedos de borracha para depenadeira.....	38
Figura 19 - Dedos de borracha para depenadeira.....	39
Figura 20 - Modelo de depenadeira com copo especial para pescoço e ombros.....	39
Figura 21 - Modelo de depenadeira com prato especial esférico, para costas e peito.....	40
Figura 22 - Processo de depenagem.....	40
Figura 23 - Copo soldado para depenadeira.....	42
Figura 24 - Modelo do copo para depenadeira remodelado.....	43
Figura 25 - Interface Ultimaker Cura.....	44
Figura 26 - Impressora modelo Creality Ender-3 V3 SE.....	45
Figura 27 - Finalização do modelo impressão.....	45
Figura 28 - Impressão concluída.....	46
Figura 29 - Medida da base.....	47
Figura 30 - Espessura da parede.....	47
Figura 31 - Ângulo superior.....	48
Figura 32 - Principais alterações na geometria do copo.....	49
Figura 33 - Modelo inserido na caixa de moldagem durante a compactação da areia.....	50
Figura 34 - Modelo pronto para compactação da área na parte interna.....	50
Figura 35 - Molde de areia da parte interna do copo.....	51
Figura 36 - Molde pronto para o processo de derramamento de material.....	51
Figura 37 - Derramamento de alumínio no molde.....	52
Figura 39 - Processo de torneamento do copo fundido.....	53
Figura 40 - Processo de furação para os dedos depenadores.....	53
Figura 41 - Copo finalizado.....	54
Figura 42 - Medida da base.....	54
Figura 43 - Espessura da parede.....	55

Figura 44 - Ângulo superior.....	55
Figura 45 - Superfície do copo fundido.....	61
Figura 46 - Superfície do copo fundido.....	62
Figura 47 - Superfície do copo soldado.....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Custo unitário do copo fundido.....	56
Quadro 2 - Custo unitário do copo soldado.....	56
Quadro 3 - Custo de 20 peças do copo fundido.....	57
Quadro 4 - Custo de 20 peças do copo soldado.....	58
Quadro 5 - Custo de 50 peças do copo fundido.....	58
Quadro 6 - Custo de 50 peças do copo soldado.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

MM - Milímetros

CAD – Computer Aided Design

AM – *Additive Manufacturing*

3D – Tridimensional

STL – *Stereolithography*

FDM – *Fused Deposition Modeling*

ABS – *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (Acrilonitrila Butadieno Estireno)

PLA – *PolyLactic Acid* (Ácido polilático)

PETG - *Polyethylene Terephthalate Glycol* (Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol)

PDP – Processo de desenvolvimento de produtos

LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

CNC - Controle numérico computadorizado

TIG - *Tungsten Inert Gas*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos</b>	<b>15</b>
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivo específico	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Processos de fabricação convencional do copo</b>	<b>17</b>
2.1.1 Corte laser	18
2.1.2 Conformação mecânica	20
2.1.3 Soldagem	22
<b>2.2 Fabricação das peças do copo atual</b>	<b>22</b>
2.2.1 Peça 01 - Corpo	23
2.2.2 Peça 02 - Cantoneiras para fixação no eixo	24
2.2.3 Peça 03 - Fechamento superior	24
2.2.4 Peça 04 - Arruela central	24
2.2.5 Soldagem do conjunto completo	24
<b>2.3 Manufatura aditiva (Impressão 3D)</b>	<b>25</b>
2.3.1 - Influência das configurações de impressão no desempenho da peça	27
2.3.1.1 - Altura da camada	27
2.3.1.2 - Temperatura de extrusão e da mesa	28
2.3.1.3 - Velocidade de impressão	28
2.3.1.4 - Percentual e tipo de preenchimento e espessura de parede	28
2.3.1.5 - Materiais mais utilizados para impressão 3D	28
<b>2.4 Fundição</b>	<b>29</b>
2.4.1 - Moldes temporários	30
2.4.1.1 Fundição em areia verde	30
2.4.2 Moldes permanentes	31
2.4.2.1 Coquilha	31
2.4.2.1 Fundição por pressão	31
2.4.3 Fundição do copo para depenadeira	32
2.4.4 Defeitos na solidificação da fundição	34
<b>2.5 Depenadeiras Industriais</b>	<b>36</b>
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Modelamento</b>	<b>41</b>
3.1.1 Detalhamento	42
<b>3.2 Impressão 3D</b>	<b>43</b>
<b>3.3 Fabricação do molde para fundição</b>	<b>49</b>
3.3.1 Alterações geométricas	49
3.3.2 Fabricação do molde de areia	49
<b>3.4 Fundição do copo</b>	<b>51</b>
<b>3.5 Usinagem do copo</b>	<b>53</b>
<b>3.6 Orçamento</b>	<b>55</b>

<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1 Comparativo de custos.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2 Comparativo do acabamento.....</b>	<b>61</b>
<b>4.3 Geometria e repetibilidade.....</b>	<b>63</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>6 TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>66</b>
<b>6.1 Testes de durabilidade.....</b>	<b>66</b>
<b>6.2 Avaliação da vida útil do modelo impresso em 3D.....</b>	<b>66</b>
<b>6.3 Redução de furos para dedos depenadores.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE A – Desenho técnico do copo para depenadeira.....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE B – Desenho técnico do copo fundido para depenadeira.....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE C – Relatório Nest&amp;Cut para uma unidade do copo soldado.....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE D – Relatório Nest&amp;Cut para 20 unidades do copo soldado.....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE E – Relatório Nest&amp;Cut para 50 unidades do copo soldado.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO A – Quadro de chapas.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO B – Quadro de cantoneira de abas iguais.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO C – Quadro de custos relacionados para impressão do modelo 3D.....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente competitividade do mercado e a complexidade dos produtos têm demandado das empresas alterações substanciais no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), com foco na redução de prazos e no aumento da eficiência operacional. (Volpato, 2017).

Nesse cenário, a indústria tem integrado tecnologias emergentes que viabilizam maior agilidade e precisão na fabricação, destacando-se a manufatura aditiva como uma alternativa viável para a produção rápida de peças complexas, com alto nível de detalhamento e funcionalidade, além de reduzir desperdícios de material e tempo de desenvolvimento.

Diante desse contexto, este trabalho propõe como problema de pesquisa: de que forma a impressão 3D pode ser aplicada na solução de um problema atual da indústria? Qual é sua empregabilidade e viabilidade neste processo? A partir dessas questões, objetiva-se investigar a aplicação da manufatura aditiva na confecção de um molde de fundição para um porta dedos de borracha, componente essencial no funcionamento de depenadeiras, equipamento amplamente utilizado em frigoríficos, usado para a retirada de penas de aves.

Atualmente, os modelos mais comuns desses componentes são fundidos em alumínio e apresentam geometrias variadas. No entanto, a peça foco deste estudo ainda é produzida em aço inoxidável 304 por meio de processos de fabricação simples e de baixo custo. A proposta desta pesquisa consiste em empregar a impressão 3D como uma solução economicamente viável e tecnicamente eficiente, especialmente para pequenas e médias empresas, que frequentemente enfrentam barreiras à adoção de novas tecnologias devido a altos investimentos iniciais e falta de infraestrutura.

A metodologia proposta envolve compreender detalhadamente o processo de fabricação atual da peça, desenvolver sua modelagem em *software* 3D, selecionar um material adequado, realizar ajustes geométricos e, por fim, efetuar testes comparativos com a versão tradicional. O desenvolvimento deste projeto se baseia em fundamentos técnicos associados à manufatura aditiva, ao *design* voltado para fabricação e a análise de materiais, sempre considerando os desafios reais enfrentados na rotina industrial.

Com isso, pretende-se demonstrar que a substituição do processo atual de fabricação pelo processo de fundição, utilizando o modelo 3D para criação do molde é possível e vantajosa, tanto em termos de custo quanto de eficiência. Além disso, a iniciativa contribui para a ampliação do uso da manufatura aditiva no setor industrial, incentivando práticas mais inovadoras, sustentáveis e produtivas.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo por meio da impressão 3D para a fabricação de um porta dedos de borracha utilizado em depenadeiras, com a intenção de substituir o atual processo de fabricação, avaliando a viabilidade técnica, funcional e econômica da alternativa proposta.

### 1.1.2 Objetivo específico

- Analisar o processo atual de fabricação do porta dedos em aço inoxidável 304, identificando suas limitações em termos de custo e tempo de produção.
- Modelar a peça em *software* CAD (*Computer Aided Design*) 3D, respeitando geometria e funcionalidade;
- Realizar a impressão 3D do modelo e executar o processo de fundição da peça em alumínio, avaliando a qualidade do resultado obtido;
- Comparar a peça fundida a partir do modelo impresso com a versão soldada em aço inoxidável 304, com base em critérios como, acabamento, tempo de fabricação e custos;
- Avaliar a viabilidade de implementação do novo processo junto a fabricantes de máquinas e equipamentos para frigoríficos, mediante análise dos requisitos operacionais, impactos na integração aos sistemas existentes e dos benefícios técnicos e econômico-financeiros associados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

De forma a embasar tecnicamente este estudo, esta seção apresenta uma revisão de literatura dos principais conceitos relacionados à atual fabricação do copo em aço inoxidável, manufatura aditiva, processos de fundição de metais, fabricação e aplicação de modelos impressos em 3D na indústria, juntamente ao processo de depenagem de aves.

A fabricação de peças e equipamentos para a indústria alimentícia sempre esteve sujeita a rigorosas normas sanitárias e exigências de desempenho (ANVISA, 2002). Uma normativa atualizada informa que, os materiais que podem ter contato direto com alimento são basicamente ligas de aço inoxidável (ANVISA, 2021). No contexto específico do processo de abate, segundo Barker *et al* (2004), a depenagem de aves é feita através de dedos de borrachas montados em discos contra-rotativos acionados eletricamente através de correias ou engrenagens. Após a etapa de depenagem, o processo de abate prossegue até o transpasse, que consiste na mudança das carcaças da nórea (equipamento industrial utilizado para elevação de carcaças de aves) pertencente à área suja para a nória pertencente à área limpa. (Pereira, 2013).

Dessa forma, os discos utilizados no processo de depenagem não entram em contato direto com o produto e permanecem na área suja do abate, o que possibilita a exploração de materiais alternativos ao aço inoxidável para sua fabricação, considerando fatores como custo, usinabilidade, peso e disponibilidade no mercado. Por isso, conforme Indemafri e Frinox (2025), os discos onde são montados os dedos de borracha, geralmente são fabricados em alumínio.

A peça analisada neste estudo apresenta uma geometria distinta dos pratos tradicionalmente utilizados em equipamentos nacionais, evidenciando uma aplicação específica desse componente. No entanto, a utilização de materiais alternativos ao aço inoxidável mostra-se igualmente viável. Empresas como JBT e Marel (2025) adotam discos especiais no processo de depenagem, baseando-se em conceitos próprios de funcionamento de seus equipamentos, aplicáveis não apenas a frangos, mas também a aves de maior porte, como patos e perus.

Devido às dificuldades de importação e altos custos envolvidos, a fabricação de peças para equipamentos importados é uma maneira de viabilizar a sua

manutenção (Bello, 1968). Inicialmente, essa substituição costuma ser realizada por meio de processos de fabricação mais simples e de baixo custo, como a soldagem e a conformação mecânica. Embora sejam acessíveis, tais métodos apresentam limitações quanto à precisão dimensional em uma produção seriada e velocidade de fabricação. Com isto, a fundição se apresenta como uma solução mais adequada para contrapor estas desvantagens, permitindo a fabricação de peças complexas, além de viabilizar a produção em escala. (Fundição Marieta, 2025).

Apesar da complexidade geométrica, a manufatura aditiva permite sua reprodução com precisão. Ao compreender o funcionamento do processo de fundição, verifica-se que é viável utilizar um modelo impresso em 3D como base para a fabricação de moldes, ampliando significativamente as possibilidades de reprodução dessa geometria.

## **2.1 Processos de fabricação convencional do copo**

Para compreender a necessidade de adaptar o projeto do copo para depenadeira ao processo de fundição, é fundamental analisar os métodos convencionais atualmente empregados em sua fabricação. Essa revisão permite identificar limitações técnicas e produtivas, além de fornecer os subsídios necessários para a implementação de um processo alternativo.

O Apêndice A apresenta os desenhos técnicos utilizados na fabricação convencional do copo, como exhibe a Figura 1, todos modelados a partir do *software SolidWorks*, amplamente utilizado para projetos CAD. Analisando sua forma construtiva, observa-se que as etapas de produção envolvem, de forma geral, operações de corte, conformação e soldagem.

Figura 1 - Copo para depenadeira

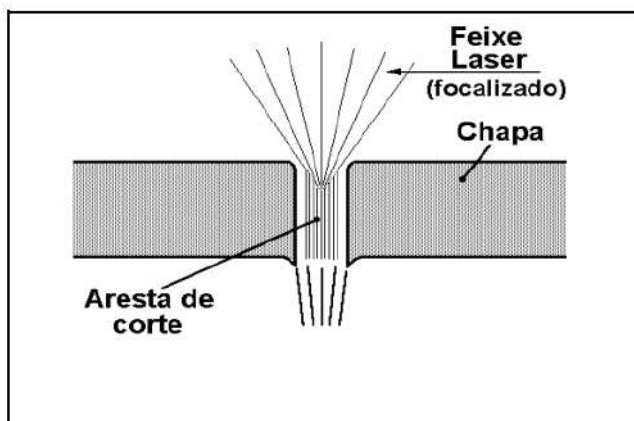


Fonte: Do autor (2025).

### 2.1.1 Corte laser

O termo LASER vem da sigla *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significa amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. Na indústria, o corte a laser é amplamente utilizado por sua alta precisão e eficiência na separação de materiais metálicos. O processo funciona ao concentrar um feixe de luz altamente energético sobre a superfície do metal, por meio de uma lente ou espelho, essa concentração gera calor suficiente para fundir o material, conforme Figura 2. Simultaneamente, um jato de gás (oxigênio ou nitrogênio) é aplicado na zona de corte para expulsar o material fundido e garantir a separação da peça (Gerck; Lima, 1997).

Figura 2 - Esquema de uma aresta de corte típica.

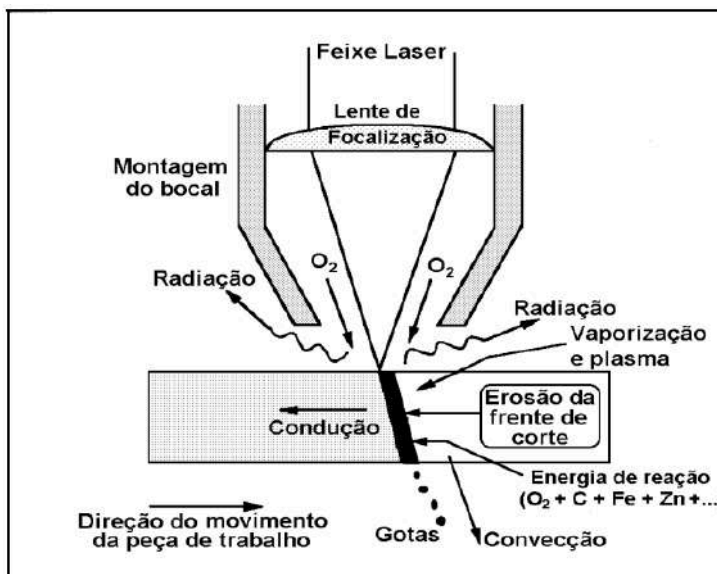


Fonte: Adaptado de Gerck e Lima (1997).

