

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIEL LUIS VOLPATO**

**PROJETO DE MATRIZ DE INJEÇÃO DE CERA PARA FUNDIÇÃO DE PRECISÃO  
APLICANDO A METODOLOGIA DE ABORDAGEM SISTEMÁTICA.**

**PATO BRANCO**

**2022**

**GABRIEL LUIS VOLPATO**

**PROJETO DE MATRIZ DE INJEÇÃO DE CERA PARA FUNDIÇÃO DE PRECISÃO  
APLICANDO A METODOLOGIA DE ABORDAGEM SISTEMÁTICA.**

**Design of a wax injection mould for precision casting applying the systematic  
approach methodology**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Maria Nalu Verona Gomes.

**PATO BRANCO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GABRIEL LUIS VOLPATO**

**PROJETO DE MATRIZ DE INJEÇÃO DE CERA PARA FUNDIÇÃO DE PRECISÃO  
APLICANDO A METODOLOGIA DE ABORDAGEM SISTEMÁTICA.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29 de novembro de 2022

---

Maria Nalu Verona Gomes  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

---

Paulo Cezar Adamczuk  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

---

Roberto Nunes da Costa  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

**PATO BRANCO**

**2022**

Dedico este trabalho à minha noiva Gabriela, meus pais Evandro e Luciana e meu irmão Thiago pelo total suporte e por todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram na conclusão deste trabalho.

Aos meus pais Evandro e Luciana e meu irmão Thiago por não medirem esforços para me proporcionar sempre o melhor.

À minha noiva Gabriela por me dar suporte e forças sempre que preciso.

À minha orientadora Maria Nalu Verona pela paciência e os ensinamentos para me guiar neste trabalho.

À todos os seus membros oficiais e honorários da Republica Bayuca pela irmandade em todos os anos de convívio.

À Zanoni Equipamentos pela oportunidade de desenvolver este trabalho e me ajudar no crescimento como profissional.

Inteligência é a capacidade de se adaptar a mudanças. A genialidade é antes de tudo a habilidade de aceitar a disciplina.  
(HAWKING, Stephen).

## RESUMO

A implementação de produtos fundidos pelo processo de fundição por precisão pode reduzir drasticamente o tempo de fabricação de certas peças. Este trabalho buscou sistematizar as etapas de desenvolvimento de um projeto de matriz de injeção de cera para fundição de precisão aplicando definições técnicas em todas as suas etapas e utilizando como base para a organização dos dados a metodologia de abordagem sistemática, levando em consideração as características do produto a ser fundido, as condições do processo e o tipo de material utilizado na fabricação do produto final, buscando, com isso, o aperfeiçoamento da produtividade na empresa Zanoni Equipamentos. A partir das normas vigentes e métodos definidos foram dimensionados os sistemas para construção da matriz de injeção de cera e também organizadas de maneira iterativa através do fluxograma produzido por meio da metodologia escolhida, assim como, produzidos os modelos 3D das peças e qualificação dos materiais necessários para construção da ferramenta.

Palavras-chave: projeto; metodologia; processos; molde.

## **ABSTRACT**

Implementing castings using the precision casting process can dramatically reduce the manufacturing time of certain parts. This work sought to systematize the development stages of a wax injection mould project for precision casting, applying technical definitions in all its stages and using the systematic approach methodology as a basis for data organization, taking into account the characteristics of the product to be cast, the process conditions and the type of material used in the manufacture of the final product, seeking to improve productivity at Zanoni Equipamentos. Based on current standards and defined methods, the systems for building the wax injection mould were designed and also organized in an iterative manner through the flowchart produced through the chosen methodology, as well as producing the 3D models of the parts and qualification of the necessary materials for tool construction.

Keywords: project; methodology; processes; mold.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais etapas do processo de microfusão.....	14
Figura 2 - Atomizador com suporte para barra .....	15
Figura 3 - Fluxograma Guia VDI 2221.....	18
Figura 4 - Metodologia de projetos.....	19
Figura 5 - Exemplo de detalhamento da Estrutura analítica do projeto.....	20
Figura 6 - Elementos característicos de molde de injeção.....	21
Figura 7 - Ciclo PDCA.....	28
Figura 8 - Abordagem sistemática para o desenvolvimento de moldes de injeção de cera.....	30
Figura 9 - Modelo virtual do suporte.....	31
Figura 10 - Modelo modificado.....	32
Figura 11 - Identificação do plano de simetria.....	33
Figura 12 - Análise de inclinação vista superior.....	34
Figura 13 - Cavidade Inferior.....	35
Figura 14 - Placa cavidade inferior com machos.....	36
Figura 15 - Cavidade Superior.....	37
Figura 16 - Macho lateral.....	37
Figura 17 - Macho frontal.....	38
Figura 18 - Localização dos sistemas de extração e alimentação na cavidade inferior.....	39
Figura 19 - Placas extratoras e sistema de extração.....	40
Figura 20 - Canal de alimentação.....	40
Figura 21 - Matriz de injeção de cera.....	43
Quadro 1 - Lista de componentes.....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Propriedades físicas e químicas do material a ser injetado.</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 2 – Características da injetora.</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 3 – Lista de Componentes</b>	<b>41</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Normas Brasileiras
PMI	Project Management Institute
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>17</b>
1.1.1	Objetivo Principal.....	17
<u>1.1.1.1</u>	<u>Objetivos específicos.....</u>	<u>17</u>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Fundição de cera perdida. ....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Metodologia de desenvolvimento de projetos.....</b>	<b>20</b>
2.2.1	Abordagem sistemática para o desenvolvimento e projeto de sistemas técnicos e produtos. ....	20
2.2.2	Projeto de máquinas.....	21
2.2.3	Estrutura Analítica de Projeto (EAP). ....	21
<b>2.3</b>	<b>Molde de injeção.....</b>	<b>22</b>
2.3.1	O molde de injeção de cera.....	24
2.3.2	Cálculo de resistência da cavidade. ....	24
2.3.3	Buchas e guias .....	26
2.3.4	Suportes .....	26
<b>2.4</b>	<b>Normas .....</b>	<b>27</b>
2.4.1	ABNT NBR 15990 – PEÇAS FUNDIDAS PELO PROCESSO DE MICROFUSÃO – REQUISITOS DE FABRICAÇÃO, CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES.....	27
2.4.2	ABNT NBR ISO 9001 – SISTEMAS DE GESTÃO DE QUALIDADE – REQUISITOS DE PROJETO .....	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Abordagem sistemática para o desenvolvimento e projetos de sistemas técnicos e produtos.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Modelo virtual do produto. ....</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Implementação dos requisitos do sistema de injeção.....</b>	<b>32</b>
<b>4.4</b>	<b>Análise de inclinação .....</b>	<b>34</b>
<b>4.5</b>	<b>Cavidades e machos .....</b>	<b>36</b>
<b>4.6</b>	<b>Sistema de extração e de alimentação.....</b>	<b>39</b>
<b>4.7</b>	<b>Qualificação dos materiais .....</b>	<b>42</b>
<b>4.8</b>	<b>Lista de componentes.....</b>	<b>42</b>

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

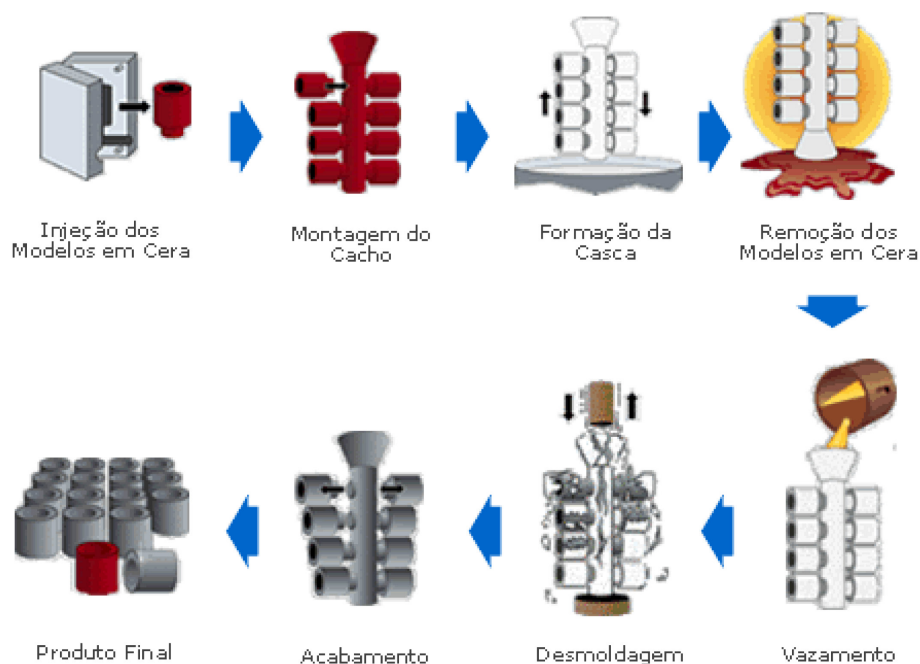
Desde 5000 a.C. é conhecido o processo de fundição por cera perdida, também conhecida como microfusão, *investment casting* ou fundição de precisão. O nome fundição de precisão se dá justamente por sua capacidade de reproduzir peças complexas e com pequenas tolerâncias dimensionais (BIDWELL, 1997). A partir da evolução dos processos de fabricação e o desenvolvimento de novas tecnologias, hoje é possível a utilização de matérias para fundição de difícil usinagem, resistentes à corrosão e de alto valor agregado nesse tipo de processo de fabricação (MACHADO, 2005).

A indústria de microfusão se expandiu, principalmente após a segunda guerra mundial, devido às muitas vantagens do processo, incluindo a gama de produtos possíveis e a qualidade obtida (BARNETT, 1988). A principal desvantagem, como descreve MACHADO (2005) é que exige muito trabalho manual, em grande parte, devido às etapas de preparação do modelo em cera e do revestimento cerâmico. No entanto, os avanços tecnológicos na área possibilitam a resolução deste problema, desde que haja um investimento inicial (VANIKAR, OHOL, ANJIKAR, 2015). O processo, atualmente, é utilizado para fazer uma variedade de peças, desde joias à peças aeroespaciais, geralmente é limitado, apenas, pelo tamanho e massa da peça.

No século XX os irmãos Hyatt desenvolveram a primeira patente de máquina de injeção, com isso temos o princípio da indústria de microfusão utilizando matrizes para injeção (CHALINA, 2014).

