



PROJETO DE MOLDE DE INJEÇÃO PARA UM DISPOSITIVO USADO EM LINHA DE TRANSMISSÃO

Autor 1 – Victor Nathan dos Santos Allebrandt
173792@upf.br

Autor 2 – Prof. Dr. Charles Leonardo Israel
israel@upf.br

Comissão Examinadora – Ms. Auro Candido Marcolan, Dr. William Haupt

RESUMO

Produtos fabricados com polímeros estão presentes no cotidiano de todas as pessoas. Esses produtos são fabricados pelo processo de injeção. O presente trabalho desenvolveu-se um projeto de um molde de injeção, considerando os custos para sua fabricação. Este molde será usado para fabricar um dispositivo de um cabo para a linha de transmissão. O projeto do molde foi desenvolvido em fases, desde a identificação do produto a ser injetado, definição do número de cavidades, sistemas de alimentação, refrigeração e extração, com a utilização de *software* CAD de modelamento 3D, onde foi dimensionado os componentes. Foi determinado que o molde poderia ter duas cavidades, o que resulta em duas peças a cada ciclo de injeção. Posteriormente ao modelamento, o custo de fabricação do molde foi orçado no valor de R\$ 24.062,65. Com uma demanda pré-estabelecida de 10.000 peças para serem fabricadas, resultou no custo do molde por peça de R\$ 2,42, levando 61,94 horas para a fabricação das peças injetadas.

Palavras chave: Molde de injeção. Projeto. Custo de fabricação.

1. INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão de energia elétrica são meios que ligam as geradoras de energia às cidades de todo país, a grande importância desse sistema não permite que sejam desligadas nenhuma dessas linhas. Porém falhas nesses sistemas podem ocorrer por diversos motivos, um dos causadores desses desligamentos são ocasionados por aves que pousam nas torres de transmissão e excretam nos isoladores das linhas, causando o desligamento da energia.

Dessa forma, observou-se a necessidade de implantar um Dispositivo Anti Pousa (DAP) nas torres de transmissão, com a finalidade de afastar as aves das torres de transmissão. Assim, vinculado ao projeto de P&D, sucederá o desenvolvimento de um componente DAP, para fixar nas torres de transmissão. Este componente será fabricado por injeção plástica, onde o presente trabalho realizará um projeto de molde de injeção para que o DAP seja fabricado.

Atualmente, o processo de injeção plástica está sendo muito utilizado na indústria de transformados de polímeros. Segundo ABIPLAST 2021, cerca de 45,8% dos produtos produzidos da matéria prima polimérica, são fabricados pelo processo de injeção. Produtos produzidos por injeção plástica, estão presentes no cotidiano, sendo usados em diversos ramos como: construção civil, indústria de alimentos, artigos de comércio em atacado e varejo, automóveis e autopeças, máquinas e equipamentos entre outros.

“Processo de moldagem por injeção é o processo de moldagem mais comum para a fabricação de peças de plástico. De um modo geral, a criação de moldagem por injeção de plásticos inclui a concepção do produto, desenho do molde, e concepção do processo de moldagem por injeção, todos os quais contribuem para a qualidade do produto moldado, bem como a eficiência produtiva”. (ZHOU, 2009, p.297-306)

Para que ocorra o processo de injeção de plásticos, se faz necessário, uma injetora, matéria prima (polímero) e um molde. O molde é uma ferramenta composta por cavidades, que dão forma ao produto, sistemas de alimentação, resfriamento, e extração, ZOTO, 2020.

A grande maioria dos moldes são ferramentas destinadas a fabricação de somente um produto, desta forma para um molde ser fabricado deve estar bem definido entre os envolvidos o que fazer, quando fazer e como fazer, SACCHELLI, 2007.

Este trabalho buscou realizar o desenvolvimento da estrutura de um molde, por meio do modelamento 3D dos componentes do molde, considerando a matéria prima indicada para a sua construção, tratamentos térmicos nos componentes que necessitam, e realizar o cálculo do custo para que o molde seja fabricado.