Conforme destacam Gerck e Lima (1997), um fator fundamental para a eficiência do corte é o posicionamento adequado do ponto focal do feixe. Essa configuração otimiza a absorção da energia luminosa e facilita a formação de uma cavidade que atua como guia, promovendo a continuidade do corte em camadas mais profundas. Ademais, as superfícies internas da aresta de corte refletem parte do feixe, o que contribui para o aumento da eficiência energética do processo.

Durante o processo, é comum a formação de pequenas rebarbas na parte inferior do corte, causadas pela solidificação do material fundido arrastado pelo jato de gás (gotas). Essas rebarbas são, em geral, frágeis e facilmente removíveis. Já na parte superior, pode ocorrer um leve arredondamento nas bordas devido ao acúmulo de material fundido. Ainda assim, o corte a laser oferece excelente qualidade dimensional e alta repetibilidade (Gerck; Lima, 1997). O corte a laser é ideal para aplicações que exigem excelente acabamento superficial devido sua capacidade de manter constância dimensional mesmo em peças com geometrias complexas devido seu uso combinado com CNC (Comando numérico computadorizado), contribuindo para a padronização, automação e redução de desperdícios na produção industrial. O esquema de corte é representado na Figura 3. (Morais; Borges, 2009 *apud* Reckziegel, 2017).

Figura 3 - Representação do esquema de corte em chapas metálicas..



Fonte: Adaptado de Gerck e Lima (1997)

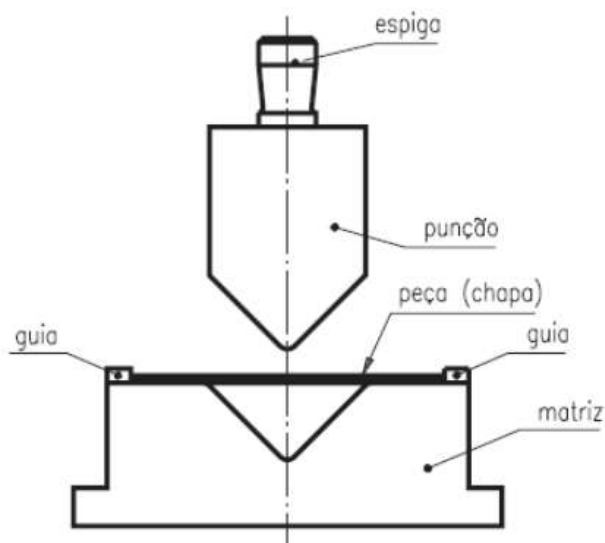
### 2.1.2 Conformação mecânica

Segundo Reckziegel (2017), o processo de dobra é amplamente utilizado na indústria por sua capacidade de aumentar a rigidez estrutural das peças metálicas. Isso ocorre porque, ao serem conformadas, as chapas adquirem formas que elevam o momento de inércia do material, permitindo que suportem maiores esforços.

Para garantir bons resultados no processo, é essencial considerar alguns fatores importantes, como a elasticidade do material, o raio interno mínimo de curvatura, o comprimento total da peça desenvolvida e as forças envolvidas durante a dobra. A análise adequada desses elementos é fundamental para definir as ferramentas e parâmetros de processo, prevenindo falhas e assegurando a qualidade final da peça. (Reckziegel, 2017).

O dobramento é um processo de conformação mecânica que consiste na deformação plástica de chapas metálicas planas com o objetivo de alterar sua geometria original, conferindo-lhes ângulos e formas específicas de acordo com o projeto. Essa deformação é obtida por meio da aplicação de uma força controlada, exercida por um punção sobre o material, geralmente contra uma matriz. A força necessária é calculada com base no limite de escoamento do material, de forma a garantir que a deformação ocorra de maneira permanente e dentro dos parâmetros desejados. A Figura 4 ilustra a operação de dobramento de uma chapa.

Figura 4 - Operação de dobramento de uma chapa metálica plana..

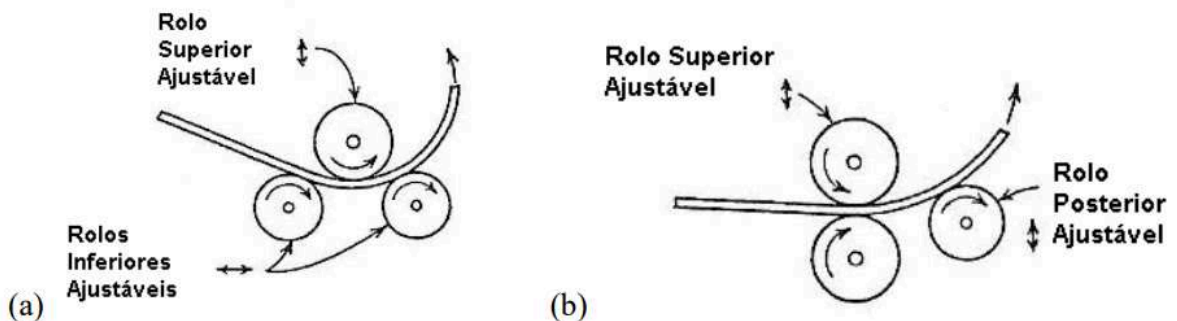


Fonte: Adaptado de Reckziegel, 2017 *apud* Neves, 2013

Durante o processo, a região externa da chapa tende a acompanhar o formato da matriz, enquanto a interna segue o perfil do punção. Para realizar esse tipo de conformação, são utilizados equipamentos específicos, cuja escolha depende do volume, da complexidade do trabalho e o que o material dobrado comporta.

A conformação por calandra é uma variação do processo de dobra convencional, enquanto a dobra convencional usa raios pequenos (punção) em ângulos definidos, a calandra deixa a peça em formato cilíndrico ou cônico, gerando curvaturas contínuas, dando origem a arcos e até curvas fechadas. A calandragem é um processo de conformação mecânica utilizado para curvar chapas metálicas por meio da aplicação gradual de esforços distribuídos, empregando um conjunto de três ou mais cilindros rotativos, como pode ser observado na Figura 5. Todos os cilindros giram de forma sincronizada e são responsáveis por tracionar e deformar a chapa até atingir a curvatura desejada. (Poll, 2008).

Figura 5 - Operação de calandra de uma chapa metálica.



Fonte: Adaptado de Poll, 2008 *apud* Campbell, 1961.

Em calandras de três cilindros, o cilindro superior, geralmente central, exerce pressão sobre a chapa, sendo ajustado na direção vertical, enquanto os dois cilindros inferiores permanecem fixos em um plano horizontal, promovendo o movimento da peça. De modo geral, recomenda-se que o raio mínimo de curvatura seja pelo menos seis vezes o diâmetro da barra ou a espessura da seção na direção da dobra. Essa relação é importante para evitar deformações excessivas ou colapsos estruturais durante a conformação (Poll, 2008).

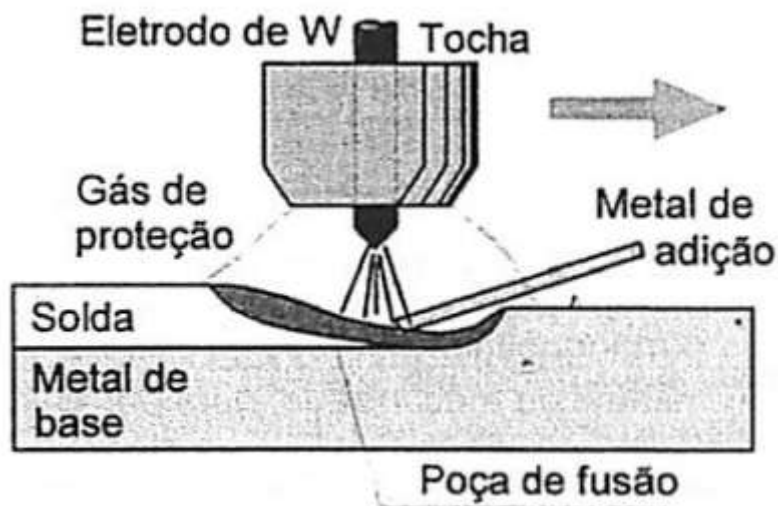
A calandragem é amplamente utilizada em peças cujo formato seria inviável fazê-la através de uma dobra comum com punção e matriz fixa.

### 2.1.3 Soldagem

A soldagem é um dos métodos mais comuns e importantes na fabricação mecânica para unir metais, sendo amplamente utilizada em diversas aplicações industriais. O seu princípio básico é simples: fundir um metal de adição (ou até mesmo sem ele) sobre o metal base, de modo que a região unida apresente características mecânicas semelhantes às do material original. A eficiência dessa união depende diretamente da qualidade da solda realizada. (Marques; Modenesi; Bracarense, 2011)

Entre os diversos processos existentes, a soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*), utiliza um eletrodo de tungstênio e gás inerte, ele obtém um cordão de solda limpo, preciso e de alta qualidade, conforme Figura 6. Isso acontece porque o gás inerte, normalmente argônio, cria uma atmosfera protegida durante a soldagem, o que evita contaminações e reações indesejadas. (Marques; Modenesi; Bracarense, 2011).

Figura 6 - Esquema de soldagem TIG.



Fonte: Adaptado de Marques; Modenesi; Bracarense, 2011.

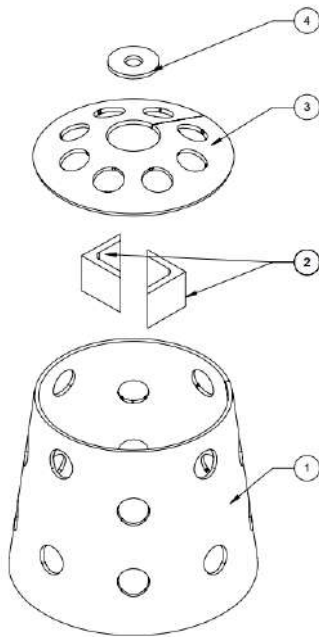
## 2.2 Fabricação das peças do copo atual

Neste tópico, é analisado onde cada processo de fabricação é empregado para produção do copo para depenadeira.

Conforme ilustrado na Figura 7, o copo para depenadeira é composto por

quatro elementos principais montados em conjunto: o corpo (1), os cantoneiras para fixação no eixo (2), o fechamento superior (3) e a arruela central (4). A seguir, serão descritos os processos de fabricação aplicados a cada componente.

Figura 7 - Vista explodida copo depenadeira.



Fonte: Do autor, 2025.

### 2.2.1 Peça 01 - Corpo

O corpo da peça é inicialmente produzido por meio do processo de corte a laser em chapa de aço inoxidável 304 de 2,5mm de espessura (Conforme anexo A), que permite alta precisão no contorno e na distribuição dos furos. Em seguida, essa chapa é submetida ao processo de calandragem, que confere à peça sua geometria cônica característica. No entanto, essa etapa gera deformações nos furos previamente cortados. Para corrigir essas alterações e assegurar a precisão dimensional necessária, realiza-se a reabertura dos furos, o que garante tolerâncias adequadas para a aplicação. Além disso, os furos são escareados com o objetivo de evitar interferências ou danos durante a montagem dos dedos de borracha, promovendo um encaixe adequado e seguro.

### 2.2.2 Peça 02 - Cantoneiras para fixação no eixo

As cantoneiras, com dimensões nominais de 31,75 mm e espessura de 4,76 mm (equivalente a 1 ¼" x 3/16", conforme Anexo B), são inicialmente cortadas e ajustadas de forma a permitir o encaixe adequado entre suas extremidades. Esse preparo visa a união precisa por meio de soldagem, com o intuito de formar uma seção quadrada.

### 2.2.3 Peça 03 - Fechamento superior

O fechamento superior, da mesma forma que o corpo, é inicialmente produzido por meio do processo de corte a laser em chapa de aço inox 304 de 2,5mm de espessura (Conforme anexo A). Em seguida, é submetida ao processo de calandragem, também gerando deformações nos furos previamente cortados. Para corrigir essas alterações, realiza-se a reabertura dos furos, garantindo tolerâncias adequadas para a aplicação. Além disso, os furos são escareados com o objetivo de evitar interferências ou danos durante a montagem dos dedos de borracha, promovendo um encaixe adequado e seguro.

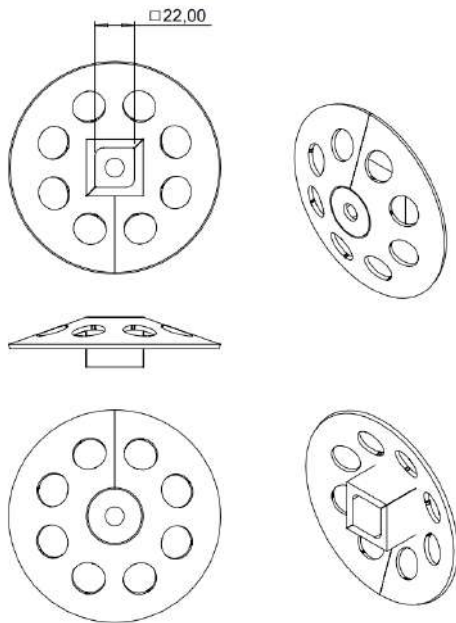
### 2.2.4 Peça 04 - Arruela central

A arruela central é produzida por meio do processo de corte a laser em chapa de aço inox 304 de 2,5mm de espessura (Conforme anexo A), apenas se é removido suas rebarbas para posterior processo de soldagem nos demais componentes.

### 2.2.5 Soldagem do conjunto completo

Após a fabricação dos componentes individualmente, dá-se início à montagem do conjunto por meio do processo de soldagem. As peças 2, 3 e 4 são soldadas entre si e, antes de serem fixadas definitivamente, passam por uma centralização no conjunto, utilizando o eixo base como gabarito para montagem. Essa etapa é fundamental para assegurar a funcionalidade e o alinhamento do sistema, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 - Montagem parcial do copo.



Fonte: Do autor, 2025.

Com os encaixes alinhados e conferidos, realiza-se a soldagem final, unindo o corpo principal (componente 1) aos demais elementos. Esse processo assegura a rigidez estrutural e a correta geometria dos componentes, resultando na finalização do conjunto.