Na fundição de cera perdida temos alguns processos a serem concretizados para a formação da peça final. A Figura 1 mostra o desenho esquemático de como funciona todo o processo, que começa com a injeção de cera no molde formando um modelo, em seguida é feita a montagem de vários modelos formando uma árvore de modelos. O conjunto é, então, mergulhado em uma lama refratária formando uma casca em torno da árvore, que posteriormente é colocada em um forno para deceragem. Assim que toda a cera é vazada pode ser realizado o preenchimento com o metal líquido. Após o resfriamento a parte cerâmica é quebrada e a peça é retirada da árvore e segue para retirada do canal de alimentação e dos elementos de fixação na árvore e obtém-se a peça finalizada.

**Figura 1 - Principais etapas do processo de microfusão**



**Fonte: Adaptado de Kalpakjian e Schmid (2008)**

Fica claro que com a implementação de produtos fundidos por este processo pode-se reduzir drasticamente o tempo de fabricação de certas peças. Pensando nisso, a empresa Zanoni Equipamentos vem substituindo parte de suas peças que eram fabricadas em várias etapas por peças microfundidas. Um exemplo, na figura 2, é um suporte do atomizador para prender na barra de pulverização de aviões, que é fabricado por soldagem de partes que foram cortadas no jato d'água, cortadas na serra, perfuradas em furadeira de bancada e usinadas no torno.

**Figura 2 - Atomizador com suporte para barra.**



**Fonte: Zanoni Equipamentos (2022).**

Este trabalho foi desenvolvido na empresa Zanoni Equipamentos Agrícolas, situada na cidade de Paranavaí (Paraná, Brasil), fundada em 1997, que atua no ramo de pulverização aérea, utilizando principalmente aço inoxidável como matéria prima. Atualmente, a empresa conta com mais de cinquenta colaboradores em área própria de aproximadamente 1200m<sup>2</sup> e possui os setores de produção como soldagem, corte, montagem e usinagem, essa contendo quatro centro de usinagem, sendo três com 4º eixo e cinco centros de torneamento, e também as áreas de engenharia, comercial e almoxarifado.

Para fazer a injeção de cera e a fundição do material a empresa conta com um fornecedor situado em Veranópolis (Rio Grande do Sul, Brasil), a G4 Válvulas e Microfusão, que atendem mais de trinta segmentos de produtos e possui certificado ABNT ISO 9001 e tem mais de oitenta colaboradores.

Por meio desta parceria a empresa Zanoni é responsável pelo desenvolvimento e fabricação da matriz de injeção e então envia a ferramenta até a G4 para produção da peça.

Portanto este trabalho busca desenvolver o projeto de uma matriz de injeção de cera na empresa Zanoni Equipamentos Agrícolas. A aplicação de metodologia de projetos de modo a identificar, adquirir e gerenciar as informações necessárias para o desenvolvimento de um projeto de matriz de injeção de cera garantem que os recursos físicos e intelectuais estejam dispostos de maneira eficiente promovendo o contínuo

registro do aprendizado obtido, demandando, desta forma, menores recursos de entrada de dados a cada projeto, facilitando o acesso às informações e minimizando erros de execução e comunicação da equipe.

Esta empresa vem investindo nesse processo de fabricação para otimizar sua linha fabril e para repetibilidade de peças com qualidade. Para preservar a propriedade intelectual da empresa, as dimensões foram ocultadas.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Principal

Projetar um molde de injeção de cera para fundição de precisão de maneira eficiente e que cumpra os requisitos definidos utilizando a metodologia de abordagem sistemática para o desenvolvimento e projeto de sistemas técnicos e produtos.

#### 1.1.1.1 Objetivos específicos

Para a conclusão do objetivo principal os seguintes propósitos precisam ser completados:

- Definir os requisitos para injeção de cera;
- Analisar o modelo virtual;
- Realizar análise crítica do modelo de cera com a empresa parceira para avaliar as modificações do modelo;
- Projetar a matriz de injeção de cera;
- Organizar as rotinas de processo;
- Registrar todas as informações;

## 1.2 Justificativa

As empresas necessitam de um crescimento constante, pois do contrário vem à estagnação e carrega consigo a obsolescência (EXAME, 2021). O primeiro passo para garantir o crescimento do seu negócio é apostar na organização e no planejamento em curto, médio e longo prazo (INCOMUM, 2021). Portanto, a gestão de projetos sustenta a evolução do empreendimento levantando as qualidades e corrigindo as falhas que venham a ocorrer durante o tempo de vida da instituição.

Empresas que necessitam de altos padrões de qualidade, peças com pouca variação, e tolerâncias restritivas buscam a fabricação de produtos por meio da fundição de cera perdida.

O molde de injeção é um dos sistemas mais complexos a serem desenvolvidos em um projeto de produto e com isso, eleva-se o custo do produto. Por isso, essa ferramenta deve ser meticulosamente projetada (MANRICH, 1995).

O estudo justifica-se pela necessidade da empresa de compreensão das etapas do desenvolvimento de uma matriz eficaz que garanta a qualidade das peças a serem produzidas evitando perdas.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Este trabalho é dividido em cinco capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados Esperados, Conclusão.

Na introdução é apresentado o problema, o objetivo principal, os objetivos específicos e a justificativa do trabalho.

A seguir tem-se a revisão bibliográfica contendo a fundamentação teórica baseada em normas, artigos, livros, sites e vídeos que agreguem contribuições referentes ao trabalho.

Na sequência é apresentado os materiais e métodos utilizados para solucionar o problema apresentado e por consequência temos os resultados, e por fim as conclusões.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fundição de cera perdida.

Para Norberto (2007), quando se necessita de alta produtividade, riqueza de detalhes, maior precisão dimensional e melhor acabamento superficial, a também chamada fundição de precisão é a melhor escolha para a empresa.

O processo de fundição de cera perdida é dividido por MACHADO (2007) em:

- a) Injeção de cera em matriz;
- b) Montagem da árvore de modelos de cera;
- c) Imersão da árvore em lama cerâmica de granulometria fina;
- d) Cobrimento por partículas refratárias finas, chamada de estucagem;
- e) Recobrimento sucessivo para formação de camada resistente a garantir rigidez para a casca
- f) Secagem da casca com modelo em ambiente controlado;
- g) Retirada da cera, chamada de deceragem, em temperaturas e pressões mais alta;
- h) Calcinação, que é a elevação da temperatura para introduzir resistência a casca e eliminar os resíduos de cera;
- i) Fusão do metal e vazamento do metal líquido;
- j) Quebra da casca cerâmica para acessar o metal solidificado;
- k) Acabamento das peças retiradas da árvore, agora de metal;
- l) Inspeção final;

De acordo com Machado (2007), todas as etapas devem ser monitoradas, pois em todas elas existem específicas variáveis que podem influenciar na qualidade do processo, uma vez que o processo de microfusão é sensível às variações de processos.

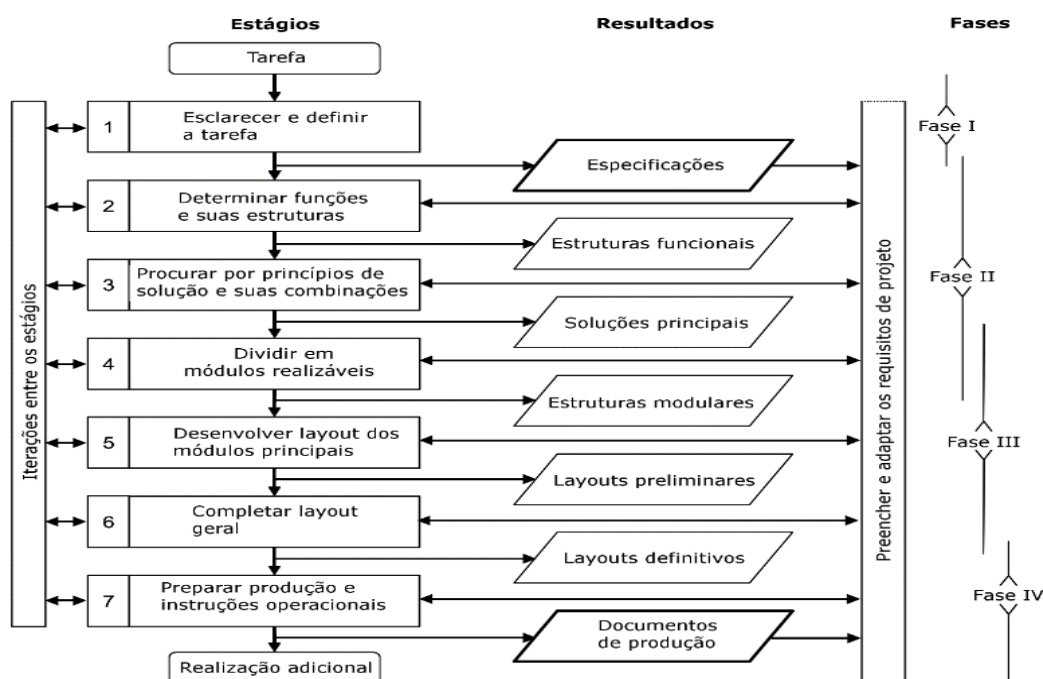
A etapa do processo abordada no trabalho, foi o desenvolvimento de matriz de injeção, sendo esta a primeira etapa da produção e que acarreta consequências em todo o processo de fundição.

## 2.2 Metodologia de desenvolvimento de projetos.

### 2.2.1 Abordagem sistemática para o desenvolvimento e projeto de sistemas técnicos e produtos.

A *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI), em tradução livre, Associação de Engenheiros Alemães, introduziu em 1993 o guia VDI 2221, figura 3, que tinha o objetivo de propor uma metodologia geral para projetar sistemas técnicos e produtos e para apoiar um projeto metódico e sistemático, a fim de produzir um estilo de trabalho mais eficiente.

Figura 3 - Fluxograma Guia VDI 2221.



Fonte: Adaptado de BIRKHOFFER e JÄNSCH (2006).

A partir do fluxograma tem-se uma ideia de como funciona as etapas dessa metodologia, que divide o projeto em estágios iterativos com resultados esperados em cada etapa para que se possa seguir para a próxima, assim como Norton (2013) descreve, é voltada para a área técnica da engenharia e do design detalhando as fases do projeto.

### 2.2.2 Projeto de máquinas.

Conforme Norton (2013) há muitas maneiras de se organizar e enfrentar um projeto, pois muitas vezes ele não é estruturado, com isso, não há uma única forma de concretizar o projeto, entretanto ele propõe no capítulo introdutório, uma maneira de estruturar. A Figura 4 mostra uma opção de metodologia de projetos.

**Figura 4 - Metodologia de projetos.**

- 1 Identificação da necessidade
- 2 Pesquisa de suporte
- 3 Definição dos objetivos
- 4 Especificações de tarefas
- 5 Síntese
- 6 Análise
- 7 Seleção
- 8 Projeto detalhado
- 9 Protótipo e teste
- 10 Produção

**Fonte: Adaptado de Norton (2013).**

Essa metodologia deve ser utilizada não somente de modo linear e sim com inúmeras repetições até a conclusão do projeto, pois pode ser necessária para revisar as especificações de tarefas e reunir mais informações.