1.1 Justificativa e descrição do problema

A justificativa para o trabalho ser realizado se dá por conta de a massificação de uso e padronização de produtos plásticos gera uma grande demanda de mercado, desta maneira necessita-se produzir componentes plásticos em grande quantidade e baixo tempo. Uma alternativa para a fabricação é a injeção plástica, que para serem fabricados necessitam de um molde, que dá formato ao produto. Sendo assim, a necessidade de fabricar um componente para ser usado em linhas de transmissão por meio de injeção, para isso é necessário projetar e desenvolver orçamento de um molde para a fabricação do dispositivo.

1.2 Objetivo Geral

O projeto de um molde de injeção, para fabricar um Dispositivo Anti Pouso para uma linha de transmissão.

1.3 Objetivos específicos

- Modelar o molde 3D e detalhar todos os componentes utilizando *software* de modelamento 3D;
- Sistematizar por meio de um roteiro adequado as etapas de fabricação do molde;
- Elencar custos para fabricar o molde.

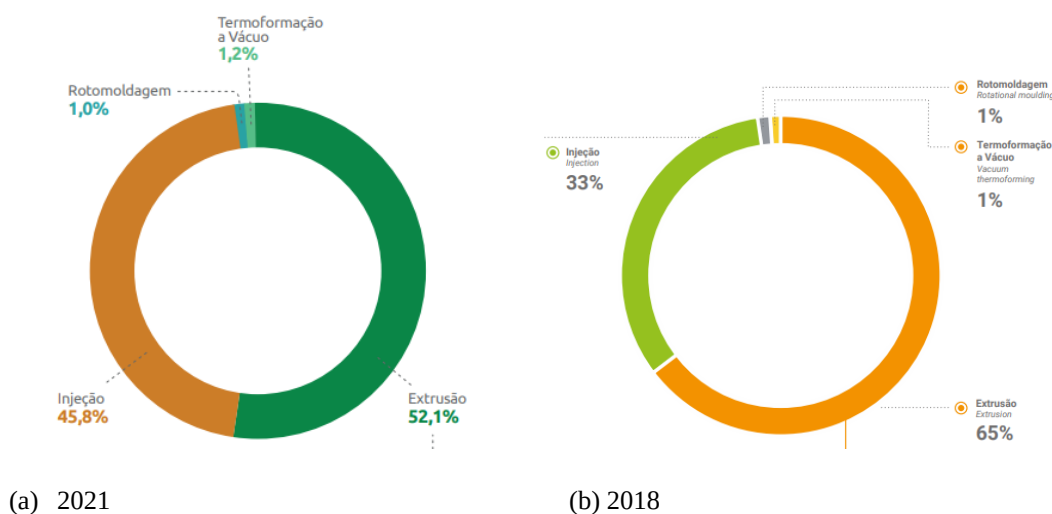
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entende-se que o processo de injeção plástica é utilizado para dar forma a um produto, através da moldagem da matéria prima polimérica nas cavidades de um molde metálico.

De acordo com Almeida e Souza, para transformação de plásticos, o processo de injeção é o segundo mais utilizado. Características muito específicas como rosca, furos, encaixes e acabamento superficial podem ser obtidos pelo processo de injeção plástica. Além de todos esses detalhes, a alta capacidade de reprodução também caracteriza o processo.

Com o passar dos anos a produção por injeção vem aumentando significativamente. Segundo dados da ABIPLAST, pode-se comparar o processo produtivo na transformação de plásticos pelos gráficos da Figura 1.

Figura 1 - Processo produtivo para fabricação de transformados plásticos (a) 2021, (b) 2018



Fonte: (a)ABIPLAST, 2021 (b) ABIPLAST, 2018

A partir dos dados, verifica-se que houve a variação de 33% em 2018 para 45,8% em 2021 na produção pelo processo de injeção.

2.1 Polímeros

Polímero definido do grego polys (muitos) e meros (partes) é um material formado por grandes moléculas, denominadas macromoléculas, que contêm em si uma cadeia central de

átomos unidos por ligações covalentes. Estas macromoléculas são produzidas através de um processo chamado polimerização, no qual moléculas simples – os monómeros – reagem quimicamente entre si SARAIVA, 2016.

Os polímeros adquirem uma forma determinada através da pressão e calor. Os polímeros podem possuir características que propõe certas classificações para que melhor possam ser definidos. No caso dos materiais injetados, o mais comum são os termoplásticos.

A Figura 2, determina as características das resinas termoplásticas, essas que são utilizadas para serem injetadas no molde e dar forma a peça.