### 2.3 Manufatura aditiva (Impressão 3D)

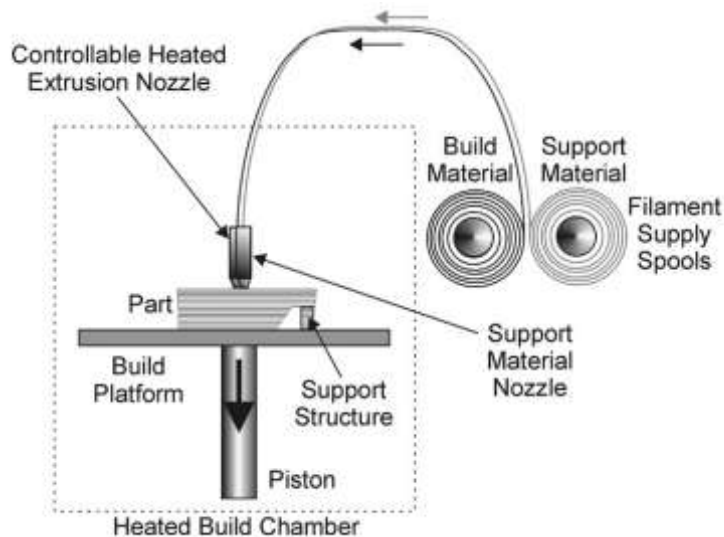
As tecnologias convencionais de manufatura, em geral, apresentam desvantagens significativas relacionadas ao tempo de produção e ao desperdício de material. Esses processos, comumente baseados na remoção de material, costumam gerar grandes quantidades de resíduos que não podem ser reutilizados diretamente, resultando em considerável perda de matéria-prima. (Chua; Wong; Yeong, 2017)

No entanto, a manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, constitui um processo no qual o material é adicionado em camadas nos eixos X e Y, até formar a geometria tridimensional no eixo Z. Assim, a prototipagem de projetos se torna rápida, possibilitando sua impressão, testes, modificações e reimpressões com agilidade e economia de material. Além disso, a manufatura aditiva se destaca por sua capacidade de fabricar geometrias complexas, dispensando o uso de

técnicas convencionais. O processo começa com a modelagem digital em um software de CAD, exportação do arquivo para o formato STL (*Stereolithography*), que converte a superfície externa do objeto em uma malha de triângulos, permitindo sua leitura no equipamento de impressão 3D. (Chua; Wong; Yeong, 2017).

O modelo impressão 3D utilizado nesta monografia, conhecido como FDM consiste basicamente em, tracionar o filamento entre componentes rolantes, como mostrado na Figura 9, empurrando-o contra o bico de extrusão que aquece o material com temperatura controlada, formando um fluxo contínuo de polímero fundido. Depois de várias camadas do material sendo adicionado, é obtida a forma final do objeto desejado. (Swift, 2013).

Figura 9 - Processo FDM (*Fused Deposition Modeling*)



Fonte: Adaptado de Swift. (2013)

Os materiais mais comuns de filamento para utilização no processo FDM (*Fused Deposition Modeling*) são ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) e PLA (*PolyLactic Acid*). Tanto para a peça em si, quanto para o suporte (utilizado em peças cuja geometria não é contínua e possui alto risco de problemas de impressão relacionados à falta de apoio para garantia da geometria final). Estes materiais são usados por suas propriedades de alta resistência e resistência ao calor (Anderson, 2012).

### 2.3.1 - Influência das configurações de impressão no desempenho da peça

As configurações de impressão exercem influência direta sobre qualidade superficial, resistência mecânica, tempo de fabricação e custo. Essas variáveis são definidas no *software* de fatiamento e determinam o comportamento do material durante a deposição e solidificação. Entre os parâmetros mais relevantes, destacam-se: altura de camada, temperatura de extrusão e de mesa; velocidade de impressão, percentual e tipo de preenchimento, aprofundados abaixo.

#### 2.3.1.1 - Altura da camada

A altura de camada constitui um parâmetro fundamental no desempenho do processo. Reduções nesse valor tendem a aprimorar a resolução geométrica e a diminuir a rugosidade superficial, ainda que impliquem maior tempo de fabricação. Por outro lado, o incremento da altura de camada reduz o tempo de impressão, porém reduz a qualidade do acabamento superficial e pode comprometer as tolerâncias dimensionais do componente (Gibson; Rosen; Stucker, 2021). A Figura 10 apresenta a variação da resolução em função da altura da camada.

Figura 10 - Diferença na altura de camadas do processo FDM.



Fonte: Adaptado de Gibson. (2013)

### 2.3.1.2 - Temperatura de extrusão e da mesa

Temperaturas inadequadas podem gerar problemas como delaminação, sub extrusão e empenamento. A temperatura controla a adesão entre camadas e adesão na mesa de impressão, influenciando diretamente na qualidade final da peça e resistência mecânica (Gibson; Rosen; Stucker, 2021).

### 2.3.1.3 - Velocidade de impressão

Velocidades altas reduzem o tempo de fabricação, mas podem diminuir a qualidade superficial e aumentar o risco de falhas, como má adesão das camadas e instabilidade dimensional. Velocidades mais baixas favorecem a precisão da peça, mas elevam o custo de impressão e a quantidade de material. (Gibson; Rosen; Stucker, 2021).

### 2.3.1.4 - Percentual e tipo de preenchimento e espessura de parede

O preenchimento afeta diretamente a resistência e a massa da peça. Preenchimentos altos aumentam a rigidez, mas elevam o consumo de material e o tempo de impressão. Geometrias como *honeycomb* ou *gyroid* permitem boa relação resistência–peso, sendo recomendadas para peças estruturais. Uma parede mais espessa melhora o comportamento mecânico, especialmente pelas interfaces de preenchimento serem zonas de fragilidade. (Gibson; Rosen; Stucker, 2021)

### 2.3.1.5 - Materiais mais utilizados para impressão 3D.

Os materiais mais comuns na impressão FDM são ABS, PLA e PETG. O PLA se destaca pela facilidade de impressão e baixa deformação térmica, sendo indicado para protótipos rápidos. O ABS, apresenta maior resistência térmica e impacto, porém exige maior controle de temperatura de impressão e da mesa. Já o PETG possui boa resistência mecânica e química, apresenta menor tendência ao empenamento em comparação ao ABS e maior ductilidade que o PLA, sendo adequado para peças funcionais submetidas a esforços moderados.

Todos esses materiais podem ser utilizados tanto na fabricação do modelo

quanto em suportes estruturais, os quais são essenciais em geometrias com balanços ou faces não coincidentes à mesa de impressão.

## 2.4 Fundição

A fundição é um processo de fabricação no qual o metal, previamente aquecido até seu estado totalmente líquido, é vertido em uma cavidade que reproduz a forma desejada da peça final. Ao solidificar, o metal assume o formato da cavidade. Essa técnica é amplamente empregada em diversos setores industriais, sendo indicada em situações onde a geometria da peça é complexa ou de grandes dimensões. O fluxograma de fabricação é mostrado na Figura 11. (Callister; Rethwisch, 2009).

A fundição permite a produção de peças com inúmeros formatos, tamanhos e diferentes níveis de complexidade, podendo ser feita de forma unitária ou em larga escala de fabricação, tudo depende do método aplicado. (Soares, 2000).

A cavidade onde o metal fundido é vertido, chama-se molde. Existem diversos tipos de moldes, tanto temporários quanto permanentes, cada um é empregado em aplicações específicas.

Figura 11 - Fluxograma da produção de peças fundidas.



Fonte: Adaptado de Costa. (2019).

### 2.4.1 - Moldes temporários

Os moldes temporários são amplamente utilizados na fundição devido à sua versatilidade e baixo custo. Entre os principais tipos, destacam-se os moldes de areia verde, e cera perdida, processos muito comuns e com aplicações distintas. São indicados principalmente para produções de pequeno a médio volume e permitem a confecção de peças de grande porte e geometria complexa. Apresentam tolerâncias dimensionais mais amplas porém acabamento superficial inferior aos moldes permanentes, sua capacidade de adaptação a diferentes ligas e formas torna-os essenciais na indústria metalúrgica e na prototipagem. (Callister; Rethwisch, 2009).

#### 2.4.1.1 Fundição em areia verde

A fundição em areia verde é um processo de fabricação que utiliza moldes temporários confeccionados a partir de uma mistura de areia, argila e água. Nesse método, o metal líquido é vazado no molde predominantemente por ação da gravidade, solidificando-se na geometria desejada. Trata-se de uma das técnicas mais tradicionais e amplamente empregadas na indústria devido à sua versatilidade, baixo custo e capacidade de produzir peças de diferentes tamanhos e complexidades. (Filho, 2016).

Segundo Chiaverini (1977), o molde deve atender a diversos requisitos essenciais para que o processo de fundição ocorra em condições adequadas. Entre esses requisitos, destaca-se a necessidade de resistência mecânica suficiente para suportar o peso e a pressão do metal líquido durante o vazamento, bem como para resistir à ação erosiva provocada pelo fluxo metálico. Além disso, o molde deve gerar a menor quantidade possível de gases — a fim de evitar erosão interna e contaminação do metal — ou, alternativamente, deve permitir a adequada saída dos gases formados para a atmosfera, prevenindo defeitos na peça fundida.

Ainda segundo Chiaverini (1977), a moldagem em areia verde constitui o processo mais simples e amplamente empregado nas fundições. O método consiste na compactação — manual ou mecanizada — de uma mistura refratária plástica, denominada areia de fundição, composta predominantemente por areia silicosa, argila e água, sobre um modelo posicionado na caixa de moldar. Após a formação

da cavidade do molde, o metal líquido é imediatamente vazado em seu interior para dar origem à peça fundida. Além disso, um sistema de canais de alimentação é geralmente incorporado ao molde, para acelerar o escoamento do metal fundido para o interior da cavidade e para minimizar defeitos de fundição. (Filho, 2016).

#### 2.4.2 Moldes permanentes

Os moldes permanentes, fabricados geralmente em aço ou ferro fundido. Destacam-se pela alta precisão dimensional, melhor acabamento superficial e ciclo de produção contínuo, sendo ideais para grandes volumes e produção em série. Seu principal limitador é o custo inicial elevado e a limitação quanto ao tamanho e à complexidade das peças. Ainda assim, são preferidos em aplicações que exigem repetibilidade, resistência mecânica e redução de retrabalho pós-fundição. (Evangelista; Silva, 2020)

##### 2.4.2.1 Coquilha

A fundição por coquilha utiliza moldes metálicos que podem ser reutilizados diversas vezes, o que elimina a necessidade de fabricar um novo molde para cada peça. Esse processo pode ser feito por gravidade ou, em variações, com o auxílio de pressão. Os moldes, são projetados para se abrir e fechar com facilidade, contendo também os canais de vazamento e massalotes. (Evangelista; Silva, 2020).

Apesar de sua durabilidade, o uso de moldes permanentes é mais indicado para metais com ponto de fusão mais baixo. Isso porque metais como ferro fundido exigem temperaturas de vazamento mais altas, o que pode comprometer a integridade do molde com o tempo. (Evangelista; Silva, 2020).

Embora representem um investimento inicial mais alto, sua aplicação é economicamente vantajosa em produções de médio a grande volume. O processo pode ser automatizado, proporcionando elevada produtividade, bom acabamento superficial e melhor desempenho mecânico das peças fundidas.

##### 2.4.2.1 Fundição por pressão

A fundição com matriz, também conhecida como fundição sob pressão (*die casting*), é um processo em que o metal fundido é injetado com alta pressão no

molde. Esse molde é geralmente feito de aço e dividido em duas partes que, quando unidas, formam a cavidade com o formato da peça a ser produzida. O metal líquido é introduzido em alta velocidade e permanece sob pressão até que ocorra a solidificação completa. Após esse processo, as partes da matriz se abrem automaticamente e a peça fundida é removida. (Callister; Rethwisch, 2009).

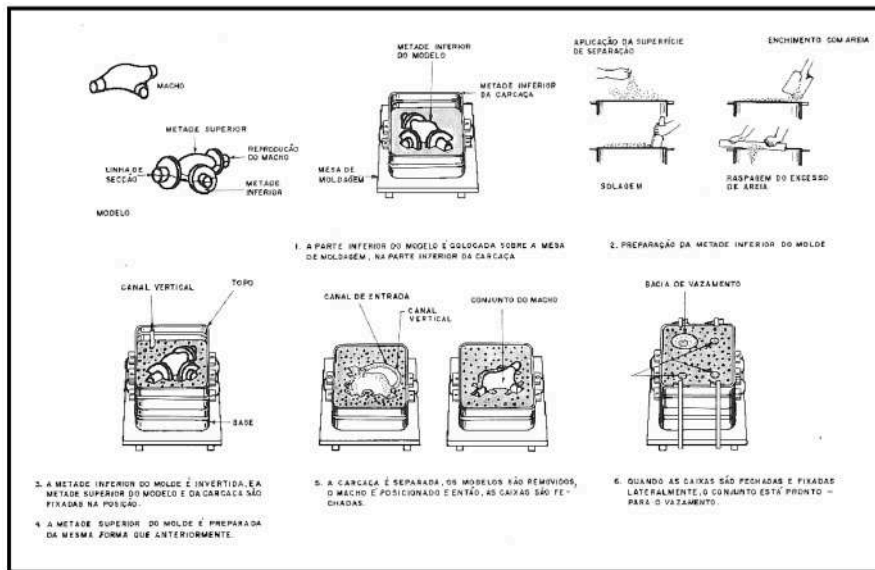
Essa técnica permite uma alta taxa de produção, sendo muito eficiente e econômica para grandes volumes, já que um único conjunto de matrizes pode ser reutilizado várias vezes. Além disso, proporciona um excelente acabamento superficial e boa precisão dimensional. No entanto, sua aplicação é limitada a peças de pequeno porte e a ligas de baixa temperatura de fusão, pois temperaturas muito elevadas poderiam comprometer a durabilidade da matriz. (Callister; Rethwisch, 2009).

#### 2.4.3 Fundição do copo para depenadeira

Conforme Costa *et al* (2019), o processo de fundição mais utilizado na indústria é a fundição em areia, por ser o processo mais barato e o mais versátil. Além disso, a areia utilizada pode ser facilmente reciclada, o que contribui para o baixo custo envolvido no processo. No entanto, esse método apresenta algumas desvantagens, como maior erosão do molde e acabamento superficial inferior, especialmente em peças de grandes dimensões.

As peças fabricadas por fundição com molde de areia devem passar por etapas de acabamento, retirando excesso de material proveniente do molde e melhorando seu acabamento superficial, conforme mostra Figura 12.

Figura 12 - Etapas da produção de um molde de areia convencional.



Fonte: Adaptado de Soares. (2000).

Um ponto importante a ser considerado é a contração que o material sofre, tanto na fase líquida, quanto no processo de resfriamento e solidificação. Isto ocorre em quase todos os tipos de metais, pois a fase sólida tem densidade maior que no estado líquido e a transformação que acompanha a solidificação causa a redução no volume por unidade de massa do metal. (Filho, 2016).