Essa metodologia tem seu foco na parte técnica, levando em consideração a engenharia nos projetos de máquinas até sua produção, mas não discorre sobre a gestão propriamente dita.

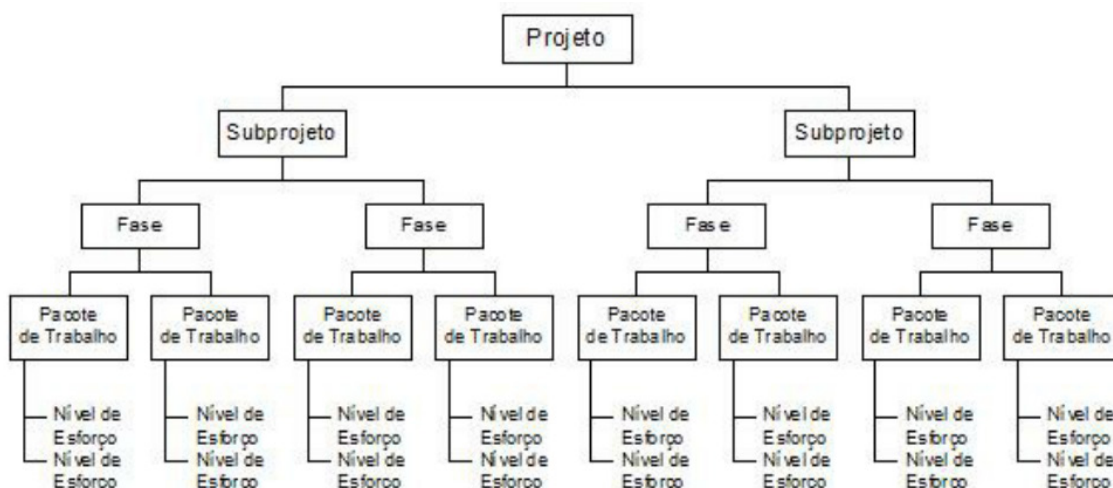
### 2.2.3 Estrutura Analítica de Projeto (EAP).

A criação de uma estrutura analítica de projeto é um processo que divide as entregas de desenvolvimento de um projeto em componentes menores (PMI, 2017). Esse processo ajuda as organizações a identificar o que devem entregar e como devem ser organizadas.

O EAP é uma ferramenta de gerenciamento do escopo do projeto que mostra o nível de detalhes dentro de um projeto (VARGAS, 2009). Funciona tendo em consideração as várias fases de um projeto, bem como a complexidade da obra. Menezes (2018) enfatiza em ser detalhista na construção do EAP para configurar o

projeto na sua totalidade, caracterizando a relação hierárquica dos diferentes elementos que o compõem e a possibilidade de esquecimento das atividades. Pode-se ver na Figura 5 um exemplo do detalhamento de uma estrutura analítica do projeto.

**Figura 5 – Exemplo de detalhamento da Estrutura analítica do projeto.**



Fonte: Vargas (2009).

### 2.3 Molde de injeção

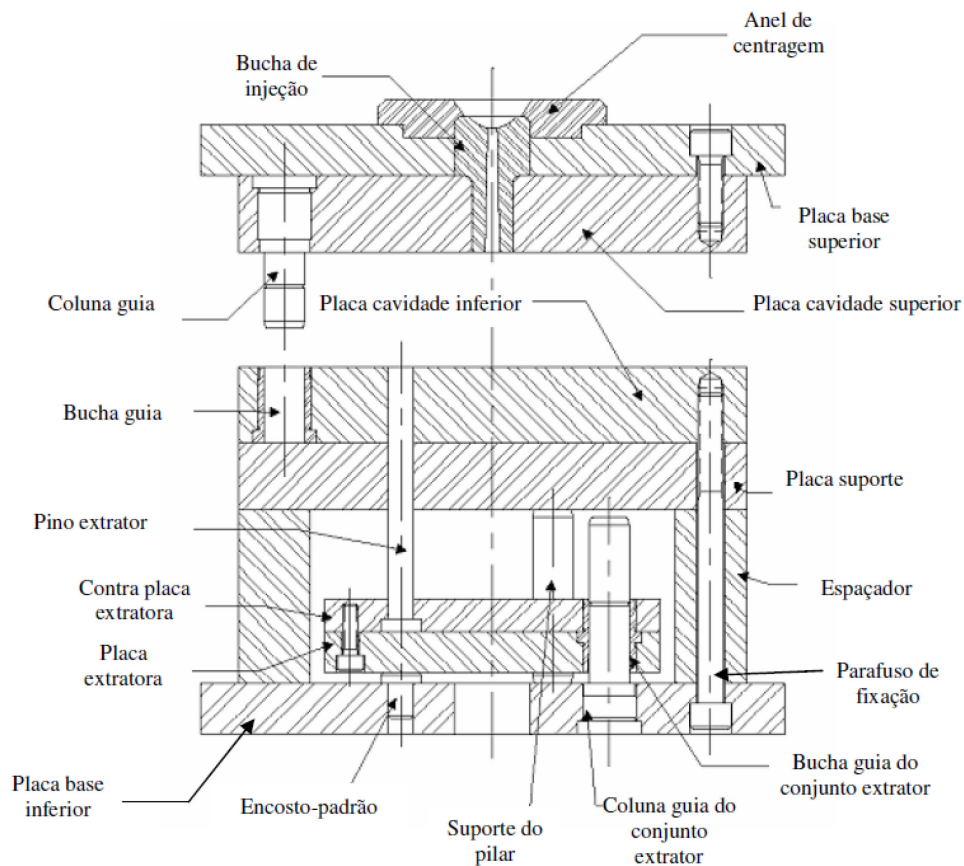
Para Garcia (2011) um molde deverá produzir peças de qualidade em um tempo de ciclo mais curto possível, assim como desempenhar corretamente a função de definir o volume e forma e também garantir a qualidade do produto. O molde permanente tende a evitar problemas que ocorrem em processos de moldes descartáveis como quebra e deformações dos moldes, inclusões de material no molde e variações dimensionais pela montagem incorreta (MORO, 2007).

O molde de injeção é considerado um sistema, que pode ser dividido em subgrupos de atuação (Harada, 2004):

- Sistema de alimentação;
- Sistema de extração;
- Sistema de refrigeração;
- Saída de gases;

Essa ferramenta é composta por várias peças, descritas por Provenza (1993). Como observa-se na Figura 6, os moldes de injeção têm diferenças básicas na sua construção, mas seguem o mesmo princípio.

**Figura 6 - Elementos característicos de molde de injeção.**



**Fonte: Adaptado de Provenza (1993).**

Os componentes do molde de injeção têm funções específicas e cada uma deve ser definida devidamente a fim de garantir a correta execução da ferramenta. A placa base superior é onde fixa-se a parte superior do molde com a máquina de injeção, nas placas cavidades temos onde é desenvolvido a forma do modelo e será preenchido com o material requerido, a placa suporte tende a suportar toda a pressão de injeção.

Já no espaçador tem que garantir o curso necessário às placas extratoras, que movimenta os pinos de extração e contra placa extratora onde aloja-se os pinos de extração, que são responsáveis por retirar o modelo do molde. Tem-se ainda, os elementos de fixação e centralização do molde, que podem ser encontrados normatizados para garantir as tolerâncias exigidas na norma ABNT NBR 15990.

### 2.3.1 O molde de injeção de cera

A injeção de cera é realizada em pressões e temperaturas relativamente baixas se comparada aos plásticos, podendo ser realizada de forma líquida, pastosa ou sólida (FEUP-DEMM, 2022). A construção do molde se faz da mesma forma para o plástico e para a cera, mas para a cera é possível utilizar materiais menos resistentes ao calor e que possuem maior facilidade de usinagem, o principal deles é o alumínio (FEUP-DEMM, 2022).

### 2.3.2 Cálculo de resistência da cavidade.

Harada (2004) considera que o cálculo preciso da resistência da cavidade do molde é quase impossível de se obter para aplicações até mesmo aquelas com perfil regular. Entretanto existem maneiras de fazer aproximações com formas simples, considerando um retângulo com as dimensões máximas delimitadoras.

O primeiro método descrito por Harada (2004) é considerar individualmente cada parede da cavidade com uma carga uniformemente distribuída como uma viga fixa, porém dessa forma é fornecido uma parede com menor espessura dentre os métodos e deve ser utilizada quando o macho serve como travamento para a cavidade.

$$y = \frac{w \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (1)$$

Onde:

$$y = \text{Deflexão Parede Lateral}(cm)$$

$$w = \text{carga no interior da cavidade} \left( \frac{kg}{cm} \right)$$

$$w = P \times h \quad (2)$$

$$P = \text{Pressão Da Cavidade} \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$h = \text{altura da parede da cavidade}$$

$$L = \text{comprimento interno da parede da cavidade}(cm)$$

$$E = \text{Módulo De Elasticidade} \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$I = \text{Momento De Inércia Da Parede Da Cavidade}$$

$$I = \frac{dt^3}{12} \quad (3)$$

$$d = \text{Profundidade Total Da Parede Da Cavidade}(cm)$$

$$t = \text{Espessura Da Parede Da Cavidade}(cm)$$

Para determinar a espessura da parede sabendo a deflexão máxima pode-se utilizar:

$$t = \sqrt[3]{\frac{w \times L^4}{32 \times E \times y \times d}} \quad (4)$$

No segundo método, diferente do primeiro considera cada parede como uma viga livremente apoiada, mas a carga continua uniformemente distribuída, assim tem-se uma parede mais espessa e conseqüentemente um maior fator de segurança, portanto deve-se utilizar onde há maior espaço na máquina de injeção (HARADA, 2004).

$$y = \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (5)$$

Então a espessura da parede definida pela deflexão máxima:

$$t = \sqrt[3]{\frac{5 \times w \times L^4}{32 \times E \times y \times d}} \quad (6)$$

Outra alternativa proposta por HARADA (2004) é a mais racional, já que implica na reação de cada parede e consiste em considerar cada cavidade como um pórtico com carga uniforme interna. Este método é mais complexo, mas tem uma melhor aproximação. Nesse método é necessário realizar os cálculos para os dois lados do retângulo.

$$Y = \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times E \times I} - \frac{M \times L^2}{8 \times E \times I} \quad (7)$$

Então a espessura da parede definida pela deflexão máxima:

$$T = \sqrt[3]{\frac{1,5L^2}{d \times E \times Y} - \frac{5 \times w \times L^2}{48 - M_{AD}}} \quad (8)$$

Por fim temos o método em que considera o formato cilíndrico usando a equação de Lamé, pois a pressão exercida no preenchimento proporciona um aumento do raio.

$$\mu = \left\{ \left( \frac{r \times p}{E} \right) \times \left[ \frac{r^2 + R^2}{R^2 - r^2} \right] + v \right\} \quad (9)$$

Onde:

$$\begin{aligned} \mu &= \text{Aumento Do Raio Interno}(cm) \\ r &= \text{Raio Interno Original}(cm) \\ R &= \text{Raio externo original}(cm) \end{aligned}$$

$\nu = \text{Coeficiente De Poisson}$

### 2.3.3 Buchas e guias

As colunas precisam ter o tamanho suficiente que seja maior que a altura do ponto mais alto da cavidade (HARADA, 2004).