Figura 2 - Características das resinas termoplásticas

Material Plástico	Tem p. Injeção (°C)	Temp. molde (°C)	Temp. extração (°C)	Densidade média a 20°C [g/cm³]	Densidade média na Temp de Injeção [g/cm³]	Fator Volumétrico	Quantidade de calor [kcal/kg]	Difusividade térmica efetiva [mm²/s]
PS	240			1,05	0,95	1,9 – 2,15	120-150	
SB	240	10-80	< 85	1,04	0,95			
SAN	240	50-80	< 85	1,08	0,99	1,9 – 2,15	120-150	
ABS	240	50-85	< 90	1,05	0,95	1,8 – 2,0	140-170	
CA	200	40-80	< 85	1,29	1,10	2,4	124	
CAB	200	40-80	< 85	1,19	1,08	2,2	111	
PMMA	230	40-90	< 95	1,18	1,09	1,8 – 2,0	123	
PC	300	80-120	< 125	1,22	1,08	1,75		
PEAD	260	10-60	< 65	0,95	0,74	1,714 – 1,9	300-350	
PEBD	240	20-60	< 65	0,92	0,74	1,84 – 2,0	250-300	
PP	260	20-60	< 65	0,91	0,73	1,92 – 1,96	250-300	
PA	280	40-120	< 125	1,14	0,98	2,0 – 2,1	300-350	
PA 6	240			1,14	0,99			
POM	220	60-120	< 125	1,42	1,16	1,8 – 2,0	180	
PVC RÍGIDO	190	20-60	< 65	1,38	1,12	2,3	90	
PVC FLEXÍVEL	190			1,38	1,02	2,3		
PP+ 20 % de carga	260	20-60	< 65	1,05	0,87		250-300	
PP + 30 % de carga	260			1,13	0,95		250-300	
PP + 40 % de carga	260			1,23	0,95		250-300	

Fonte: Garcia (2009)

2.2 Classificação dos Polímeros

Polímeros podem ser classificados de acordo como estão ligados química e estruturalmente, segundo SARAIVA, 2016, podem ser divididos em termoplásticos, termoendurecíveis e elastômeros.

Termoplásticos: necessitam de calor para serem moldados, e podem ser várias vezes reaquecidos e remoldados sem que ocorra modificação na sua estrutura.

Termoendurecíveis: são moldados para atingirem uma forma permanente, para após serem endurecidos de forma química, do contrário dos termoplásticos, não podem serem reaquecidos e remoldados, pois se degradam ou se decompõem quando aquecidos a altas temperaturas.

Elastômeros ou borrachas: suas dimensões podem variar significativamente quando submetidos a tensões mecânicas e quando se retira as solicitações responsáveis pela deformação, as dimensões voltam as iniciais.