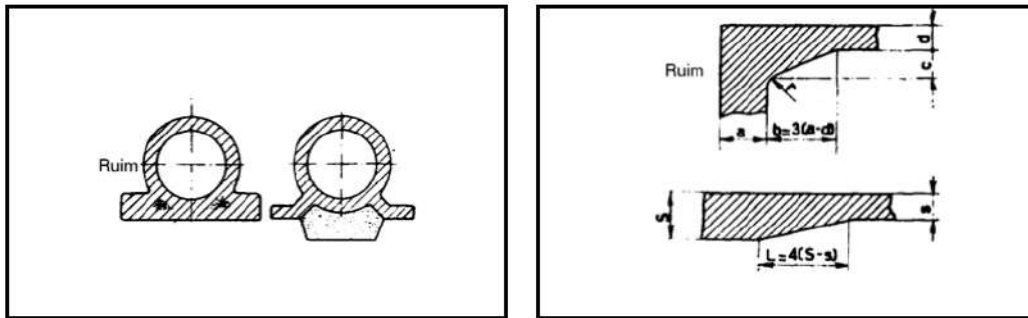
A compensação de contração da solidificação é obtida de diversas formas, dependendo da operação da fundição. No processo de fundição em areia a contração é suprida por massalotes (reservatórios presentes no molde), além da geometria na peça, que servem exclusivamente para preencher as lacunas e diminuir a porosidade que a contração pode causar. (Evangelista; Silva, 2020). Ou até mesmo a peça utilizada para fazer o macho é feita um pouco maior, para compensar a contração do material e evitar rechupes ou vazios em pontos críticos da peça.

A fundição exige adaptações específicas no projeto da peça a fim de garantir qualidade dimensional, resistência e viabilidade produtiva. Dentre as principais modificações necessárias, destaca-se a aplicação de raios de concordância em arestas internas.

Essas recomendações são amplamente discutidas na literatura técnica. Segundo Soares (2009), o uso de raios em cantos vivos reduz significativamente a concentração de tensões térmicas, e também diminui a porosidade e a chance de

trincas, melhorando a integridade estrutural da peça fundida (Figura 13).

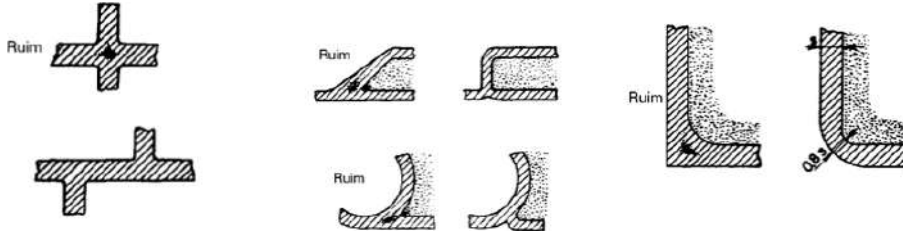
Figura 13 - Geometrias recomendadas para evitar falhas no processo de fundição.



Fonte: Adaptado de Soares, 2009.

Porém, o aumento das espessuras deve ser cuidadosamente avaliado para manter o equilíbrio entre resistência mecânica e economia de material, especialmente em peças submetidas a esforços mecânicos complexos, mostrada na Figura 14.

Figura 14 - Geometrias recomendadas para evitar falhas no processo de fundição.



Fonte: Adaptado de Soares, 2009.

Portanto, ao projetar uma peça originalmente soldada para ser fundida, é imprescindível considerar adaptações geométricas sem alterar sua geometria base, assim, se assegura a funcionalidade e a durabilidade do produto final.

#### 2.4.4 Defeitos na solidificação da fundição

De acordo com Chiaverini (1977), a solidificação do metal no interior do molde — transição do estado líquido para o sólido — constitui um dos fenômenos mais relevantes da fundição, envolvendo cristalização, contração de volume, segregação de impurezas e liberação de gases. A cristalização inicia-se com a

formação de núcleos que originam os cristais e, posteriormente, os grãos metálicos. O crescimento cristalino ocorre de forma não uniforme, variando conforme os eixos cristalográficos e sendo limitado pelas paredes do molde, o que promove a formação de dendritas. À medida que essas dendritas se encontram, delimitam-se os grãos e seus contornos, consolidando a microestrutura sólida. Como a solidificação se inicia nas paredes do molde, os cristais tendem a crescer preferencialmente na direção perpendicular a essas superfícies, gerando uma estrutura colunar típica. Nos cantos do molde, a convergência de colunas provenientes de faces adjacentes pode produzir planos diagonais de fragilidade, favorecendo fissuras em operações posteriores, como laminação; por isso, recomenda-se o arredondamento dos cantos.

A contração, resultante da redução de volume durante a solidificação, é normalmente expressa de forma linear para facilitar o dimensionamento dos modelos. A contração pode gerar cavidades internas (rechupes), os quais são minimizados pelo uso de 'cabeças quentes' e alimentadores, projetados para solidificarem por último e conterem o defeito, preservando a integridade da peça (Chiaverini, 1977).

Algumas ligas metálicas apresentam impurezas que se comportam de maneira distinta nos estados líquido e sólido. Nas ligas ferro-carbono, por exemplo, elementos como fósforo, enxofre, manganês e o próprio carbono encontram-se totalmente dissolvidos no metal líquido. Durante a solidificação, porém, a menor solubilidade desses elementos na fase sólida faz com que se concentrem no líquido remanescente, acumulando-se nas últimas regiões a solidificar. Esse fenômeno, denominado segregação, pode persistir mesmo após processos de laminação ou forjamento, resultando em composição química heterogênea e, conseqüentemente, em variações indesejáveis das propriedades mecânicas (Chiaverini, 1977).

O desprendimento de gases ocorre principalmente em ligas ferro-carbono, devido à reação do oxigênio dissolvido com o carbono, formando CO e CO<sub>2</sub>, que escapam facilmente enquanto o metal está líquido. À medida que a temperatura cai e a viscosidade do líquido aumenta, a liberação de gases torna-se mais difícil, resultando em bolhas próximas à superfície de peças ou lingotes. Para evitar esse problema em aços de alto carbono, adicionam-se ao metal líquido substâncias oxidantes, como ferros ligas (ferro-silício, ferro-manganês) ou alumínio, que promovem a eliminação dos gases (Chiaverini, 1977).

## 2.5 Depenadeiras Industriais

Na indústria, assim que chegam ao frigorífico, as aves são penduradas manualmente em ganchos que as transportam através de uma nórea tracionada por corrente (Figura 15). Essa nórea leva as aves através dos locais onde são processadas, passando primeiramente pelo atordoamento com choque elétrico, sangria (corte jugular), escaldagem e enfim, depenagem. (Barker *et al*, 2004).

Figura 15 - Pendura de frangos na nórea.



Fonte: Soares (2009).

As depenadeiras são túneis de aço inoxidável, com tambores contra-rotativos em toda a sua extensão, que utilizam “dedos” de borracha montados em suportes apropriados que removem as penas por fricção. Os dedos das depenadeiras devem ser ajustados segundo o tamanho das aves, para evitar a quebra das asas e hematomas no corpo da ave, a qual pode prejudicar processos posteriores. (Soares, 2009). A Figura 16 mostra um modelo de depenadeira industrial.

Figura 16 - Modelo de depenadeira industrial

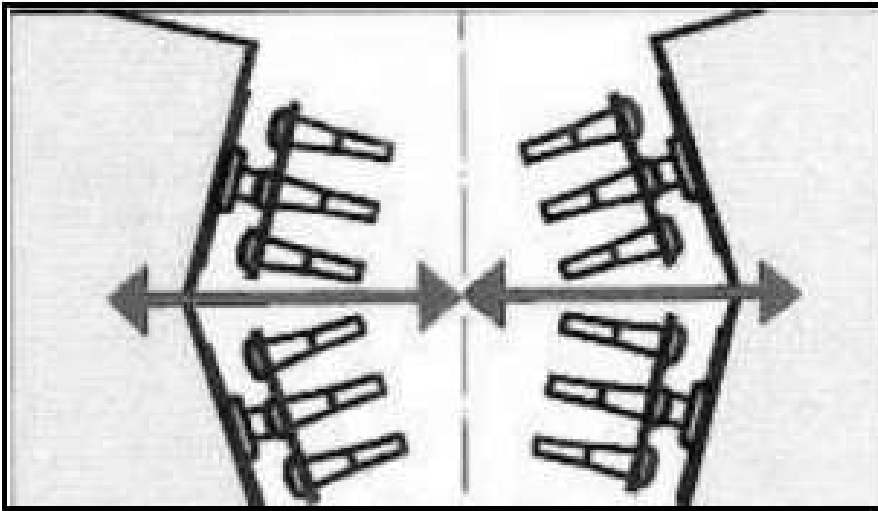


Fonte: Inomaq (2000).

A disposição, dureza, e quantidade de dedos varia também, de acordo com a posição e quantidade de equipamentos, sempre visando uma retirada de penas mais grosseira no início do processo (dedos curtos e duros), e mais suavizada no final dele (dedos longos e flexíveis). (Gomide *et al*, 2014 *apud* Soares, 2009).

A Figura 17 exhibe a disposição dos dedos em seus respectivos suportes numa vista de secção do perfil do equipamento, e a Figura 18 ilustra diversos tipos de dedos que podem ser utilizados em depenadeiras industriais.

Figura 17 - Seção transversal de uma depenadeira



Fonte: Soares (2009).

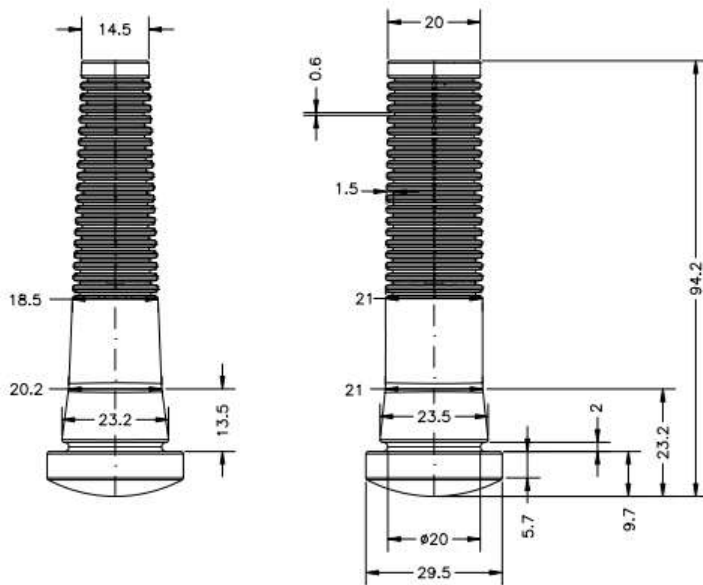
Figura 18 - Dedos de borracha para depenadeira



Fonte: Artiflex - fabricante de dedos depenadores.

O tipo e o número de depenadeiras e, o tipo dos dedos também depende das características da ave e da temperatura de escaldagem. Dependendo da qualidade do produto final desejado, as aves poderão necessitar de depenadeiras auxiliares ou finalização manual. A Figura 19 mostra o detalhamento de um modelo de dedo depenador. (Barker *et al.*, 2004).

Figura 19 - Dedos de borracha para depenadeira



Fonte: Coplasa - fabricante de dedos depenadores.

Existem outros modelos de depenadeira para tamanhos e tipos de aves diferentes, com foco em depenar áreas específicas das aves, como por exemplo, pescoço e ombro. A Figura 20 mostra um modelo com sete barras de depenagem, e a barra inferior possui um copo parecido com o estudado. (Jbt, 2025).

Figura 20 - Modelo de depenadeira com copo especial para pescoço e ombros



Fonte: JBT. Depenadeira de acabamento para frangos e perus.

O formato dos copos varia de acordo com o fabricante, e o que o mesmo julgar mais eficiente para cada aplicação e para cada tipo de ave. Os dedos também

são muito importantes, tanto para desbaste quanto para acabamento, pois podem variar dureza, comprimento e até o tipo de material. Conforme a Figura 21, podem existir copos esféricos, para abranger uma maior área de depenagem.

Figura 21 - Modelo de depenadeira com prato especial esférico, para costas e peito.



Fonte: *Szlachetstal equipment. Depenadeira de perus.*

A Figura 22 mostra de forma pontual como as aves entram no processo de escaldagem e saem do processo de depenagem.

Figura 22 - Processo de depenagem



Fonte: *Marel, fabricante de depenadeiras.*

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa é de natureza aplicada, abordagem qualitativa e de objetivos exploratórios, voltada para uma proposta de alteração nos processos de fabricação de um componente amplamente utilizado na indústria alimentícia. Desta forma serão utilizados os procedimentos de pesquisa bibliográfica e experimental.

A pesquisa é aplicada, pois visa gerar conhecimento através da prática, com foco na resolução de problemas específicos. (Silva; Menezes, 2005).

Trata-se também de uma pesquisa qualitativa, pois interpreta e analisa as características dos processos estudados, levando em conta a interpretação entre pesquisador e objeto de estudo, sem a utilização de técnicas estatísticas. (Gil, 1991 *apud* Silva; Menezes, 2005).

Por fim, adota-se uma abordagem exploratória, pois ela valida a teoria através da prática, ajudando na compreensão dos processos estudados. (Silva; Menezes, 2005).

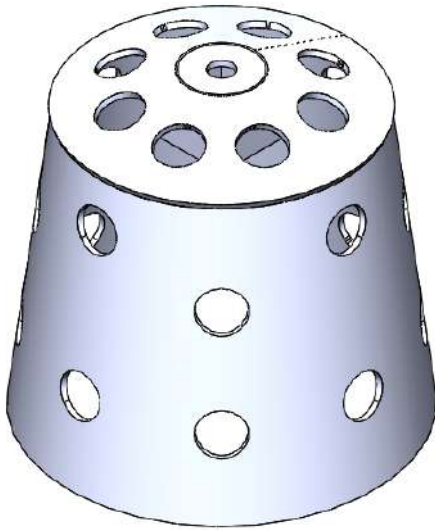
#### 3.1 Modelamento

Para a realização deste trabalho, foi necessário desenvolver o modelo tridimensional da peça que será utilizado no processo de fundição. Esse modelo, criado no *software SolidWorks*, com base em duas abordagens complementares: a partir da análise de um modelo físico existente e projetos anteriores previamente elaborados no mesmo ambiente CAD (Figura 23).

Inicialmente, foi feita uma inspeção detalhada do modelo físico da peça. Essa etapa permitiu coletar as principais dimensões geométricas, bem como a identificação de elementos relevantes, como espessuras, ângulos e furos. Com essas informações, foi possível elaborar um esboço inicial no *SolidWorks*, que serviu como base para a modelagem tridimensional da peça.

Durante o modelamento, foram realizados ajustes específicos visando à adaptação da geometria ao processo de fundição.

Figura 23 - Copo soldado para depenadeira

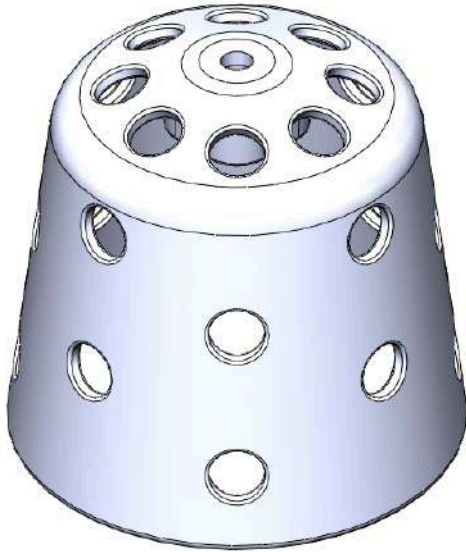


Fonte: Do autor (2025).