### 2.3.4 Suportes

Estes calços devem suportar a pressão de injeção e a força de fechamento do molde evitando assim deformações no modelo (HARADA, 2004). Pela construção da matriz devemos colocar os suportes onde não obstrua o sistema de extração. Utilizando a fórmula para viga bi apoiada podemos dimensionar os calços.

$$S = \frac{W \times L}{8 \times Z} \quad (10)$$

Onde:

$S = \text{Tensão No Centro Da Placa}$   
 $W = \text{Carga Suportada Pelo Calço}$   
 $L = \text{Distância Entre Os Calços}$   
 $Z = \text{Módulo Da Seção Que Resiste À Flexão}$

Então:

$$Z = \frac{b \times d^2}{6} \quad (11)$$

Onde:

$b = \text{altura da placa}$   
 $d = \text{comprimento da placa}$

## 2.4 Normas

### 2.4.1 ABNT NBR 15990 – PEÇAS FUNDIDAS PELO PROCESSO DE MICROFUSÃO – REQUISITOS DE FABRICAÇÃO, CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES

Nesta norma é especificado como as peças produzidas pela microfusão devem ser caracterizadas, atendendo requisitos de qualidade e garantindo ao cliente funcionalidade e mínimo custo.

A norma emprega requisitos que devem ser seguidos, são eles (ABNT, 2011):

- Requisitos de fabricação;
- Qualidade metalúrgica;
- Sanidade interna;
- Qualidade superficial;
- Desempenho funcional;

É utilizado como referência documentos para o cumprimento da norma (ABNT, 2011):

- ASTM A 703, especificação padrão de fundidos de aço, requisitos gerais de peças contendo pressão;
- ASTM A 985/A, especificação padrão para aço microfundido, requisitos gerais de peças contendo pressão;

Seguindo essas diretrizes pode-se então desenvolver de forma íntegra o projeto da matriz de injeção de cera.

### 2.4.2 ABNT NBR ISO 9001 – SISTEMAS DE GESTÃO DE QUALIDADE – REQUISITOS DE PROJETO

Essa norma tem como propósito reger as regras para a implantação de um sistema de gestão de qualidade. Foram transcritos literalmente partes da norma para elencar a finalidade e as vantagens de se adotar um sistema de gestão da qualidade.

A adoção de um sistema de gestão da qualidade é uma decisão estratégica para uma organização que pode ajudar a melhorar seu desempenho global e a prover uma base sólida para iniciativas de desenvolvimento sustentável. Os benefícios potenciais para uma organização pela implementação de um sistema de gestão da qualidade baseado nesta norma são:

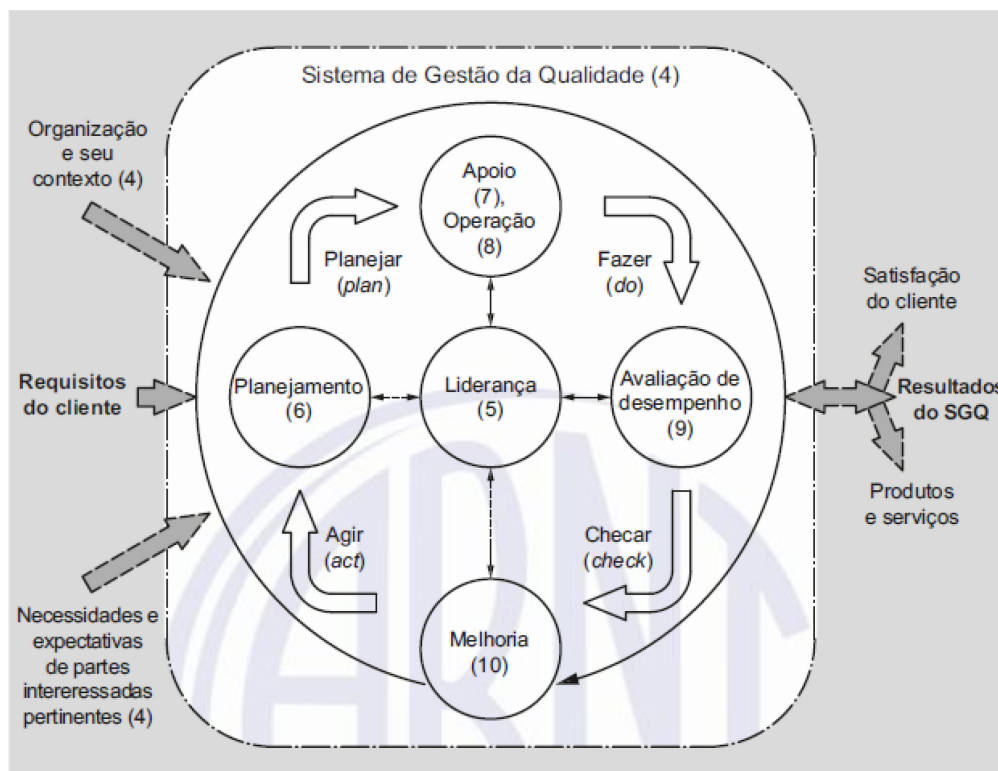
a) a capacidade de prover consistentemente produtos e serviços que atendam aos requisitos do cliente e aos requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis;

- b) facilitar oportunidades para aumentar a satisfação do cliente;
- c) abordar riscos e oportunidades associados com seu contexto e objetivos;
- d) a capacidade de demonstrar conformidade com requisitos especificados de sistemas de gestão da qualidade.

A norma utiliza-se do ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) mostrado na figura 7, que pode ser aplicado para todos os processos e para o sistema de gestão da qualidade como um todo e pode ser resumida:

- Plan (planejar): estabelecer os objetivos do sistema e seus processos e os recursos necessários para entregar resultados de acordo com os requisitos dos clientes e com as políticas da organização;
- Do (fazer): implementar o que foi planejado;
- Check (checar): monitorar e (onde aplicável) medir os processos e os produtos e serviços resultantes em relação a políticas, objetivos e requisitos, e reportar os resultados;
- Act (agir): executar ações para melhorar desempenho, conforme necessário.

**Figura 7 - Ciclo PDCA.**



Fonte: ABNT (2015).

A partir da norma temos dois parâmetros a serem seguidos para desenvolver um projeto, são eles um ciclo de aprendizado contínuo e o gerenciamento de riscos.

### 3 METODOLOGIA

A partir das metodologias apresentadas na revisão bibliográfica, a abordagem sistemática para o desenvolvimento e projeto de sistemas técnicos e produtos, desenvolvida pelo VDI, foi a escolhida para este trabalho, já que apresenta um fluxograma iterativo e que pode ser adaptado para o projeto em questão, pois esse possui os componentes e o produto final definidos. Assim sendo, foi desmembrado o projeto da matriz de injeção e elencado os sucessivos processos para a realização do projeto para produzir a ferramenta.

Na abordagem sistemática para o desenvolvimento de projetos, os estágios buscam esclarecer e elencar as atividades requeridas para a finalização do projeto tendo em mente que podem ser repetidas e retroativas, para que possam ser refeitas e melhorar o projeto sempre que necessitarem de um ajuste. Com os estágios definidos, tem-se os resultados esperados que auxiliam nas próximas etapas. A cada estágio, aplica-se o ciclo PDCA de modo a executar a tarefa com melhoramento contínuo e aperfeiçoando para o próximo projeto. Dessa forma, tem-se um fluxograma de processos modular e que pode ser adaptado dependendo do projeto.

Portanto, seguindo estas orientações e integrando com os conhecimentos agregados, pode-se construir a abordagem sistemática para o desenvolvimento de projetos.

Com isso, para a construção do modelo virtual e nas etapas subsequentes a utilização de um software para modelamento 3D é essencial. Neste caso foi utilizado o Solidworks um *Computer Aided Engineering* (CAE), traduzido para engenharia assistida por computador, ou seja, que auxilia o usuário em todos os processos de design e engenharia por possuir uma gama completa de ferramentas para o desenvolvimento do projeto. Esta ferramenta foi empregada desde a concepção do modelo a ser produzido até o projeto da própria matriz de injeção de cera.

Entre o desenvolvimento do modelo e o projeto da matriz de injeção de cera foi empregado o método descrito por Harada (2004) para cálculo da resistência das cavidades onde foi considerado cada cavidade como um pórtico, assim como descrito por Harada (2004) os cálculos para buchas, guias e suportes.

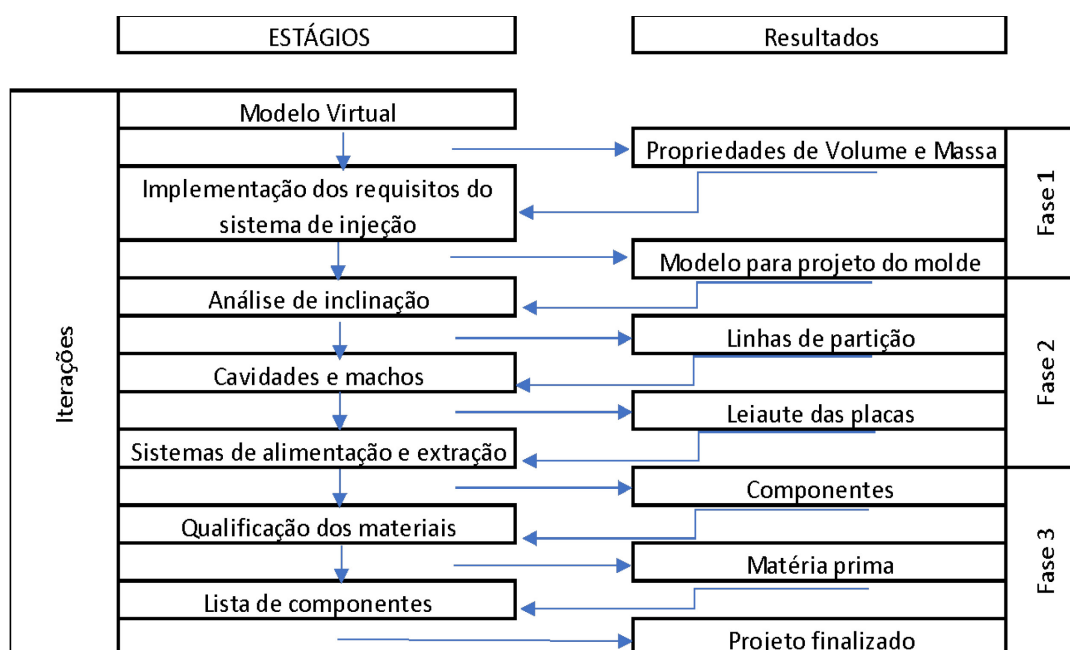
Então, estes resultados foram aplicados no Solidworks para o projeto da matriz de injeção e posterior qualificação dos materiais e lista de componentes.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Abordagem sistemática para o desenvolvimento e projetos de sistemas técnicos e produtos.