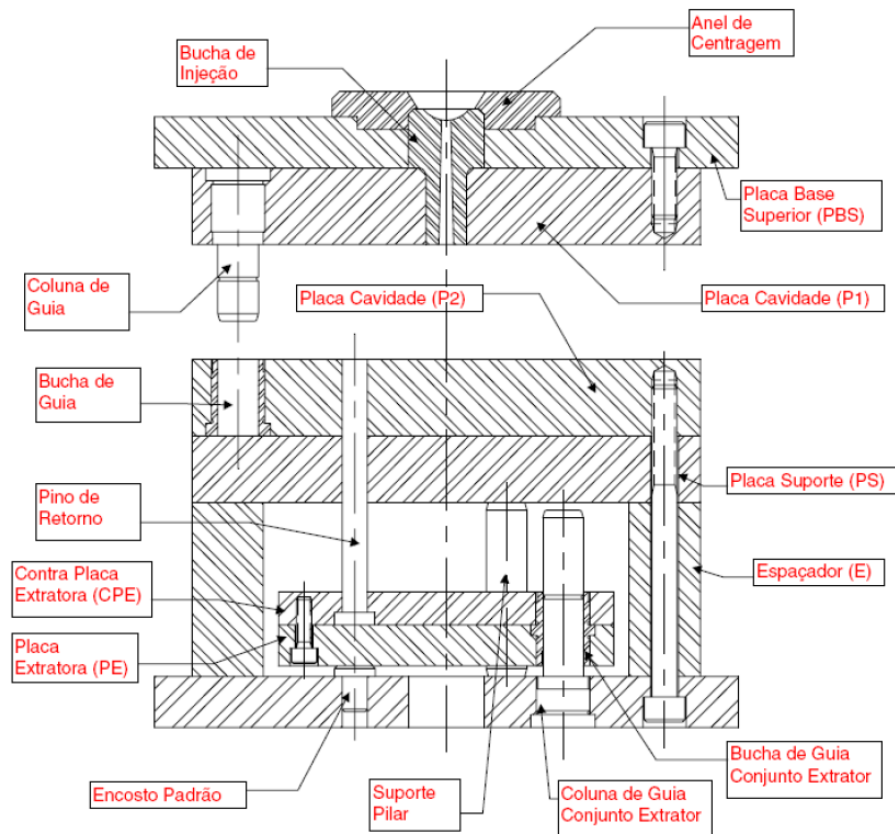
2.3 Molde de Injeção

Segundo Almeida e Souza (2015, p.141), “os moldes de injeção são ferramentas construídas para a conformação do material plástico que será processado. Os moldes de injeção dão formato à peça que será moldada.”

Um molde de injeção é composto por variados sistemas, os principais sistemas de acordo com Almeida e Souza (2015), são o sistema de injeção, refrigeração, extração e saída de gases. Estes sistemas são necessários para que uma peça possa ser moldada.

A Figura 3 detalha os elementos padronizados no molde, estes elementos que são da parte inferior pinos, colunas, buchas guia, parafusos e na parte superior as placas.

Figura 3 - Elementos padronizados no molde



Fonte: Garcia (2009 p.22)

2.3.1 Principais partes que compõem um molde de injeção

O molde de injeção é um conjunto de peças, onde estas peças formam sistemas necessários para que o molde seja montado e funcione da maneira adequada. De acordo com Zoto (2020), a Tabela 1 abaixo pode-se definir resumidamente cada sistema funcional e sua função na composição do molde.

Tabela 1 - Sistemas funcionais de um molde de injeção

Sistemas funcionais de moldes	Funções do molde de Injeção
Cavidade e Macho	Controlar a forma, as dimensões e o acabamento superficial da peça moldada
Centragem e Guiamento	Manter o alinhamento entre as duas metades do molde, garantindo a repetibilidade da forma e das dimensões da peça
Alimentação	Guiar e controlar o fluxo do polímero fundido, desde o bico da máquina injetora, até a entrada do material na(s) cavidade(s).
Saída de Gases	Permitir que o ar e outros gases existentes nas cavidades possam sair, evitando falhas de injeção e produtos defeituosos.
Refrigeração	Controlar a temperatura do molde para solidificação do material e auxiliar na redução do tempo de ciclo de injeção
Extração	Possibilitar a retirada da peça do molde

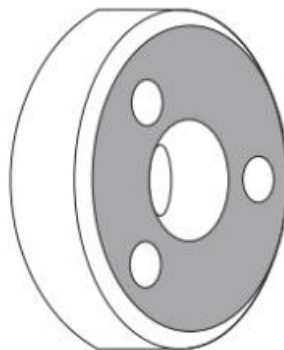
Fonte: Adaptado de Zoto (2020)

Os componentes para a composição dos sistemas do molde são descritos na sequência abaixo, onde está descrito o componente e sua função.

Anel de centragem

De acordo com Almeida e Souza (2015), o anel de centragem Figura 4 tem a função de centralizar a bucha com o bico de injeção.

Figura 4 - Anel de centragem

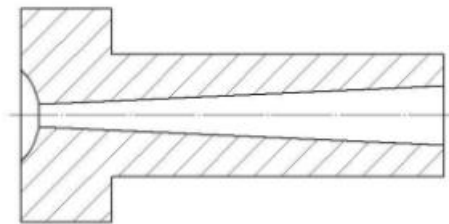


Fonte: Almeida e Souza (2015)

Bucha de injeção

De acordo com Almeida e Souza (2015), a bucha de injeção Figura 5 tem a função de passar o material plástico fundido do bico da injetora ao canal de enchimento e distribuição. Nesta região é a primeira parte em que o material fundido passa após deixar o bico da injetora, portanto, a forma e as dimensões devem ser adequadas, pois o material passa em fluxo contínuo com grande velocidade e pressão.

Figura 5 - Bucha de injeção em corte



Fonte: Almeida e Souza (2015)

Placa base superior

De acordo com Almeida e Souza (2015), a placa base superior tem a função de fixar o conjunto superior do molde a máquina injetora.