### 3.1.1 Detalhamento

O copo em análise apresenta uma geometria principal definida por um corpo cônico conforme Figura 24, com espessura de parede constante de 5,00 mm. Sua base inferior possui diâmetro externo de 146,00 mm, reduzindo-se para 116,00 mm ao longo de 122,00 mm de altura. Na extremidade superior, há um segmento cônico mais curto, com 17,00 mm de altura e diâmetro externo final de 30,00 mm, totalizando 139,00 mm de altura total. A transição entre os segmentos é suavizada por um raio de curvatura de 15,00 mm. A geometria também incorpora furos superiores e laterais com 18,00mm de diâmetro em pontos equivalentes ao copo original, com suas arestas chanfradas para melhor acomodação dos dedos depenadores, além de um encaixe para eixo, cujos detalhes são mostrados no desenho técnico contido no Apêndice B.

Figura 24 - Modelo do copo para depenadeira remodelado



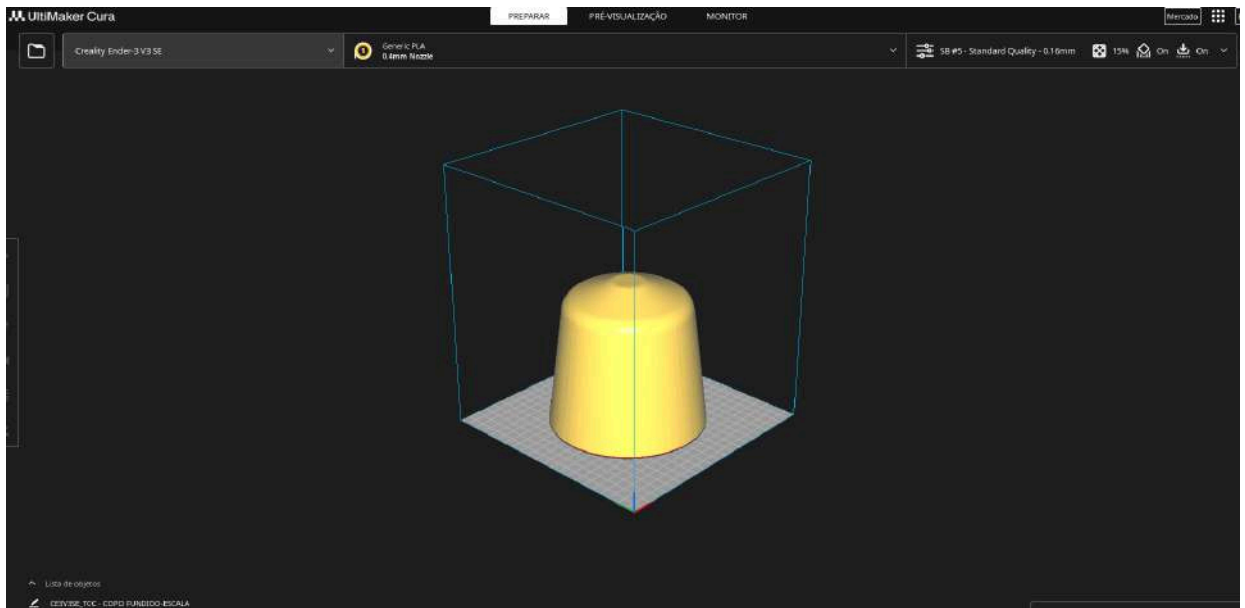
Fonte: Do autor (2025).

O modelo apresentado na Figura 24 refere-se à versão final do componente. Contudo, para a etapa de impressão 3D, os furos de todas as superfícies serão removidos, tendo em vista que tais geometrias dificultam o processo de fundição subsequente.

### 3.2 Impressão 3D

Para a fabricação do copo da depenadeira, foi utilizado o processo de manufatura aditiva. O modelo digital da peça foi preparado no *software Ultimaker Cura*, onde foi realizada a conversão para o formato de fatiamento necessário à impressora. Nesta etapa, foram definidos os parâmetros de impressão: altura de camada de 0,16mm, velocidade de impressão de 60 mm/s, densidade de preenchimento de 15% e padrão de preenchimento no formato giroide. Esses ajustes garantiram um equilíbrio entre a qualidade da peça, resistência estrutural e tempo de produção, otimizando o desempenho do processo de impressão. A Figura 25 mostra a interface do *software*.

Figura 25 - Interface Ultimaker Cura.



Fonte: Do autor, 2025.

A impressão foi realizada utilizando a impressora 3D Creality Ender-3 V3 SE (Figura 26), compatível com o material PLA, termoplástico amplamente utilizado por sua facilidade de uso e boa adesão entre camadas. Após o carregamento do arquivo fatiado gerado pelo *Ultimaker Cura*, a impressora foi configurada conforme os parâmetros estipulados anteriormente, e a fabricação do copo da depenadeira foi iniciada camada por camada, seguindo o conceito da manufatura aditiva. O acompanhamento do processo permitiu verificar a aderência à mesa de impressão, o comportamento do material durante a extrusão e a fidelidade do modelo em relação ao projeto digital.

Figura 26 - Impressora modelo Creality Ender-3 V3 SE.



Fonte: Do autor, 2025.

A Figura 27 mostra a impressão sendo finalizada, sendo possível ver a parte interna, mostrando parte das configurações pré inseridas no fatiador.

Figura 27 - Finalização do modelo impressão.



Fonte: Do autor, 2025.

A Figura 28 mostra a impressão finalizada, sendo necessário apenas remover

o suporte interno e verificar se houve alguma falha na impressão ou defeito que dificulte o processo de fundição.

Figura 28 - Impressão concluída.



Fonte: Do autor, 2025.

Para assegurar a conformidade da peça impressa com o modelo 3D, algumas dimensões foram aferidas após a impressão. Utilizando um paquímetro analógico universal com precisão de 0,05mm, foram verificadas dimensões como: diâmetros da base, espessura da parede e angulação das superfícies superiores. Os resultados obtidos confirmaram a integridade dimensional do protótipo.

Foram feitas três medições na base do copo (Figura 29), cada uma de forma aleatória na circunferência do mesmo. Duas medições resultaram na medida de 146,00mm proposta no desenho, e uma medição resultou em 146,10mm, resultando em uma média de 146,03 mm e um desvio padrão amostral de 0,057mm.

Figura 29 - Medida da base.



Fonte: Do autor, 2025.

Da mesma forma, foram feitas três medições na espessura da parede do copo (Figura 30), duas medições resultaram em 5,00mm, como proposto no desenho, e uma medição resultou em 5,10mm, resultando em uma média de 5,03 mm e um desvio padrão amostral de 0,057mm.

Figura 30 - Espessura da parede.



Fonte: Do autor, 2025.

A diferença na casa de 0,10mm é considerada normal e aceitável no processo FDM, pois durante a impressão, o material sofre dilatação, quando aquecido, e contração ao resfriar, o que pode gerar pequenas variações dimensionais (WEI, 2025). Além disso, fatores como a adesão entre camadas, calibração dos eixos, calibração do fluxo do extrusor e a qualidade do acabamento superficial também influenciam o resultado final.

Outro ponto avaliado foi o ângulo entre as faces superiores, pois impacta no posicionamento dos dedos depenadores (Figura 31), neste caso, as 3 medições feitas com um transferidor de grau com precisão de 1 grau, resultaram em 22,00 graus, conforme projeto.

Figura 31 - Ângulo superior.



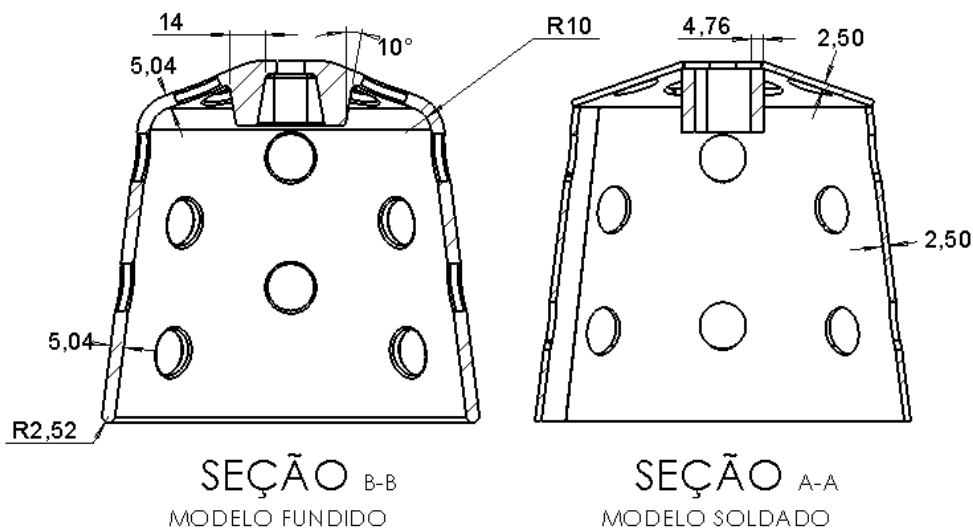
Fonte: Do autor, 2025.

### 3.3 Fabricação do molde para fundição

#### 3.3.1 Alterações geométricas

Com o objetivo de viabilizar a fabricação da peça por meio do processo de fundição, foram realizadas alterações na geometria original do modelo. A espessura da parede do corpo foi alterada de 2,50mm para 5,00mm, cuidando para não aumentar a ponto de impossibilitar a montagem dos dedos de borracha. A espessura do assento do eixo foi aumentada de 4,76mm para 15,00mm, além de, propor um ângulo de inclinação de aproximadamente 10°, para facilitar a retirada do modelo. Todas as juntas internas soldadas foram suavizadas com raio de 10mm, para evitar acúmulo de tensões e trincas durante a fundição. Alterações indicadas na Figura 32.

Figura 32 - Principais alterações na geometria do copo.



Fonte: Do autor, 2025.

#### 3.3.2 Fabricação do molde de areia

A peça impressa em 3D atuou como modelo físico para a confecção do molde de fundição, que neste estudo foi adotado o processo de fundição por areia verde. O modelo foi inserido em uma caixa de moldagem, na qual uma mistura de areia lavada e sílica foi compactada ao seu redor, reproduzindo sua geometria externa (Figura 33).

Figura 33 - Modelo inserido na caixa de moldagem durante a compactação da areia.



Fonte: Do autor, 2025.

Da mesma forma, a areia foi compactada para ser reproduzida sua geometria interna (Figura 34).

Figura 34 - Modelo pronto para compactação da área na parte interna.



Fonte: Do autor, 2025.

Após compactação da areia e remoção do modelo, formou-se a cavidade que dará origem à peça fundida. A Figura 35 mostra a areia no formato do modelo impresso.

Figura 35 - Molde de areia da parte interna do copo.



Fonte: Do autor, 2025.

### 3.4 Fundição do copo

O molde montado na Figura 36 foi posicionado para assim ser possível preencher a cavidade dele com o metal líquido, assumindo o formato deixado. Em seguida, o conjunto foi colocado em repouso para que ocorresse o resfriamento e a solidificação do metal.

Figura 36 - Molde pronto para o processo de derramamento de material.



Fonte: Do autor, 2025.

Após a confecção do molde em areia, iniciou-se a etapa de fundição propriamente dita. O metal escolhido foi aquecido a aproximadamente 850°C, acima

do seu ponto de fusão teórico de  $660^{\circ}\text{C}$ . Uma vez em estado líquido, esse metal foi derramado na cavidade do molde através de um canal de alimentação, conforme Figura 37.

Figura 37 - Derramamento de alumínio no molde



Fonte: Do autor, 2025.

Após a completa solidificação do alumínio, o molde de areia foi quebrado, revelando a peça fundida em sua geometria final (Figura 38).

Figura 38 - Comparação entre a peça fundida e o modelo impresso



Fonte: Do autor, 2025.

### 3.5 Usinagem do copo

Após o processo de fundição, as furações e arredondamento de suas arestas, bem como o acabamento geral da peça foram realizados, para possibilitar a montagem dos dedos de borracha. Na figura 39, é mostrado o processo de torneamento da parte superior do copo fundido. Nesta etapa, foi removido o canal utilizado para alimentação do molde e realizada a furação superior.

Figura 39 - Processo de torneamento do copo fundido.



Fonte: Do autor, 2025.

Após o torneamento, a furação para fixação dos dedos depenadores foi feita, juntamente com o escareamento dos mesmos numa fresadora convencional, conforme visto na Figura 40.

Figura 40 - Processo de furação para os dedos depenadores.



Fonte: Do autor, 2025.

A Figura 41 mostra o copo para depenadeira fundido finalizado.

Figura 41 - Copo finalizado.



Fonte: Do autor, 2025.

Para assegurar a conformidade da peça fundida com o modelo impresso em 3D, as mesmas dimensões foram aferidas após a fundição. Utilizando os mesmos instrumentos de medição, foram verificadas as dimensões da base, espessura da parede e angulação das superfícies superiores.

Foram feitas três medições na base do copo (Figura 42), cada uma de forma aleatória na circunferência do mesmo. As medições foram: 145,40 mm, 145,10 mm e 145,30 mm, resultando em uma média de 145,26 mm e um desvio padrão amostral de 0,153 mm.

Figura 42 - Medida da base.



Fonte: Do autor, 2025.

Da mesma forma, foram feitas três medições na espessura da parede do copo (Figura 43). As medições foram: 4,80mm, 5,00mm e 5,25mm, resultando em uma média de 5,02 mm e um desvio padrão amostral de 0,23mm.

Figura 43 - Espessura da parede.



Fonte: Do autor, 2025.

Outro ponto avaliado foi o ângulo entre as faces superiores, (Figura 44), neste caso, as três medições feitas resultaram na mesma medida de 22,00 graus do projeto.

Figura 44 - Ângulo superior.



Fonte: Do autor, 2025.

### 3.6 Orçamento

A impressão do modelo foi realizada pelo acadêmico, seguindo as especificações informadas anteriormente, bem como toda a modelagem necessária. Os custos relacionados à fabricação do molde e fundição do copo foram integralmente custeados por uma empresa parceira sediada em Chapecó, que demonstrou interesse direto na aplicação prática do projeto. O Quadro 1 mostra os custos de fabricação do copo proposto neste estudo.

Quadro 1 - Custo unitário do copo fundido.

Item	Unidade	Valor
Custo fundição	Un	R\$ 90,00
Custo modelo impresso	R\$	R\$ 78,33
Custo furação	R\$	R\$ 100,00
<b>Custo unitário</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 268,33</b>
<b>Custo total</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 268,33</b>

Fonte: Do autor, 2025.