Como resultado da metodologia de projetos empregada, foi produzido em primeiro lugar, um fluxograma para orientação das atividades e conexões entre os estágios e com os resultados necessários para cada processo, apresentado na figura 8. Na primeira fase é onde se fez a análise crítica e trabalhou-se com o modelo para produção da matriz de injeção de cera. Na segunda fase foi realizado o projeto e construção da matriz, por fim, na terceira fase, foram realizadas as avaliações quantitativas e qualitativas da ferramenta em produção.

Figura 8 - Abordagem sistemática para o desenvolvimento de moldes de injeção de cera.

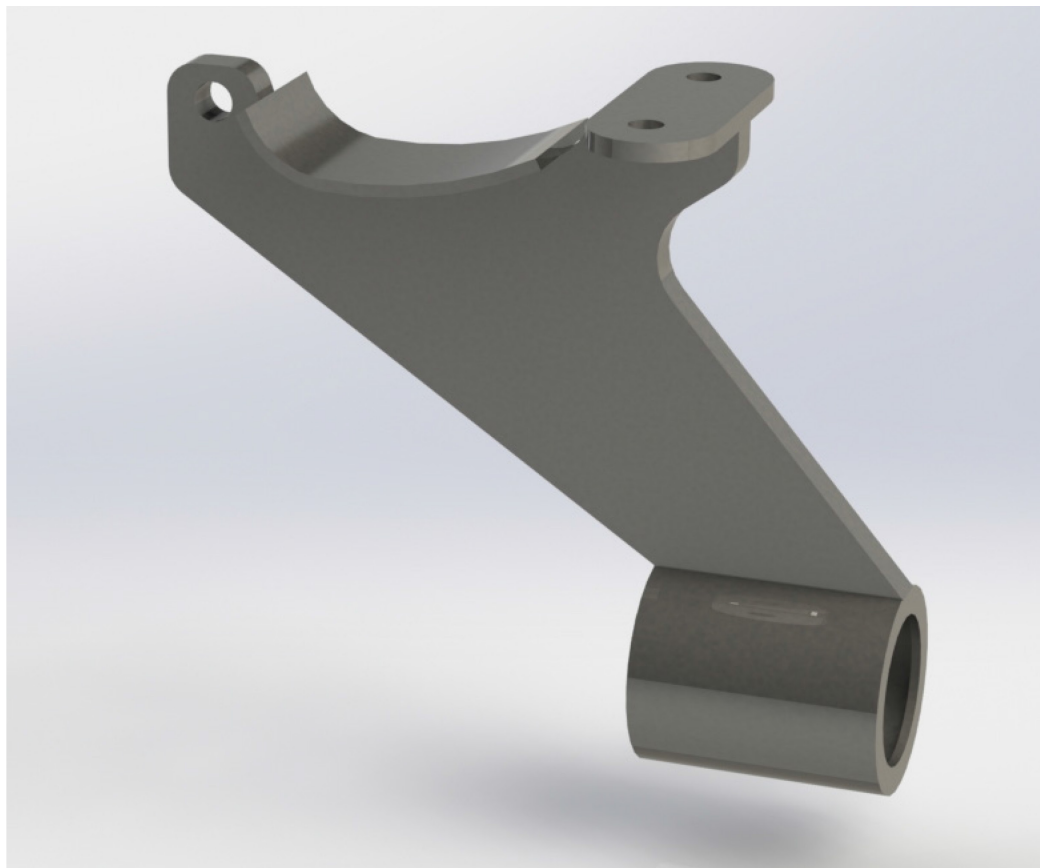


Fonte: Autoria própria (2022).

### 4.2 Modelo virtual do produto.

Desenvolvido no *software Solidworks*, o modelo virtual, mostrado na figura 8, é o ponto de partida para o desenvolvimento da matriz de injeção de cera de um suporte de barra.

**Figura 9 - Modelo virtual do suporte.**



**Fonte: Zanoni Equipamentos (2021).**

Utilizando dos recursos disponibilizados no software foi empregado o material que será fabricado o modelo, no caso aço inoxidável fabricado a partir da norma AISI 304. Com isso temos as propriedades físicas desejadas no final da produção e os critérios para aplicação dos requisitos do sistema sendo elas:

- Massa:
- Volume:
- Área superficial:

#### **4.3 Implementação dos requisitos do sistema de injeção**

A partir das propriedades físicas recebidas do software levou-se em consideração quais as características do material a ser injetado, como pode-se

conferir na tabela 1, para poder prever possíveis alterações dimensionais no produto final.

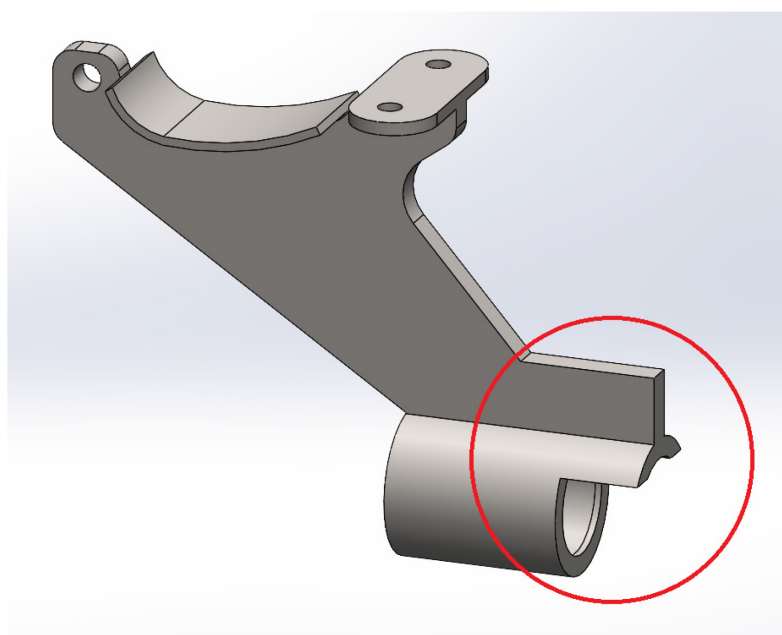
**Tabela 1 – Propriedades físicas e químicas do material a ser injetado.**

Composição	Concentração [%]
EVA	2,00 à 4,00
Naftpol	4,00
BHT-Ionol	4,00
Parafina microcristalina 170/190	18,00
Parafina macrocristalina 140/145	22,00
Breu	48,00
Teor de Umidade admissível	0,00 à 3,50
Taxa de Contração	2,50 à 3,50

**Fonte: G4 Válvulas e Microfusão (2022).**

A característica mais relevante para esta etapa foi a taxa de contração do material. Para garantir a montagem na árvore de modelos de cera, foram feitas algumas alterações no modelo, como pode ser observado na figura 10:

**Figura 10 - Modelo modificado.**



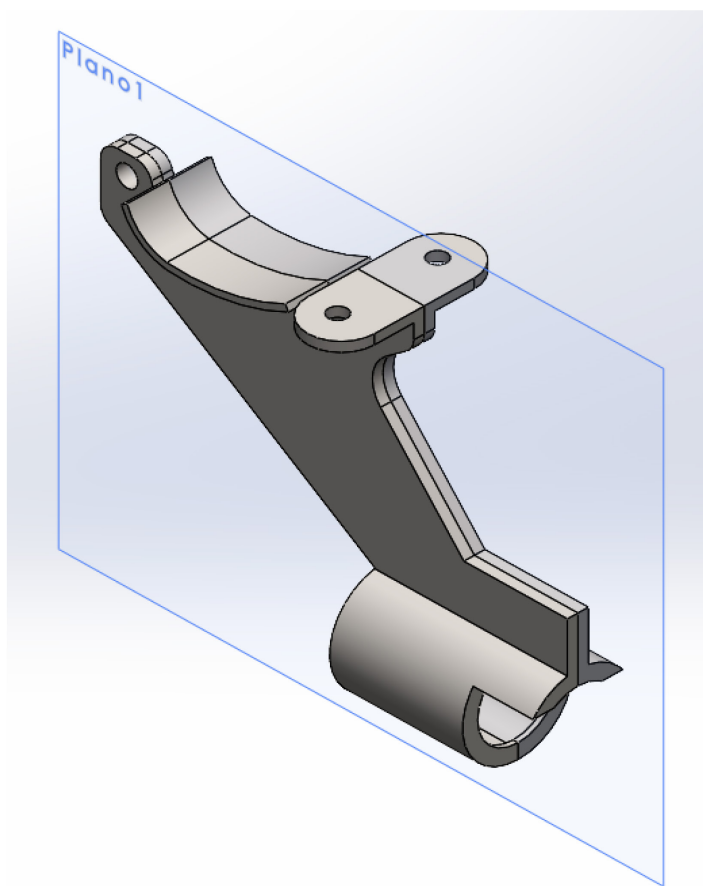
**Fonte: Autoria Própria (2021).**

Para garantir as características geométricas finais, foi utilizado o recurso de escala para aumento do tamanho externo e diminuição dos furos, levando em consideração a contração do material injetado e posteriormente do metal fundido. Para a solidificação, a G4 Válvulas recomenda 3,00% de taxa, assim como, a integração de um elemento para fixação na árvore de cera que na fase de finalização será retirado.

#### 4.4 Análise de inclinação

Com o modelo modificado para se adequar ao processo, foi realizada a análise de inclinação. Nesse estágio foi pensado um plano de simetria, figura 11, adequado ao processo para garantir a extração do modelo injetado com o mínimo de recursos.

Figura 11 - Identificação do plano de simetria.