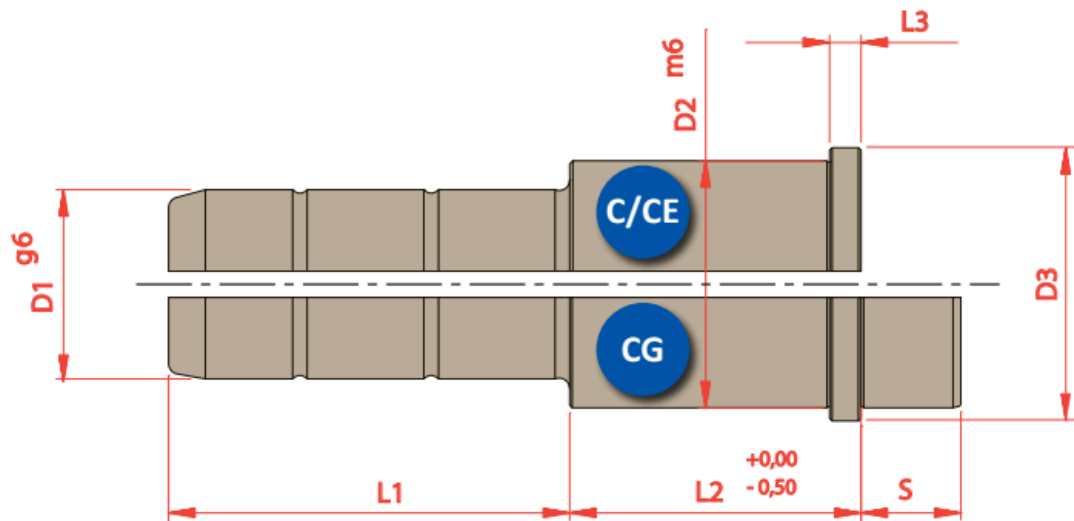
Placa porta cavidade superior

De acordo com Almeida e Souza (2015), a placa porta cavidade superior, tem a função de alojar as cavidades fêmeas do molde.

Coluna guia e bucha guia

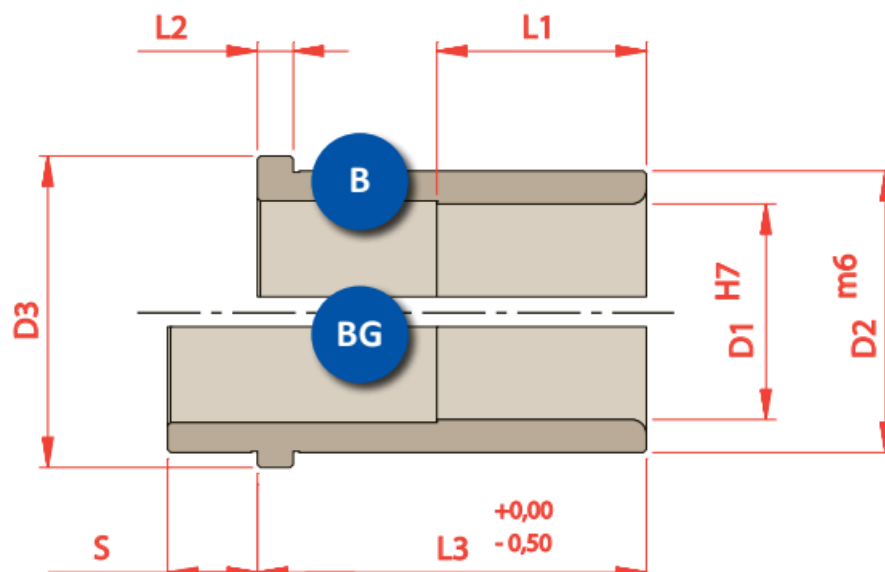
De acordo com Almeida e Souza (2015), a coluna guia Figura 6 e bucha guia Figura 7, tem a função de centralizar os conjuntos superior, parte fixa, ao inferior do molde, parte móvel.

Figura 6 - Coluna guia



Fonte: Polimold

Figura 7 - Bucha guia



Fonte: Polimold

Placa porta cavidade inferior

De acordo com Almeida e Souza (2015), a placa porta cavidade inferior, tem a função de alojar os machos ou as cavidades, ou postigos da cavidade inferior, também aloja as buchas guias, furos para passagem dos pinos extratores, sistema de refrigeração dos machos e parte do sistema de enchimento ou distribuição.