O custo de fundição engloba tudo relacionado a ela: Caixa de moldagem, areia, alumínio e mão de obra direta para fabricação (dentre elas o modelamento da área, derramamento do metal líquido no molde e acabamento final). O custo de impressão leva em conta o modelo de impressora utilizado, sua depreciação em relação às horas de uso, custo de filamento, custo de energia elétrica, custo de manutenção e custo de projeto para o desenvolvimento do modelo adaptado para impressão. Conforme anexo C.

O custo da peça foi estimado considerando sua geometria construtiva, com apoio de uma empresa metal-mecânica localizada em Chapecó. O detalhamento do levantamento de custos encontra-se apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Custo unitário do copo soldado.

Item	Unidade	Valor
Custo chapa 2,5mm	R\$/M2	R\$ 46,56
Custo corte laser	R\$	R\$ 80,00
Custo MO montagem	R\$	R\$ 200,00
Custo cantoneira	R\$	R\$ 2,33
<b>Custo unitário</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 328,90</b>
<b>Custo total</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 328,90</b>

Fonte: Do autor, 2025

O custo da chapa 2,5mm em inox 304 foi considerado em R\$22,44/Kg, totalizando R\$448,80/m<sup>2</sup>, o tamanho da chapa foi levantado com o auxílio do *software de nesting online Nest&Cut*, programa que faz otimizações de peças em chapas para aproveitamento de corte laser visando o melhor aproveitamento de material possível. Nele, foi considerada uma chapa com 425 mm de comprimento e 250 mm de altura para corte de uma unidade do copo (Conforme Apêndice C). O custo de corte laser foi utilizado valor de corte mínimo para uma chapa menor do que 3000 mm de comprimento e 1240 mm de largura. o Custo de montagem foi estimado com a ajuda de uma empresa de fabricação metal mecânica sediada em Chapecó, levando em conta o Mão de obra de fabricação, calandra das peças cônicas e consumíveis para soldagem. O custo da cantoneira foi considerado R\$46,66/m, sendo que em cada conjunto utiliza 50 mm de material, totalizando R\$2,33/und.

A produção em maiores quantidades tende a reduzir o custo unitário devido à diluição dos custos no número de peças fabricadas. Além disso, fornecedores costumam oferecer preços mais competitivos para matéria-prima comprada em maior volume. Abaixo segue estimativa de lotes maiores de ambos modelos de fabricação. O Quadro 3, mostra o custo estimado de 20 unidades do copo fundido.

Quadro 3 - Custo de 20 peças do copo fundido.

Item	Unidade	Valor
Custo fundição	Un	R\$ 90,00
Custo modelo impresso	R\$	R\$ 3,92
Custo furação	R\$	R\$ 80,00
<b>Custo unitário</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 173,92</b>
<b>Custo total</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 3.478,33</b>

Fonte: Do autor, 2025.

Observa-se que o custo do modelo foi dividido pelo número de peças produzidas, procedimento similar ao aplicado à peça soldada apresentada no Quadro 4. Tanto o custo do corte a laser quanto o da chapa — considerada com dimensões de 1175 mm de comprimento por 1240 mm de largura, conforme o

Apêndice D — foram calculados seguindo este critério.

Quadro 4 - Custo de 20 peças do copo soldado.

Item	Unidade	Valor
Custo chapa 2,5mm	R\$/M2	R\$ 32,70
Custo corte laser	R\$	R\$ 10,10
Custo MO montagem	R\$	R\$ 200,00
Custo cantoneira	R\$	R\$ 2,33
<b>Custo unitário</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 245,13</b>
<b>Custo de 20 peças</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 4.902,57</b>

Fonte: Do autor, 2025.

De forma análoga ao apresentado no Quadro 3, o Quadro 5 apresenta o custo de fabricação de 50 unidades do copo fundido.

Quadro 5 - Custo de 50 peças do copo fundido.

Item	Unidade	Valor
Custo fundição	Un	R\$ 90,00
Custo modelo impresso	R\$	R\$ 1,57
Custo furação	R\$	R\$ 65,00
<b>Custo unitário</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 156,57</b>
<b>Custo total</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 7.828,33</b>

Fonte: Do autor, 2025.

Similarmente ao Quadro 4, o Quadro 6 apresenta o custo de fabricação de 50 unidades do copo soldado. Neste caso, conforme detalhado no Apêndice E, as chapas utilizadas possuem dimensões de 2800 mm de comprimento por 1240 mm de largura.

Quadro 6 - Custo de 50 peças do copo soldado.

<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Custo chapa 2,5mm	R\$/M2	R\$ 31,16
Custo corte laser	R\$	R\$ 10,12
Custo MO montagem	R\$	R\$ 200,00
Custo cantoneira	R\$	R\$ 2,33
<b>Custo unitário</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 243,62</b>
<b>Custo de 50 peças</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$ 12.180,91</b>

Fonte: Do autor, 2025.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção tem como objetivo avaliar as diferenças entre os dois métodos de fabricação analisados, considerando não apenas o custo unitário, mas também aspectos técnicos relevantes, como acabamento superficial, precisão geométrica e garantia dimensional das peças produzidas.

Do ponto de vista geométrico, o modelo impresso em 3D demonstrou-se adequado como padrão para a confecção do molde em areia. As modificações implementadas no projeto CAD original — incluindo o aumento das espessuras de parede, a inclusão de raios nas arestas internas e a aplicação de um ângulo de saída de 10° no encaixe do eixo — foram importantes para o êxito do processo de fundição.

Quanto à qualidade superficial, a peça fundida apresentou rugosidade superior à observada na peça soldada, em conformidade com as características típicas do processo de fundição em areia. Entretanto, essa condição não compromete a funcionalidade do componente.

### 4.1 Comparativo de custos

A comparação de custos demonstrou que o processo convencional apresenta valores maiores, sobretudo em lotes reduzidos. Isso decorre devido ao número de operações manuais envolvidas, associadas a um ciclo produtivo com demanda de mão de obra especializada. Além disso, o processo convencional possui etapas de preparação independentes da quantidade fabricada, o que mantém o custo unitário mais alto. Conforme mostrado nos Quadros 2, 4 e 6.

No processo por fundição, o custo total de fabricação tem uma ligação maior com o tamanho do lote. Após a impressão do modelo 3D, seu custo é diluído pelo número de peças do lote, assim como a furação para os dedos de borracha. Porém, o custo da fundição propriamente dita se mantém, independente do número de peças a serem fabricadas. Mesmo assim, o processo de fundição ainda é mais vantajoso economicamente do que o processo de fabricação por soldagem.

## 4.2 Comparativo do acabamento

O acabamento superficial é um parâmetro crítico não apenas sob o ponto de vista estético, mas também funcional, especialmente em aplicações inseridas em ambientes industriais agressivos, como frigoríficos. Nessas condições, há alta concentração de agentes químicos utilizados na higienização, além de acúmulo de resíduos orgânicos e umidade. Superfícies irregulares ou com descontinuidades aumentam a retenção de sujidades, dificultam a limpeza, aceleram processos corrosivos, comprometem a vida útil do componente e com isso, podem gerar contaminantes no produto final. Portanto, a qualidade do acabamento não é apenas um atributo visual, mas um requisito diretamente ligado à qualidade e confiabilidade da peça.

No processo de fundição em areia, o acabamento superficial é característico do molde, resultando numa rugosidade mais elevada em comparação com a peça fabricada em aço inoxidável. Na Figura 45 e Figura 46, é possível verificar a rugosidade deixada pelo processo de fundição, mesmo após o lixamento da superfície do copo.

Figura 45 - Superfície do copo fundido.



Fonte: Do autor, 2025.

Figura 46 - Superfície do copo fundido.



Fonte: Do autor, 2025.

A chapa de aço inoxidável usada para fabricar o copo possui um acabamento liso, excelente para aplicação. Além disso, a solda TIG contribui positivamente com o acabamento da peça, pois produz um cordão estreito, limpo, bem definido e quando necessário, o cordão pode ser lixado ou escovado, permitindo obter uniformidade visual elevada, conforme Figura 47 . Assim, o processo convencional permite obter peças com aparência mais lisa, homogênea e de melhor qualidade estética do que peças produzidas por fundição em areia, que apresentam naturalmente maior rugosidade.

Figura 47 - Superfície do copo soldado.



Fonte: Do autor, 2025.

Portanto, o processo convencional apresenta melhor acabamento, mas exige correções pontuais na região soldada, enquanto a peça fundida apresenta um acabamento mais grosseiro, mesmo após o lixamento da superfície. No entanto, esse aspecto não comprometeria a funcionalidade do componente e seu formato cônico não contribui para acúmulo de sujidades e contaminantes.

### **4.3 Geometria e repetibilidade**

A precisão geométrica é um parâmetro fundamental na avaliação comparativa entre processos de fabricação. Além disso, também é crítico avaliar como cada processo se comporta após sua execução, considerando possíveis fontes de distorção e estabilidade dimensional ao longo do lote.

No processo convencional conformado e soldado, a chapa parte de um material com tolerâncias industriais estreitas, resultando em boa precisão inicial após a calandragem. Entretanto, essa precisão é frequentemente degradada pela soldagem, que introduz deformações térmicas, encolhimento local e perda de circularidade. Como essas variações dependem do operador, do sequenciamento e

das condições térmicas, a qualidade da repetibilidade entre peças tende a ser menor.

Na fundição em areia, a precisão nominal é moderada devido às características do molde e à retração do metal, além disso, fatores como compactação da área no molde, rebarbas e o próprio acabamento dado à peça podem gerar mais variações, porém a peça solidifica como um único corpo, sem etapas posteriores. Isso proporciona maior estabilidade dimensional entre peças do mesmo lote, já que todas são derivadas de um mesmo molde e apresentam comportamento geométrico mais uniforme.

Dessa forma, enquanto o processo convencional oferece maior precisão inicial, ele sofre com consistência reduzida devido às variações geradas pela soldagem e pelo operador. A fundição, por sua vez, mesmo com precisão inferior, garante maior repetibilidade e estabilidade geométrica. A escolha entre os processos deve considerar se o requisito principal é exatidão nominal, consistência dimensional ao longo do lote ou custo de fabricação total.

Em relação ao copo fundido, na inspeção visual, não foram identificadas trincas, falhas ou regiões de rechupe que pudessem comprometer a integridade estrutural da peça. Observou-se apenas uma pequena irregularidade superficial lateral dele, possivelmente associada ao rompimento do molde na desmoldagem. Contudo, essa característica é pontual, e não afeta o desempenho do componente em sua aplicação prática.

Esses resultados indicam que as soluções adotadas no modelo, como a inclusão de transições suaves e raios de alívio, contribuíram para uma distribuição mais homogênea do metal durante a solidificação, minimizando concentrações de tensão e reduzindo a probabilidade de falhas típicas do processo de fundição.

Após o processo de fundição, a superfície da peça foi submetida a lixamento com o objetivo de minimizar a porosidade superficial característica de moldes de areia e melhorar o acabamento final.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral desenvolver um modelo por impressão 3D para a fabricação de um copo (porta dedos de borracha) para depenadeira, visando propor um processo de fabricação alternativo ao processo atual e avaliar sua viabilidade técnica, funcional e econômica.

Inicialmente, analisou-se o processo de fabricação atual, constatando-se que, embora eficaz, a manufatura por soldagem de chapas de aço inox 304 é um processo multi-etapas, dependente de mão de obra especializada e com limitações para customizações e produção de grandes quantidades.

Em seguida, o modelamento CAD e a subsequente impressão 3D em PLA permitiram materializar o conceito de forma rápida. A adaptação da geometria para o processo de fundição foi uma etapa crucial, garantindo a integridade da peça final. A fabricação do molde de areia a partir do modelo impresso e a fundição em alumínio resultaram em um protótipo que atende aos requisitos dimensionais e geométricos do componente original.

A comparação entre custo, acabamento e processos de fabricação demonstrou que apesar de um acabamento superficial mais rugoso, a peça fundida se mostra vantajosa em termos de custo e agilidade de fabricação. Tornando-se assim, uma alternativa tecnicamente viável, desde que submetido aos ensaios necessários e devidamente validado quanto aos requisitos funcionais.

## **6 TRABALHOS FUTUROS**

Com base nos resultados obtidos, identificam-se aspectos relevantes passíveis de aprimoramento no projeto desenvolvido. Recomenda-se que trabalhos futuros considerem os seguintes pontos.

### **6.1 Testes de durabilidade**

A validação do copo para depenadeira fundido em alumínio requer a realização de ensaios sob condições reais de operação, permitindo comparar sua vida útil, resistência mecânica e comportamento ao desgaste com o modelo tradicional fabricado por soldagem em aço inoxidável.

### **6.2 Avaliação da vida útil do modelo impresso em 3D**

Embora tenha sido elaborada uma estimativa de custo para lotes de até 50 peças, estudos adicionais podem avaliar essa repetibilidade, o desempenho do modelo impresso durante a moldagem para fundição e a consistência das peças durante o processo de produção.

### **6.3 Redução de furos para dedos depenadores**

Sugere-se analisar a redução do número de furos na parte superior do componente, uma vez que a configuração atual pode fragilizar a estrutura e dificultar a montagem de todos os dedos depenadores. Além disso, a diminuição de oito para seis, ou mesmo, para quatro furos tem potencial para manter a funcionalidade do equipamento, simplificar a montagem, reduzir o custo total do conjunto e reduzir o tempo de produção.

## REFERÊNCIAS

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. São Paulo: Editora Blucher, 2017. ISBN 978-85-2121-15-01.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o regulamento técnico de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da União: seção 1, Poder Executivo, 6 nov. 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 497, de 20 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos administrativos para concessão de Certificação de Boas Práticas de Fabricação e de Certificação de Boas Práticas de Distribuição e/ou Armazenagem. Diário Oficial da União: seção 1, 26 mai. 2021.

BARKER, D. *et al.* Primary processing of poultry. *In: Poultry meat processing and quality*. Boca Raton: CRC Press, 2004. ISBN 1 85573 583 0.

WEI, X. *et al.* **Geometric Accuracy and Dimensional Precision in 3D Printing-Based Gear Manufacturing: A Study on Interchangeability and Forming Precision**. *Polymers*, 2025.

PEREIRA, Taiane Regina Guerini. **Avaliação das dificuldades encontradas em um abatedouro de aves para a manutenção do sistema HACCP implementado**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biotecnologia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2013.

BELLO, José Luis de Almeida. **A substituição das importações e as indústrias mecânicas e elétricas**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Brasília, 15 mar. 1968.

CHUA C. K.; WONG C. H.; YEONG W. Y. **Standards, Quality Control, and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing**, 2017.

SWIFT, K. G.; BOOKER, J. D. **Manufacturing process selection handbook**. Langford Lane: Elsevier, 2013. ISBN 978-0-08-099360-7.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**, 2021. ISBN: 978-1-4419-1119-3.

ANDERSON, Chris. **Makers: The new industrial revolution**. United States of America: Crown Business, 2012. ISBN 978-0- 307-72095-5.

SOARES, Glória de Almeida. **Fundição: Mercado, processos e metalurgia**. 2000. Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE/UFRJ), 2010. (Caderno didático).