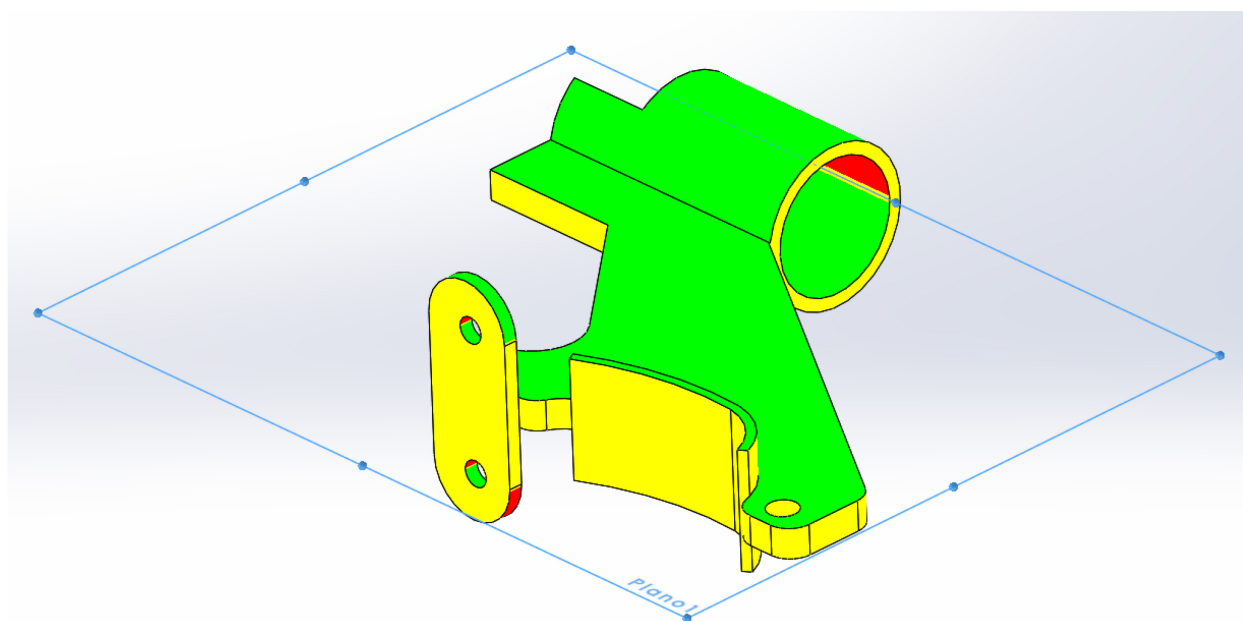
Fonte: Autoria Própria (2021).

Harada (2004) recomenda que em qualquer superfície perpendicular ao plano de simetria deve haver um alívio para que o modelo tenha maior facilidade de extração, variando de  $0,5^\circ$  a  $1^\circ$ .

Definido o plano de simetria e em conjunto com a direção de extração, aplicou-se um recurso disponível no Solidworks para análise da inclinação e verificação das áreas positivas e negativas e também, foi necessário o emprego de macho com corredeiras e cunhas.

É possível observar a transição das cores na figura 12, onde a cor verde indica inclinação positiva mostrando onde fica a parte superior do molde, o amarelo onde ainda é neutra e necessita ângulo de saída e em vermelho negativa, indicando a parte inferior do molde.

**Figura 12 - Análise de inclinação vista superior**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

A partir da análise, constatou-se que o molde possui furos perpendiculares à direção de extração sendo necessário a implantação de machos e corredeiras para formação do modelo desejado e a sua retirada da matriz.

#### 4.5 Cavidades e machos

Depois do modelo avaliado, começou-se a desenvolver as primeiras partes do molde, as cavidades superior, inferior e dois machos laterais, como visto anteriormente. Na Tabela 2 é mostrada as características da injetora utilizada na G4.

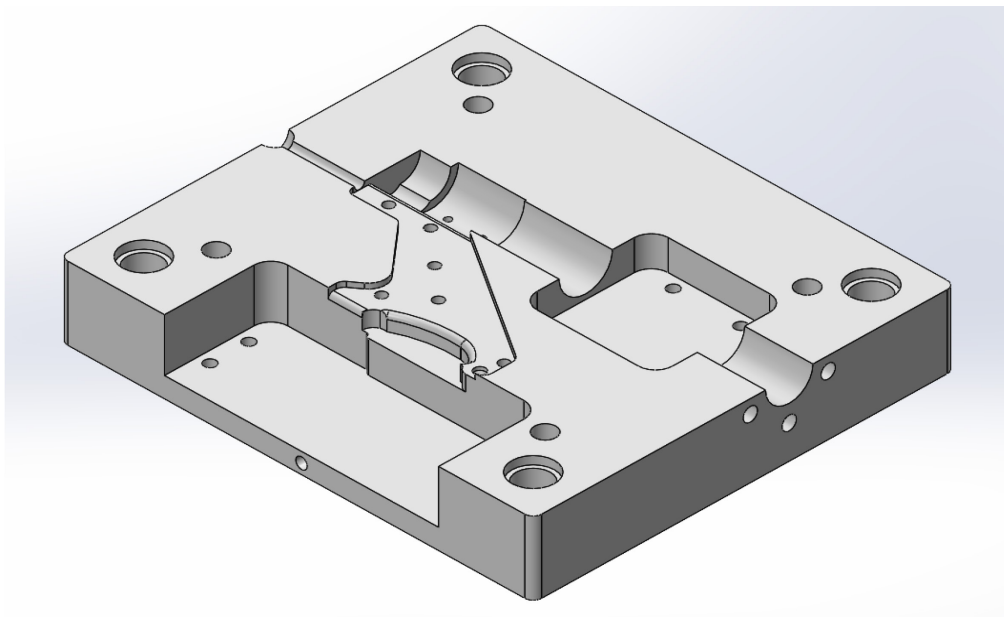
**Tabela 2 – Características da injetora.**

<b>Características</b>	<b>Dimensão</b>
Pressão de fechamento	70 à 100 bar
Pressão de injeção	20 à 40 bar
Dimensões máximas:	
X	760 mm
Y	600 mm
Z	690 mm

**Fonte: G4 Válvulas e Microfusão (2022).**

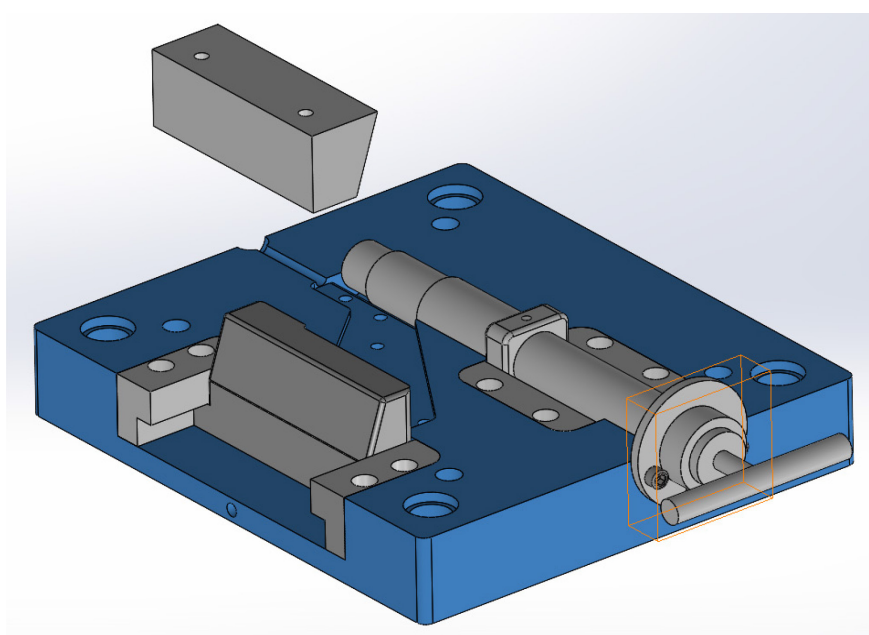
Conhecendo os limites internos da injetora foi organizado o espaço da matriz de injeção de cera e todos os seus elementos.

No modelo tem formas retangulares e cilíndricas e a partir da análise de inclinação verificou-se que a cavidade necessita de um macho frontal cilíndrico. Utilizando o método dos pórticos e a equação de Lamé, foram produzidas as cavidades como pode ser visto na figura 13 e figura 14.

**Figura 13 - Cavidade Inferior.**

Fonte: Autoria Própria (2021).

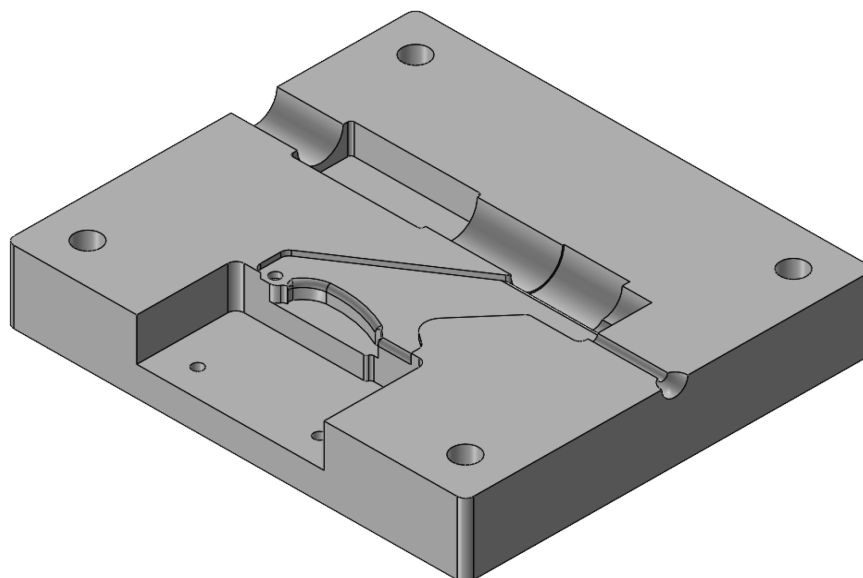
Na cavidade inferior aloja-se os machos, um de forma cilíndrica e outro com formato complexo que serão movidos de forma manual através de um puxador e o outro com cunha e mola, respectivamente. Nesta cavidade, também, foi alocado o sistema de extração e os suportes na parte inferior. Na figura 14, em azul, mostra a cavidade inferior e em cinza os machos, corredeiras, cunhas e puxador.

**Figura 14 - Placa cavidade inferior com machos.**

Fonte: Autoria Própria (2021).

Já na placa cavidade superior reservou-se espaço para dispor a cunha de movimentação do macho lateral e o batente do macho frontal e os pinos de alinhamento, visto na figura 15.