Placa suporte

De acordo com Almeida e Souza (2015), a placa suporte, suporta toda a pressão de injeção exercida no molde durante a injeção do material, e as pancadas do conjunto extrator.

Postiço

De acordo com Almeida e Souza (2015), o postiço são elementos que contém as cavidades ou formam os machos. Ele reduz o custo de fabricação do molde.

Bloco espaçador

De acordo com Almeida e Souza (2015), o bloco espaçador limita o curso do conjunto extrator, possui pinos guias para a montagem e passantes para os parafusos de fixação.

Placa porta extratores

De acordo com Almeida e Souza (2015), a placa porta extratores, aloja a cabeça dos pinos extratores e utiliza a rosca para fixar a placa impulsora.

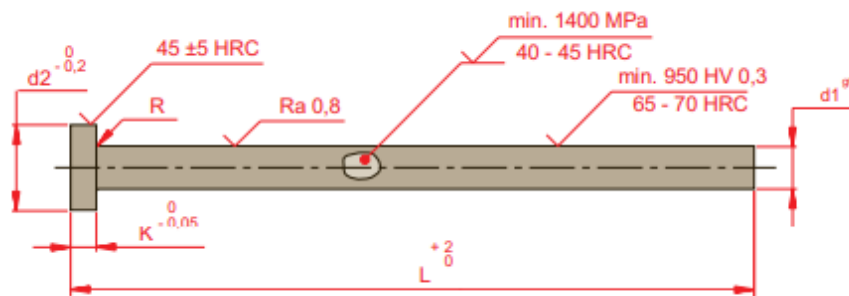
Placa impulsora

De acordo com Almeida e Souza (2015), placa impulsora ou placa extratora, recebe o movimento da haste do cilindro hidráulico de extração da injetora para extrair a peça moldada.

Pino extrator

De acordo com Almeida e Souza (2015), o pino extrator Figura 8, tem a função de extrair a peça da cavidade inferior.

Figura 8 - Pino de extração



Fonte: Almeida e Souza (2015)

Placa base inferior

De acordo com Almeida e Souza (2015), a placa base inferior, fixa o conjunto inferior do molde à placa móvel da injetora.

2.3.2 Sistema de extração

O sistema de extração é muito importante e deve ser definido de acordo com parâmetros técnicos de geometria da peça, material plástico injetado, acabamento, tolerâncias dimensionais.

Normalmente é feito pela máquina injetora, Almeida e Souza (2015) descrevem que a peça injetada que está na cavidade do molde necessita ser retirada utilizando os elementos extratores. Os extratores podem ser: Ar comprimido, Pino, Camisa, Ação retardada, Extração forçada, Placa extratora, Extração por lâmina, Extração com gavetas.

2.3.3 Sistema de refrigeração

Almeida e Souza (2015), definem o sistema de refrigeração como canais de controle de temperatura, com a função de transferir o calor da cavidade do molde até o líquido refrigerante, normalmente utilizado água. Os tipos de canais de refrigeração são furos usinados, que podem ser circuitos ligados em série ou em paralelo.

2.3.4 Sistema de saída de gás

No processo de injeção de plástico, para que a peça seja moldada por completo, o ar contido na cavidade do molde precisa ser deslocado por completo para que não acumule na parte final do preenchimento do molde ocorrendo a formação de bolhas na peça injetada. Almeida e Souza (2015).

2.3.5 Sistema de alimentação

O Sistema de injeção de acordo com Almeida e Souza (2015), “possui o canal de injeção, que guia o plástico líquido até o canal do molde com rota mais curta, sem perdas de calor e pressão.”

Os pontos de injeção são dimensionados de acordo com o peso e a dimensão da peça, sendo usados mais usualmente a injeção direta, injeção capilar, tipo anel, tipo leque, tipo submarina e tipo unha de gato, Almeida e Souza.