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. ISBN 978-85-216-3236-8.

FILHO, P.J.C.M. **Fundição em areia a verde: Uma abordagem experimental**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências exatas e tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: Estrutura e Propriedades dos Metais e Ligas - Processos de Fabricação**. Vol I, 1ª Ed., McGraw-Hill, 1977.

COSTA, Antonia Daniele Souza Bruno. Projeto de Fundição em Areia. Encontros de Iniciação Científica UNI7, v. 9, n. 1, 2019.

EVANGELISTA, Adônis Souza. SILVA, Jefferson. **Processo de fundição e sua versatilidade na fabricação de peças**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 03, Vol. 11, pp. 21-50. Março de 2020. ISSN: 2448-0959

SOARES, Giovana Coletto. **Estudo das variáveis relacionadas aos processos de escaldagem e deperagem e suas respectivas influências na qualidade do produto**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GOMIDE, L.A.; RAMOS, E.M.; FONTES, P.R. **Tecnologia de abate e tipificação de carcaças**. Viçosa: UFV, 2014. 370p.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

GERCK, Edgardo; LIMA, Jorge L. **O corte a laser: Da teoria à máquina**. Campinas: UNICAMP, 1997.

MATIAZZI, Guilherme Augusto. **Influência da vazão do gás de purga na proteção de soldas em aço inox 304 pelo processo TIG**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

POLL, Lucas Paiva. **Uma metodologia para automação do processo de conformação por calandras**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

RECKZIEGEL, Guilherme Augusto. **Tecnologias inovadoras e processos de conformação e corte de chapas metálicas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – UNIVATES, Lajeado, 2017.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologias**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. ISBN 978-85-7041-748-0.

MACHADO, Álisson Rocha *et al.* **Teoria da usinagem de materiais**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2012. ISBN 978-85-212-0606-4.

FRINOX. Depenadeira de acabamento. Disponível em: <https://frinox.ind.br/produtos/produtos/9-depenadeira-de-acabamento>. Acesso em: 5 mai. 2025.

INDEMAFRI. Prato porta dedos depenadeira 8 furos. Disponível em: [www.indemafri.com.br/Produtos/Prato\\_porta\\_dedos\\_depenadeira\\_8\\_furos](http://www.indemafri.com.br/Produtos/Prato_porta_dedos_depenadeira_8_furos). Acesso em 5 mai. 2025.

JBT. Série-B7 - depenadeira de acabamento para frango e peru. Disponível em: <https://www.jbtc.com/foodtech/products-and-solutions/products/poultry-processing-1st-and-2nd/defeathering/b7-series-disc-finishing-picker-chicken-turkey>. Acesso em: 5 mai. 2025.

MAREL. Depenadeira para perus. Disponível em: <https://marel.com/en/products/defeathering-for-turkeys>. Acesso em: 5 mai. 2025.

FUNDIÇÃO MARIETA. **Vantagens do processo de fundição**. Disponível em: <https://fundmarieta.com.br/vantagens-do-processo-de-fundicao>. Acesso em: 5 mai. 2025.

INOMAQ. Depenadeira. Disponível em: <https://www.inomaq.com.br/produtos/depenadeira>. Acesso em: 5 mai. 2025.

ARTIFLEX. Dedos de borracha para abate de frango. Disponível em: <https://www.artiflex.com.br/dedos-borracha-abate-frango>. Acesso em: 5 mai. 2025.

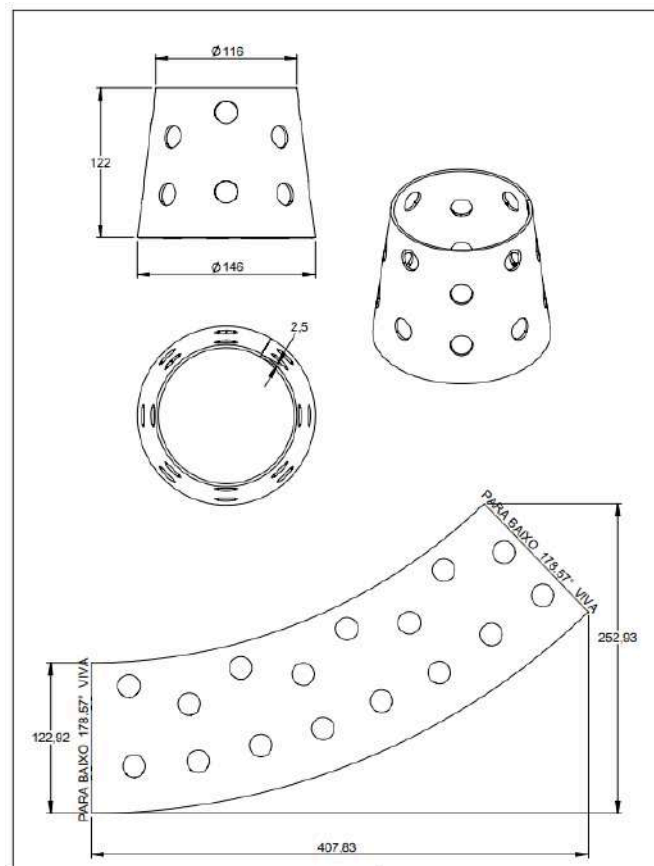
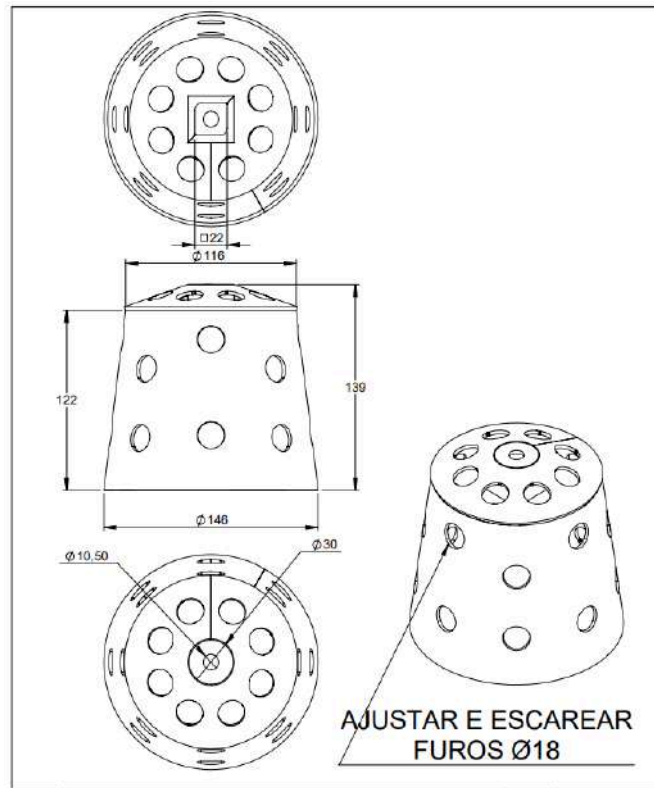
COPLASA. Dedo depenador. Disponível em: <https://coplasa.com.br/wp-content/uploads/2024/03/coplasa-catalogo.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2025.

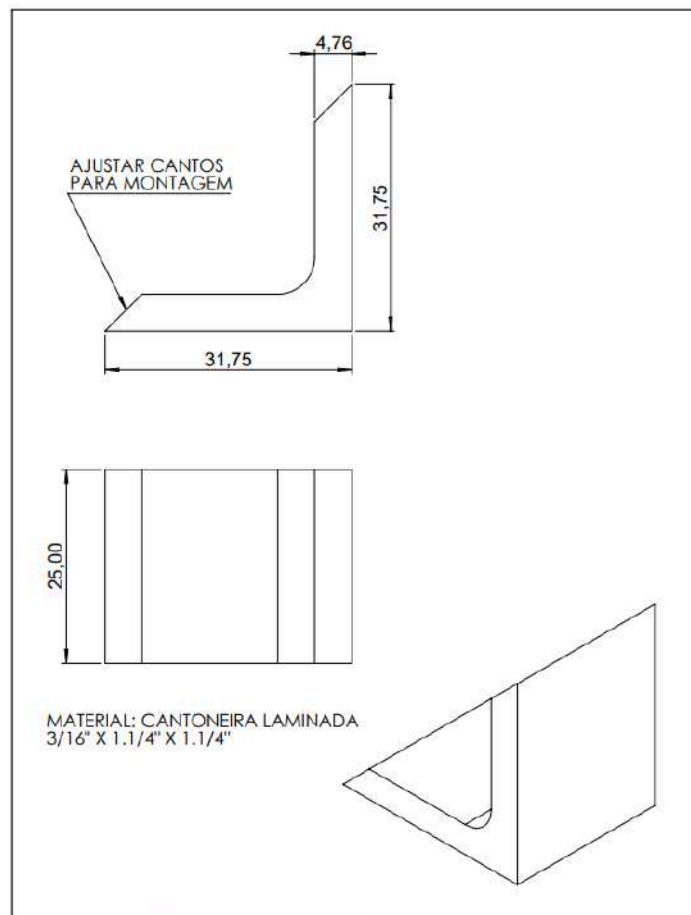
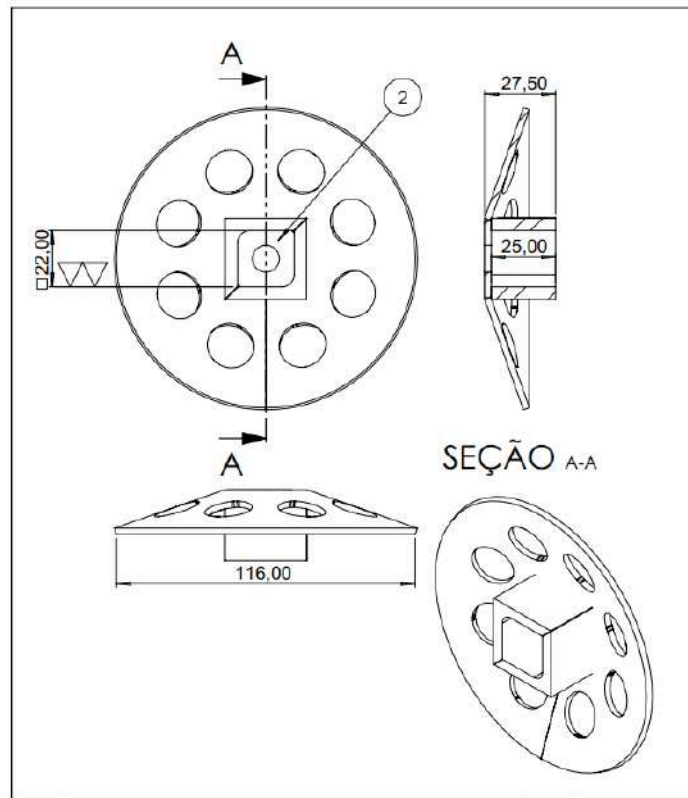
DEPENADEIRAS ACABADORAS. Depenadeira de acabamento. Disponível em: <https://marel.com/pt/produtos/depenadeiras-acabadoras>. Acesso em: 6 jun. 2025.

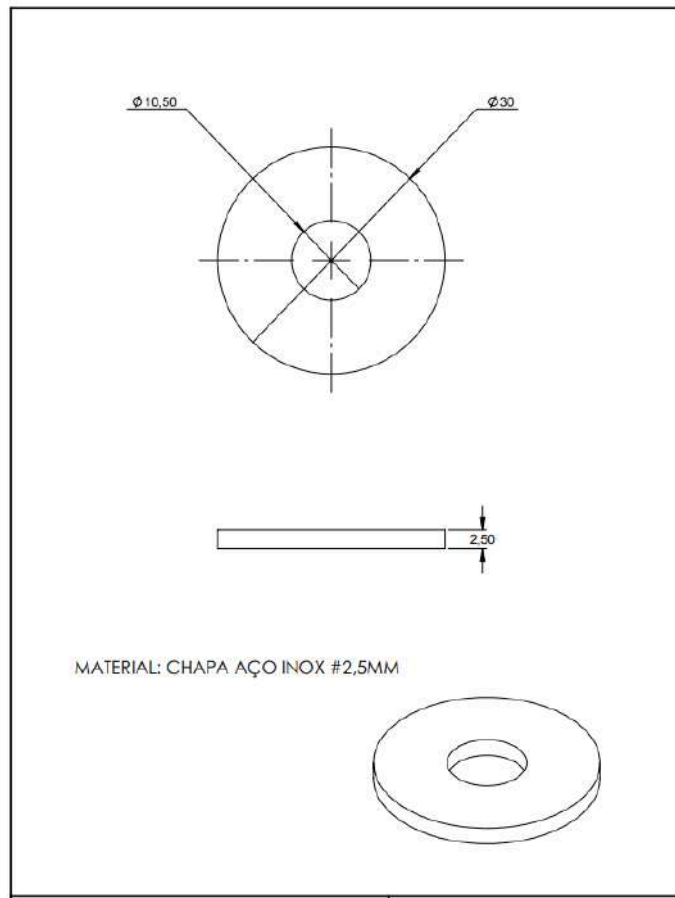
SZLACHETSTAL. Depenadeira de perus com 3 barras. Disponível em: <https://www.szlachetstal.com/3-row-turkey-beam-plucker>. Acesso em 5 mai. 2025.

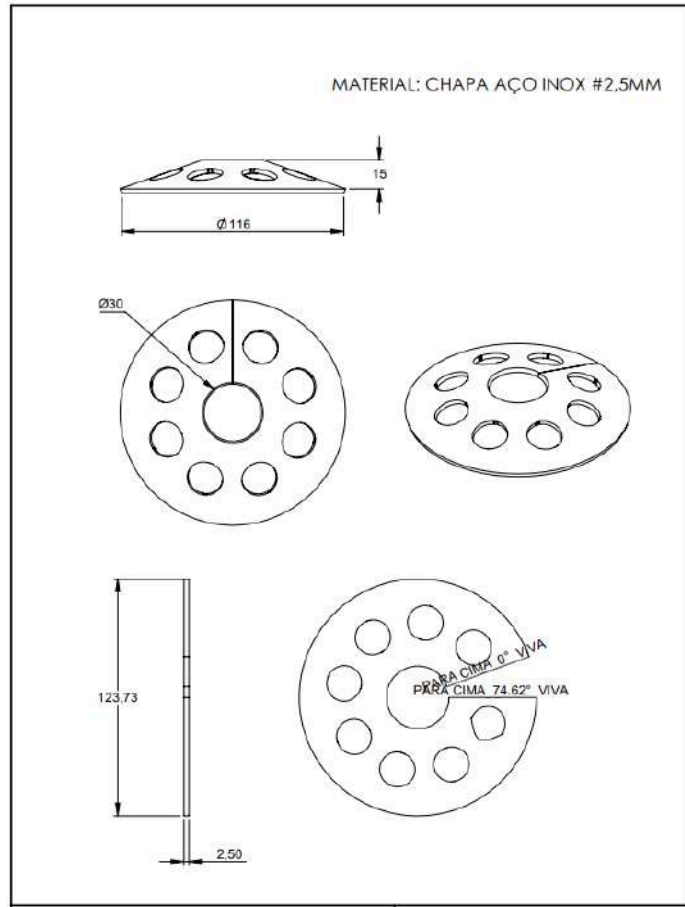
FÁBRICA DO PROJETO. Tabela de cantoneira de abas iguais. Disponível em: <https://www.fabricadoprojeto.com.br/tabelas-de-laminados-trefilados-e-itens-comerciais/tabela-de-cantoneira-de-abas-iguais/>. Acesso em 18 mai. 2025.