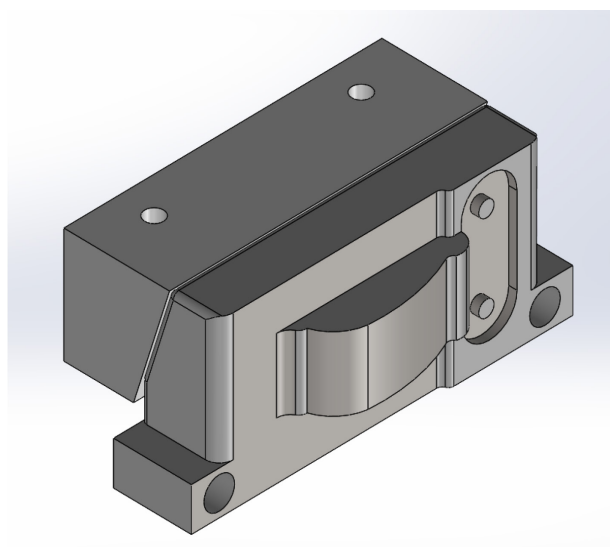
**Figura 15 - Cavidade Superior.**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

No macho lateral foi dimensionado uma cunha para movimentação perpendicular à direção de extração e com isso garantir a formação do modelo e posteriormente a extração, visto na figura 16.

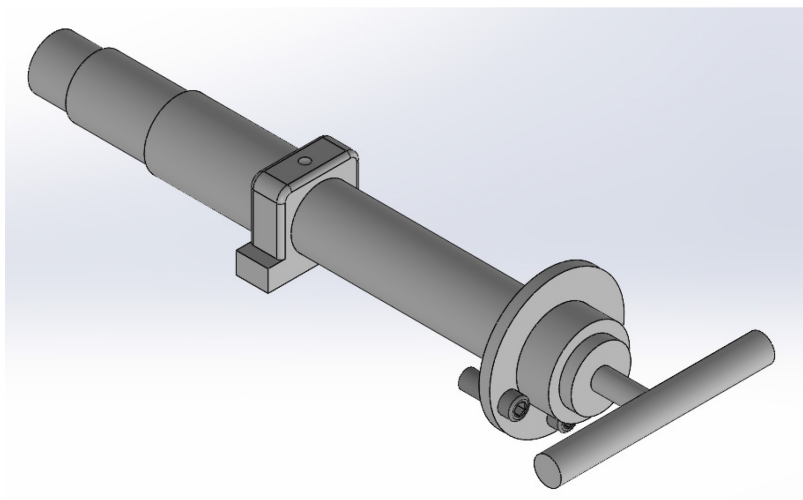
**Figura 16 - Macho lateral.**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

No macho lateral há um elemento de centralização e as corredeiras que limitam o movimento, sendo feito de maneira manual.

**Figura 17 - Macho frontal**



Fonte: Autoria Própria (2021).

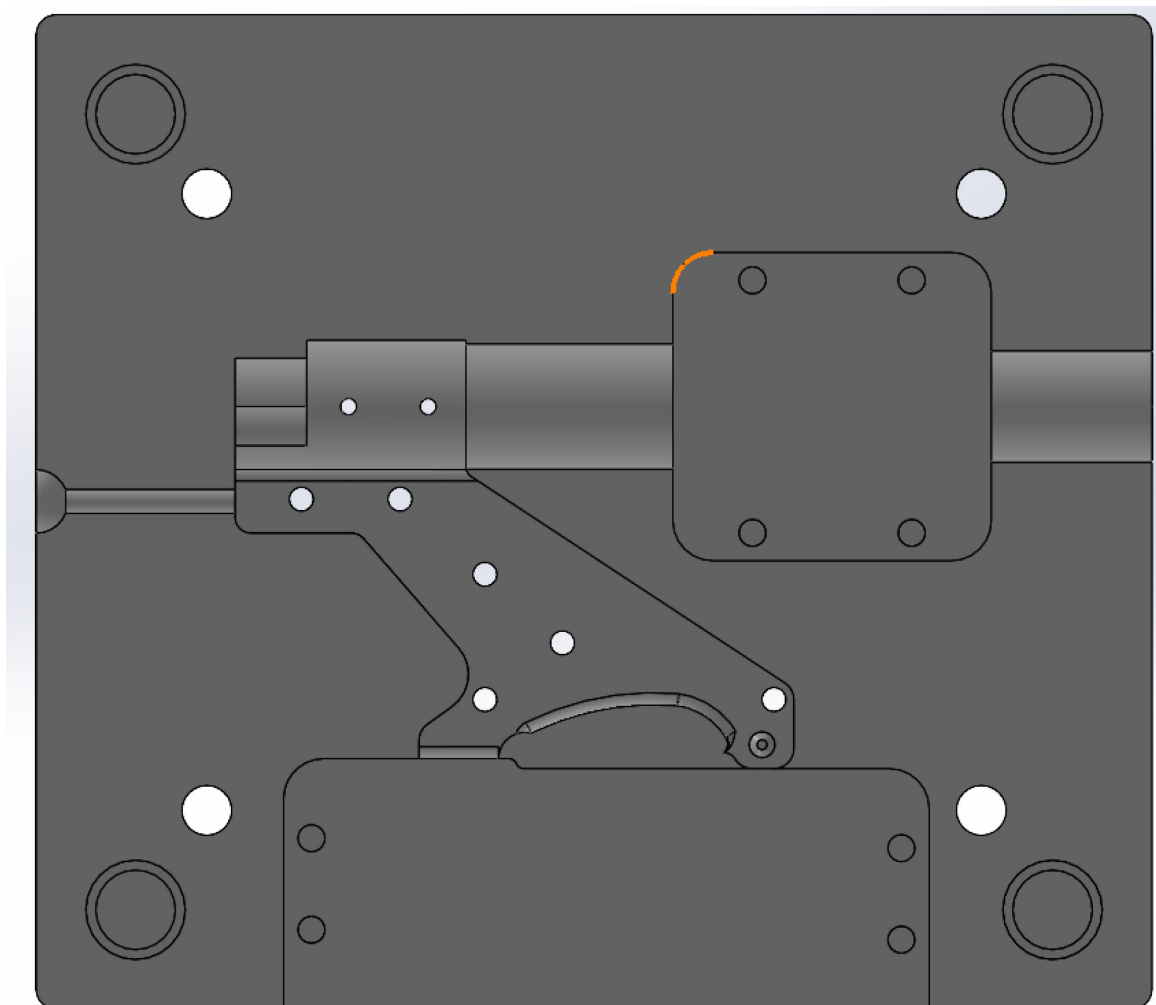
#### **4.6 Sistema de extração e de alimentação.**

Para garantir o preenchimento da cavidade e retirar o modelo em cera do molde, foi necessário elementos para fazer contato fechando os orifícios para evitar vazamentos e garantir a extração do modelo em cera.

Garcia (2009) recomenda a distribuição dos pinos extratores onde ofereçam maior resistência à fratura, assim como, quatro guias com bucha o mais perto possível dos pinos de retorno, e todos com dimensionado e fabricados com tolerâncias H7-g6.

A partir disso foi distribuído a localização dos furos para o sistema de extração como mostrado em branco na figura 18.

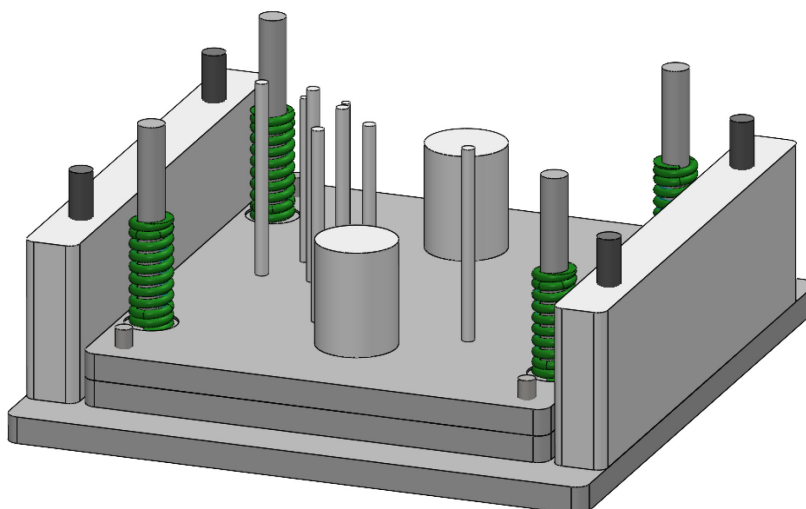
**Figura 18 - Localização dos sistemas de extração e alimentação na cavidade inferior.**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

As placas extratoras devem conter rebaixas para colocação dos encostos dos pinos extratores e separadas da contra placa extratora que faz o fechamento com a placa extratora (Garcia, 2009). Na placa base foram alocados os pilares de sustentação, sendo os laterais retangulares para dar rigidez e resistir a força de fechamento e as circulares direcionar as placas de extração junto dos pinos guias como descreveu GARCIA (2009). Pode-se conferir o sistema de extração na figura 19.

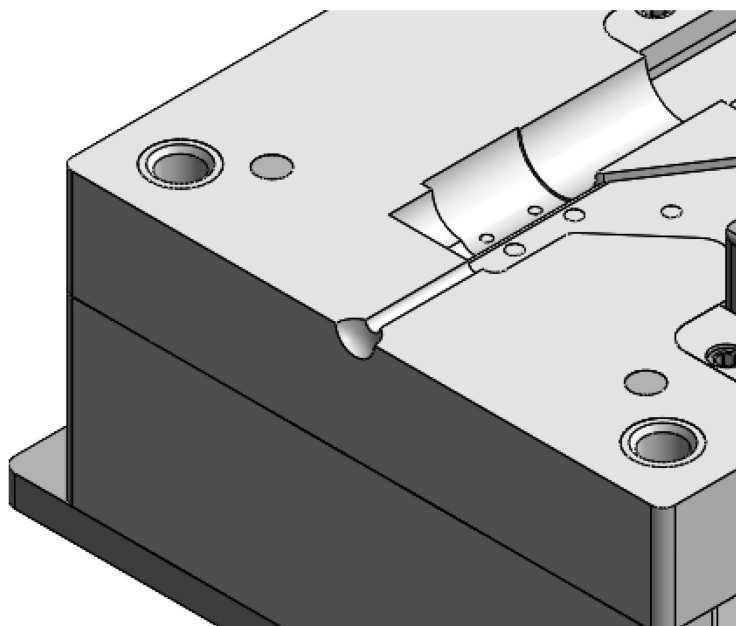
**Figura 19 - Placas extradoras e sistema de extração**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

No sistema de alimentação, figura 20, foi projetado um canal simples integrado a placa cavidade, como orientado pela G4 Válvulas, com 6 mm de diâmetro e sem a necessidade de um anel centralizador, pois a máquina utilizada contém um bico retrátil, e com isso, necessitou apenas de um chanfro com 46° e 6mm de profundidade na entrada do canal.