2.4 Material de Fabricação Do Molde

Os materiais para a construção do molde são selecionados utilizando alguns critérios de boa usinabilidade, dureza e resistência a corrosão e o bom polimento que o aço pode obter também é importante, pois é ele quem define o acabamento da peça. Os elementos do molde podem receber tratamento para o aumento da dureza, o tratamento varia de acordo com o tipo do aço e a dureza necessária para a aplicação, assim Almeida e Souza (2015) definem como devem ser definidos as escolhas dos materiais de construção do molde. A Tabela 2 demonstra o aço recomendado, tratamento térmico e dureza para os componentes do molde.

Tabela 2 - Aços recomendados para a construção de moldes

Parte do molde	Aço recomendado	Tratamento térmico	Dureza Rockwell Escala C
Placa de fixação inferior e superior	ABNT 1020 A 1040		
Coluna ou espaçador			
Porta extratores			
Placa suporte			
Anel de centragem			
Placa extratora			
Placa de montagem de postigos			
Placa impulsora			
Bucha guia	Aço cromo-níquel ABNT 3310	Cementado e temperado	54 a 58
Coluna guia			
Bucha de injeção			58 a 60
Postigos fêmeas			
Postigos machos			54 a 58
Camisa extratora			
Pino extrator			50 a 56
Extrator de canal			
Parafusos limitadores			
Lâminas extradoras			
Pinos de retorno			

Fonte: Adaptado de Almeida e Souza (2015)

Harada (2004) define de acordo com a Tabela 3 abaixo os aços empregados em cavidades e machos baseando-se em requerimentos de produtividade, complexibilidade de fabricação, tamanho do molde, esforços mecânicos e natureza abrasiva ou corrosiva da resina plástica.

Tabela 3 – Principais aços utilizados em cavidades e machos

Aço	Equivalência	Características	Dureza de utilização
AISI 4340	VM40(Villares) 4340(Gerdau)	Aço carbono baixa liga. Fornecido no estado pré-beneficiado	Utilizado no estado de fornecimento pré-beneficiado com durezas de 28/32 HRC
AISI P20	VP20IM (Villares) P20 (Gerdau) IMPAX (Uddeholm) M200 (Boehler) THYROPLAST 2311 (Thyssen)	Aço ferramenta, específico para moldes plásticos. Alta polibilidade. Fornecido no estado pré-beneficiado	Utilizado no estado de fornecimento pré-beneficiado com durezas de 28/32 HRC
AISI H13	VH13IM (Villares) W302 (Boehler) ORVAR (Uddeholm) H13 (Gerdau) THYROTHERM 2344(Thyssen)	Aço ferramenta para trabalho a quente. Endurecível por tempera	Utilizado no estado temperado para 50/52 HRC
AISI 420	VP420IM (Villares) M310 ISOPLAST (Boehler) STAVAX (Uddeholm) 420 (Gerdau) THYROPLAST 2083)	Aço inoxidável martensítico. Alta polibilidade (varia de acordo com a qualidade). Endurecível por tempera	Utilizado no estado temperado para 50/52 HRC. Apolibilidade varia com o processo de tratamento térmico e a qualidade do aço.

Fonte: Adaptado de Harada (2004)

2.5 Ciclo de Moldagem por Injeção

Garcia (2009) define a moldagem por injeção como um processo cíclico, O ciclo de moldagem, é o conjunto de operações necessários a produção de uma moldagem, este ciclo pode ser definido pela Figura 9.

Figura 9 - Etapas do ciclo de injeção



Fonte: Almeida e Souza (2015)

De acordo com Almeida e Souza, o ciclo de injeção é definido nos passos abaixo:

1. Fechamento do molde: operação onde inicia-se o ciclo, quando a parte móvel e fixa são encontradas uma a outra.
2. Injeção: ocorre com o avanço linear do fuso que força o material no estado fundido é injetado na cavidade do molde.
3. Recalque: caso haja material a frente da ponta da rosca para ser pressurizado e transmitir pressão para o interior do molde.
4. Dosagem: essa fase consiste no giro da rosca para receber material para que ser injetado no próximo ciclo.
5. Resfriamento: o material que já preencheu toda a cavidade do molde e estase solidificando, é resfriado da parede externa para a interna, até a temperatura em que possa ser extraído.

6. Abertura: a parte móvel do molde desloca-se para que se já possível retirar a peça moldada.
7. Extração da peça: é o período em que ocorre o fim da extração e o início do novo ciclo.