## APÊNDICE A – Desenho técnico do copo para depenadeira

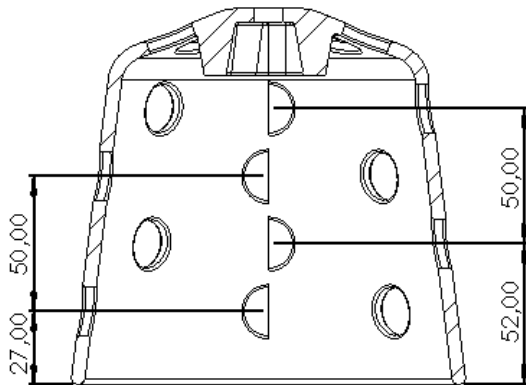




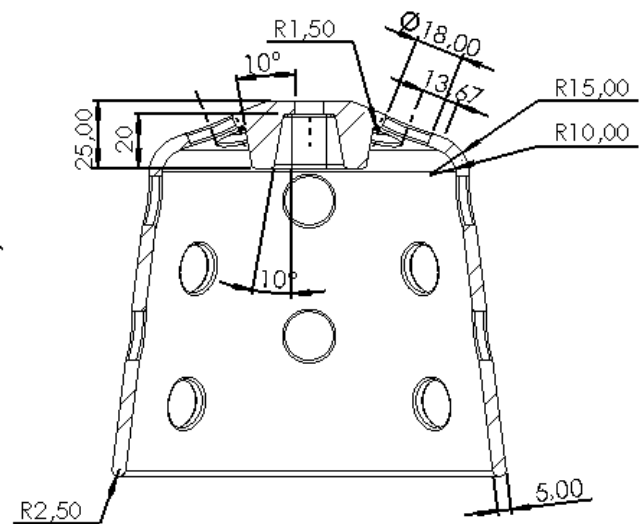
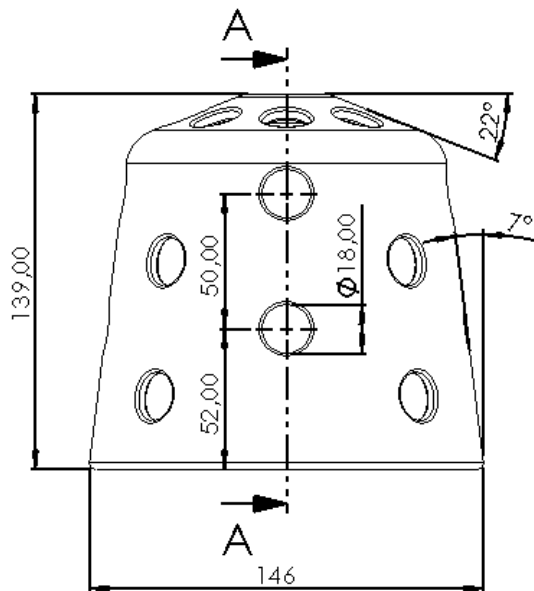




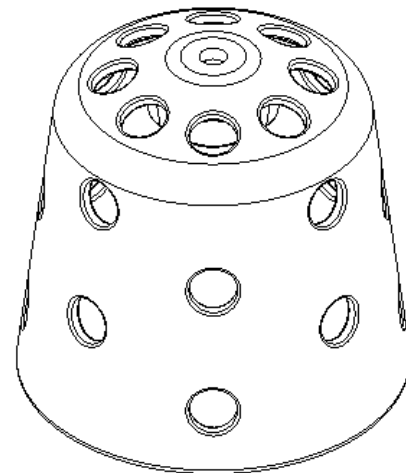
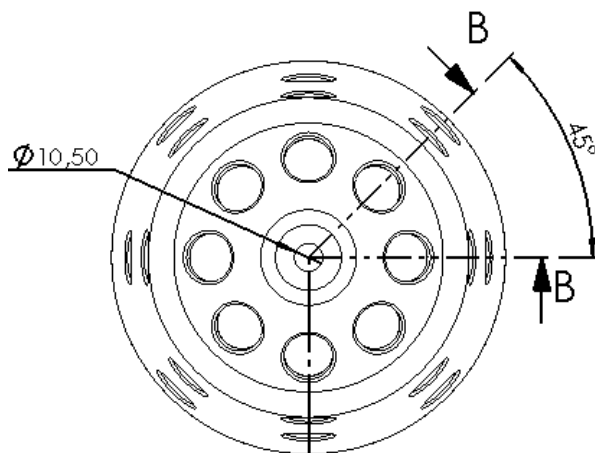
## APÊNDICE B – Desenho técnico do copo fundido para depenadeira



SECTION B-B



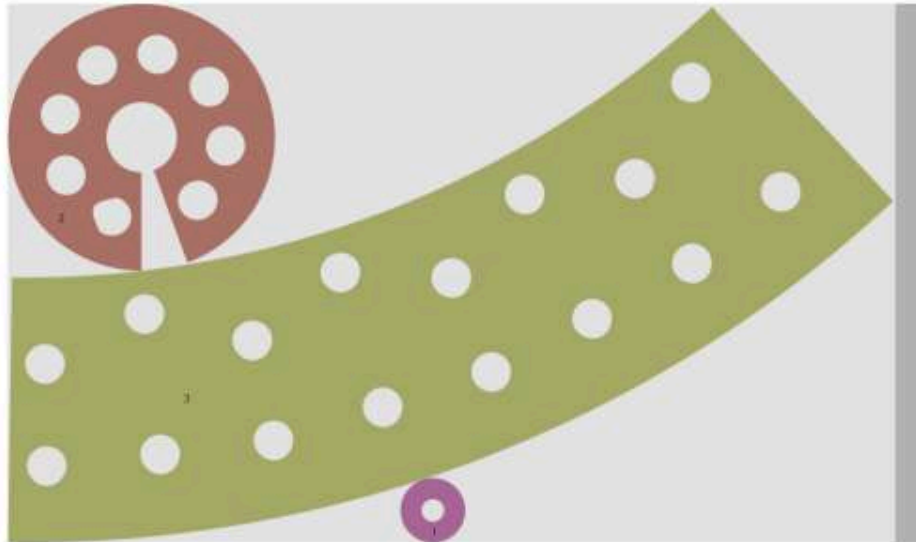
SEÇÃO A-A



## APÊNDICE C – Relatório *Nest&Cut* para uma unidade do copo soldado

### Nesting layouts

*Nesting layout 1 / 1*



#### NESTED PARTS IN THE LAYOUT

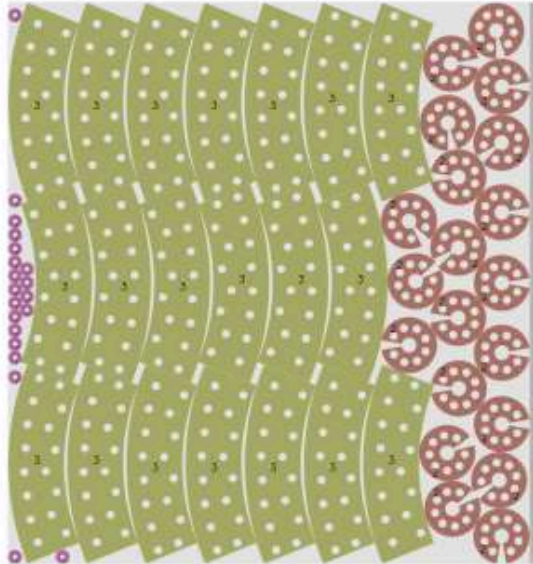
ID	Color	Quantity	Part name
1	■	1	CHAPA INOX - 2.5 MM - J003 - 1 UND
2	■	1	CHAPA INOX - 2.5 MM - J002 - 1 UND
3	■	1	CHAPA INOX - 2.5 MM - J001 - 1 UND

#### NESTING LAYOUT INFORMATION

Sheet dimensions	425 mm x 250 mm
Sheet multiplicity	1
Cutting length / marking length	3.117 m / 0.000 mm
Number of: nested parts / external contours / internal contours	3 / 3 / 25
Nesting efficiency	52.953%
Nesting: length / surface	41.032 cm / 1028.29 cm <sup>2</sup>
Total parts surface	544.51 cm <sup>2</sup>

## APÊNDICE D – Relatório *Nest&Cut* para 20 unidades do copo soldado

*Nesting layout 1 / 1*



NESTED PARTS IN THE LAYOUT

ID	Color	Quantity	Part name
1	■	20	CHAPA INOX - 2.5 MM - J003 - 1 UND
2	■	20	CHAPA INOX - 2.5 MM - J002 - 1 UND
3	■	20	CHAPA INOX - 2.5 MM - J001 - 1 UND

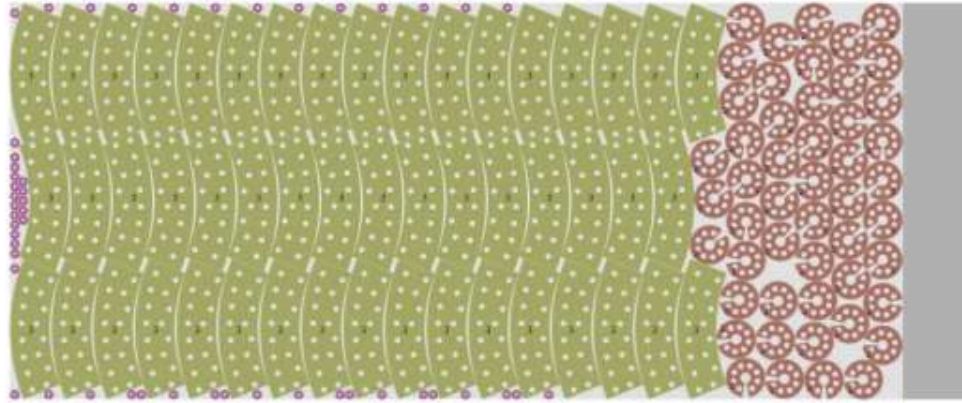
NESTING LAYOUT INFORMATION

Sheet dimensions	1175 mm x 1240 mm
Sheet multiplicity	1
Cutting length / marking length	62.342 m / 0.000 mm
Number of: nested parts / external contours / internal contours	60 / 60 / 500
Nesting efficiency	76.252%
Nesting: length / surface	1.151 m / 1.43 m <sup>2</sup>
Total parts surface	1.09 m <sup>2</sup>

## APÊNDICE E – Relatório *Nest&Cut* para 50 unidades do copo soldado

### Nesting layouts

*Nesting layout 1 / 1*



#### NESTED PARTS IN THE LAYOUT

ID	Color	Quantity	Part name
1	■	50	CHAPA INOX - 2.5 MM - J003 - 1 UND
2	■	50	CHAPA INOX - 2.5 MM - J002 - 1 UND
3	■	50	CHAPA INOX - 2.5 MM - J001 - 1 UND

#### NESTING LAYOUT INFORMATION

Sheet dimensions	3000 mm x 1240 mm
Sheet multiplicity	1
Cutting length / marking length	155.855 m / 0.000 mm
Number of: nested parts / external contours / internal contours	150 / 150 / 1250
Nesting efficiency	78.558%
Nesting: length / surface	2.794 m / 3.47 m <sup>2</sup>
Total parts surface	2.72 m <sup>2</sup>

#### GENERATED OFFCUT

Offcut dimensions	206 mm x 1240 mm
-------------------	------------------

### ANEXO A – Quadro de chapas

Espesuras		Dimensões e Pesos Teóricos			
Nominais mm	Polegadas	No U.S.G.	2000 mm	3000 mm	3000 mm
		(Bitola)	x 1250 mm	x 1220 mm	x 1250 mm
0,30	-	#30	6,00	8,78	9,00
0,40	1/64"	#28	8,00	11,71	12,00
0,50	-	#26	10,00	14,64	15,00
0,60	-	#24	12,00	17,59	18,00
0,80	1/32"	#22	19,20	23,42	24,00
1,00	-	#20	20,00	29,28	30,00
1,20	-	#18	24,00	35,14	36,00
1,50	1/16"	#16	30,00	43,92	45,00
2,00	5/64"	#14	40,00	58,56	60,00
2,50	-	#13	50,00	73,20	75,00
3,00	1/8"	#11	60,00	87,84	90,00
3,50	9/64"		70,00	102,48	105,00
4,00	5/32"		80,00	117,12	120,00
4,50	11/64"		90,00	131,78	135,00
4,76	3/16"		95,20	139,37	142,80
5,00	-		100,00	146,40	150,00
6,00	-		120,00	175,68	180,00
6,35	1/4"		127,00	185,93	190,50
7,93	5/16"		158,60	232,19	237,90
9,52	3/8"	-	200,00	292,80	300,00
12,70	1/2"	-	254,00	371,86	381,00
15,87	5/8"	-	317,40	464,67	476,10
19,05	3/4"	-	381,00	557,78	571,50
22,22	7/8"	-	444,40	650,60	666,60
25,40	1"	-	508,00	743,71	762,00

### ANEXO B – Quadro de cantoneira de abas iguais

Largura das Abas (Abas Iguais)		ESPESSURAS						
Polegada	Milímetro	Polegada	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
		Milímetro	3,17	4,76	6,35	7,93	9,52	12,7
3/4"	19,05	-	0,79	1,07	1,27	-	-	-
1"	25,40	-	1,11	1,54	1,90	-	-	-
1.1/4"	31,75	-	1,42	2,02	2,53	-	-	-
1.1/2"	38,10	-	1,74	2,49	3,17	-	-	-
2"	50,80	-	2,37	3,44	4,43	5,34	6,17	-
2.1/2"	63,50	-	-	4,39	5,70	6,92	8,08	-
3"	76,20	-	-	5,34	6,96	8,50	9,98	12,66
3.1/2"	88,90	-	-	-	8,23	10,08	11,88	15,19
4"	101,60	-	-	-	9,50	11,66	13,78	17,73

### ANEXO C – Quadro de custos relacionados para impressão do modelo 3D

Item	Unidade	Valor
Custo impressora	R\$	1000
Vida útil estimada	h	2000
Potência impressora	kW	0,35
Tarifa energia	R\$/kWh	0,5
custo manutenção	R\$/h	0,5
Filamento	R\$/kg	75
Custo projetista	R\$/h	80
Custo depreciação	R\$	18,66
Custo manutenção	R\$	18,66
Custo filamento	R\$	14,475
Custo energia	R\$	6,531
Custo projeto	h	0,25
Impressão	h	37,32
Filamento	kg	0,193
Hora projeto	kg	0,193
<b>Total geral</b>		<b>78,326</b>