**Figura 20 - Canal de alimentação.**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

#### 4.7 Qualificação dos materiais

Para fabricação da matriz injetora uma série de materiais e acessórios foi necessário serem adquiridos e posteriormente modificados e montados. Cada sistema tem sua respectiva norma.

Nas cavidades foi utilizado uma liga de alumínio, desenvolvida e fundido pela empresa Metalthaga, específica para moldes de injeção de cera, material este recomendado pela empresa G4 Válvulas.

Nos machos, corrediças, batentes, placas base, colunas e suportes, foi utilizado, de acordo com a recomendação de GARCIA (2009), aços liga AISI 1020 e AISI 1040 e para as buchas, guia, pinos guia e pino extrator aços liga AISI 8620 com tratamentos térmicos de têmpera e cementação.

Com o modelo virtual concluído e todas as peças incluídas no *Solidworks*, *previu-se* todas as atividades envolvidas no processo de fabricação.

Sabendo quais e quanto de materiais a serem utilizados na fabricação, foi realizado o levantamento dos componentes necessários para conclusão da ferramenta. Porém, ainda foi preciso processar a matéria prima para transformá-los nos elementos finais da ferramenta, além disso precisou-se adquirir os elementos já processados e que são disponibilizados pelo mercado já prontos. Com os passos anteriores concluídos, tem-se a formação de todos os componentes necessários para a fabricação do molde e posterior montagem completa da matriz de injeção de cera.

#### 4.8 Lista de componentes

Por fim, tem-se a lista com todos os elementos necessários para fabricação e montagem da matriz de injeção de cera perdida, Quadro 1.

**Quadro 1 - Lista de componentes**

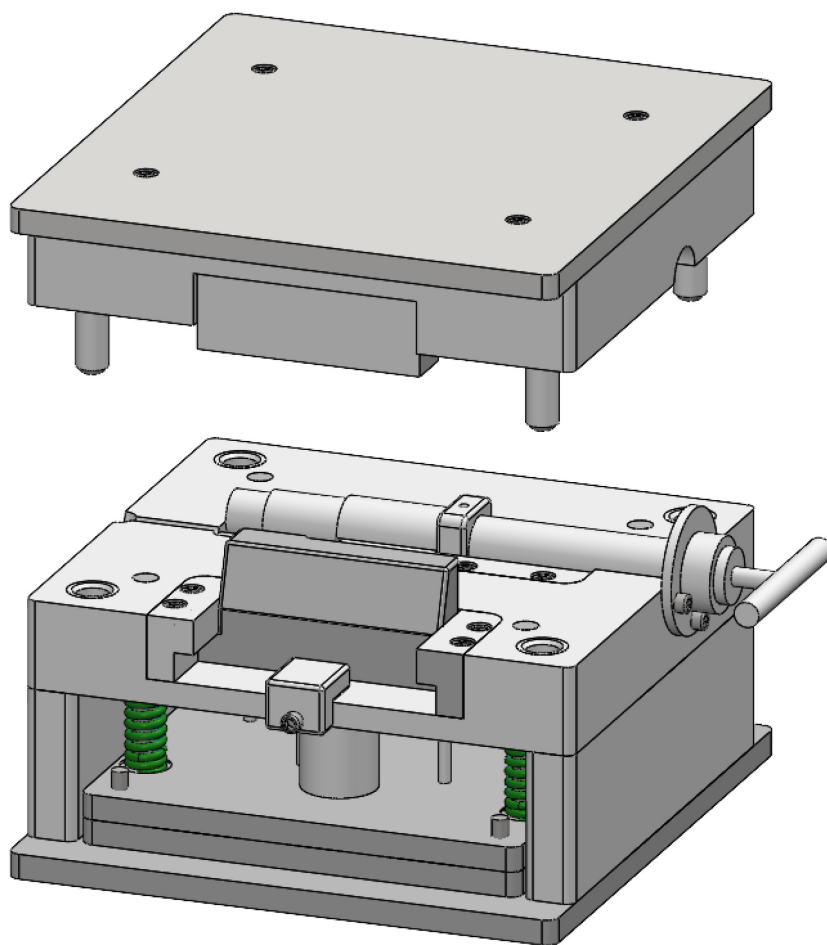
Peça	Descrição do material
Batente macho lateral	Aço AISI 1045
Buchas principais	Disponível para compra
Chapa base inferior	Aço AISI 1020
Chapa base superior	Aço AISI 1020
Chapa extratora	Aço AISI 1020
Contra chapa extratora	Aço AISI 1020
Corrediça macho frontal	Aço AISI 1045

Corrediça macho lateral	Aço AISI 1045
Suportes	Aço AISI 1045
Guia macho	Aço AISI 1045
Haste macho	Aço AISI 1045
Macho encosto	Aço AISI 1045
Macho frontal	Aço AISI 1045
Macho lateral	Aço AISI 1045
Macho lateral - cunha	Aço AISI 1045
Mola carga leve	Disponível para compra
Parafuso allen com cabeça	3/8" x 4" UNC Disponível para compra
Parafuso allen com cabeça	5/16" x 1" UNF Disponível para compra
Parafuso posicionador com esfera	3/16" x 3/16" UNF Disponível para compra
Pilar	Aço AISI 1045
Pino bucha	Disponível para compra
Pino da mola	Aço AISI 1045
Pino de extração 1	Aço AISI 1045
Pino de extração 2	Aço AISI 1045
Pino furo	Aço AISI 1045
Placa cavidade inferior	Placa de alumínio fundido para matriz de injeção
Placa cavidade superior	Placa de alumínio fundido para matriz de injeção
Puxador macho frontal	Aço AISI 1045

**Fonte: Autoria Própria (2021).**

A empresa possui toda a capacidade de produção das peças que não se encontram disponíveis para compra em distribuidores especializados. Na sua planta fabril possui ferramentas de corte a jato d'água para processamento das chapas, centro de usinagem vertical com 4º eixo para o batente, as corrediças, o macho lateral, as placas e suportes, e centro de torneamento para o guia, haste, pinos e puxador. A montagem da matriz de injeção de cera pode ser conferida na figura 21.

**Figura 21 - Matriz de injeção de cera**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

## 5 CONCLUSÃO

As etapas tomadas neste projeto formam uma ordem lógica de construção, onde um passo leva ao próximo, e sempre com a perspectiva de melhorar cada processo, pois aplicando o fluxograma e o PDCA é possível retomar o processo anterior trazendo novas concepções e corrigindo novos erros, levando ao aperfeiçoamento do projeto.

Em cada etapa foi identificado qual o problema e convocada a participação dos interessados para apresentar possibilidades reais de execução e então foi desenvolvido o plano de ação para colocar essa solução em prática. Conseqüentemente as ações foram implementadas levando em consideração o processo em questão, posteriormente identificamos as diferenças apresentadas na fase anterior entre o planejamento idealizado e as soluções que foram realizadas, quando houve uma discrepância entre as fases um novo ciclo foi realizado.

Por conseguinte, foi possível realizar as análises e modificações pertinentes no modelo e dessa forma projetar a matriz seguindo as metodologias apropriadas para a conclusão da ferramenta.

Portanto, ao fim do processo de desenvolvimento foi concluído o projeto da matriz de injeção de cera com todos seus sistemas dimensionados.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9001:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 105990:** informação e documentação: citações em documentos - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- BIDWELL, H. T. **Investment casting handbook**. Dallas: ICI, 1997.
- CHALINA, Eric. **50 Máquinas que mudaram o rumo da história**. Rio de Janeiro, Sextante, 2014.
- GARCIA, Mauro César Rabuski. **FUNDAMENTOS DE PROJETO DE FERRAMENTAS MOLDES DE INJEÇÃO PARA TERMOPLÁSTICOS**. Sapucaia do Sul: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFSUL, 2009.
- G4 VÁLVULAS E MICROFUSÃO. **Sobre a empresa**. Disponível em: <https://www.g4valvulas.com.br/sobre>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- HARADA, Júlio. **Moldes para Injeção de Termoplásticos – Projetos e Princípios Básicos**. São Paulo: Artiber, 2004.
- KALPAKJIAN, S., SCHMID, S.. **Manufacturing Processes for Engineering Materials**, 5ª ed. Pearson Education Incorporation, 2008
- MACHADO, Ioná Macêdo Leonardo. **Tecnologia básica do processo de fundição por cera perdida**. Itaúna: SENAI-DR. MG, 2001.
- MACHADO, I. M. L. **Avaliação microestrutural de cascas cerâmicas utilizadas na produção de moldes para o processo de fundição por cera perdida**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005
- MANRICH, Silvio. - **Apostila do Curso de Tecnologia de Injeção de Termoplásticos**. São Carlos: DEMa/UFCar, 1995.
- NORTON, R. L. **Projeto de Maquinás: uma abordagem integrada**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora LTDA, 2013.
- PATTNAIK, Sarojrani; KARUNAKAR, D. Benny; JHA, P.k.. **Developments in investment casting process: A review**. Journal of Materials Processing Technology, Roorkee, India, v. 212, n. 11, p. 2332-2348, jun./2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013612001823>. Acesso em: 19 fev. 2022.
- PMI, Project Management Institute. **Guia PMBOK: Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute Inc, 2017. p. 10.
- PROVENZA, Francesco. **Moldes de Injeção**. São Paulo: Pro-tec, 1993.

SACCHELLI, Carlos Maurício, **Sistematização do processo de desenvolvimento integrado de moldes de injeção de termoplásticos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

TAYLOR, P. R.. **An illustrated history of lost wax casting**. 17. ed. Stratford-Upon-Avon: British Investment Casting Association, 1983. p. 1-1.

VANIKAR, Nilesh P.; OHOL, D. S. S; ANJIKAR, Rajendra. **Need of automation in investment casting industry due to major defects caudsed by manual operations: Case Study**. International journal for scientific research and development, Maharashtra, India, v. 3, n. 9, p. 2-5, nov./2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/300258417\\_Need\\_of\\_Automation\\_in\\_Investment\\_Casting\\_Industry\\_Due\\_to\\_Major\\_Defects\\_Caused\\_by\\_Manual\\_Operations](https://www.researchgate.net/publication/300258417_Need_of_Automation_in_Investment_Casting_Industry_Due_to_Major_Defects_Caused_by_Manual_Operations). Acesso em: 18 fev. 2022.

ZANONI EQUIPAMENTOS. **Sobre a empresa**. Disponível em: <https://www.zanonequipamentos.com.br/pt/sobre>. Acesso em: 10 jan. 2022.