2.6 Máquina Injetora

De maneira sucinta, Miranda (2017), define a máquina injetora com o seguinte sistema que a capacita a amolecer, fundir, homogeneizar e injetar o polímero fundido em um molde, uma rosca sem fim injeta o material no molde.

Zoto (2020), caracteriza que o material é injetado no molde em alta pressão e velocidade controlada.

De acordo com Morassi (2013), a máquina de injeção pode ser dividida em unidade de injeção e unidade de fechamento, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Máquina de injeção de plásticos



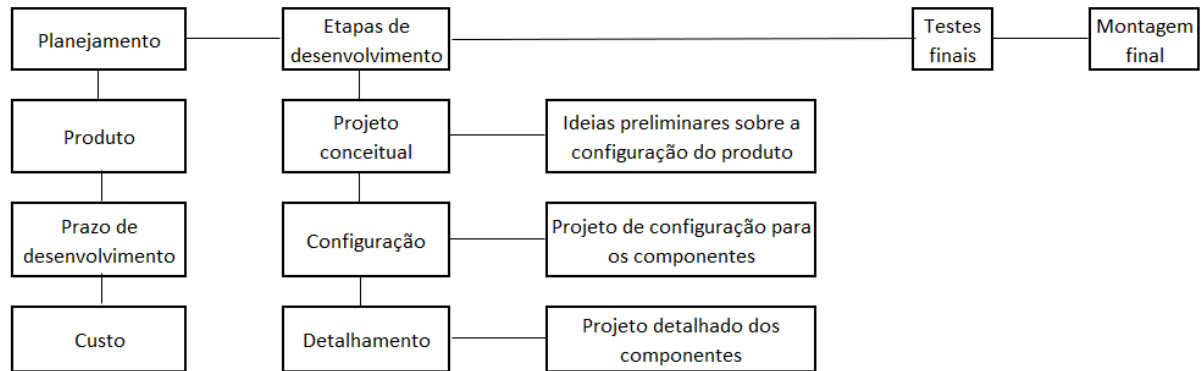
Fonte: Adaptado de Interplast (2023)

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando a metodologia de Baxter (2000), para definir as etapas do projeto do produto.

O produto a ser projetado será um molde de injeção de termoplástico, que será usado para fabricar um dispositivo DAP.

Figura 11-Fluxograma de desenvolvimento do projeto



Fonte: O autor

3.1 Produto a ser moldado

O produto a ser injetado no molde, será uma peça de aproximadamente 0,239 kg em material Polipropileno (PP), com área projetada de 34,4 cm².

Por conta de a peça ser vinculada a um projeto de pesquisa e desenvolvimento, a geometria da peça é confidencial.

3.2 Injetora

A máquina injetora a ser utilizada será Yizumi UN260A5 que pode ser observada na Figura 12, As especificações técnicas da máquina são, volume de injeção 749cm³, pressão de injeção 169,4MPa, Força de fechamento 2600kN, força de extração 77kN, quantidade de extratores 13 unidades, capacidade de injeção 891,7g, vazão de injeção 205,5g/s, ciclo em vazio 2,8s, Vazão de injeção 7,9 cm³/s.

Figura 12 - Máquina injetora a ser utilizada



Fonte: Alltech (2023)

3.3 Fases da construção do molde

A partir de Almeida e Souza, pode-se utilizar algumas etapas para a construção de um molde, com o objetivo de ordenar as tarefas e contribuir para a construção do molde.

Fase 1: Estudo do produto: Requerimentos da peça, formato, dimensão, tolerâncias, limites, aplicação, matéria-prima.

Fase 2: Definição da cavidade do molde: Definição do número de cavidades, sentido de extração e ângulos de saída.

Fase 3: Definição do sistema de alimentação: Dimensionamento de acordo com a matéria-prima utilizada, e o *layout* da cavidade. Ponto de injeção e distância de fluxo.

Fase 4: Definição do sistema de extração: Localização e quantificação necessária para extração do produto. Forma e tamanho dos pinos/placas de extração. Definição do curso de extração e tipo de retorno.

Fase 5: Estudo do sistema de refrigeração: *Layout* do sistema de refrigeração, dimensionamento dos canais (diâmetro, distância da cavidade, comprimento, circuito do fluido e distância entre canais).

Fase 6: Desenho da cavidade do molde: Tolerâncias dimensionais do produto, saída de gases.

Fase 7: Compatibilização com a máquina injetora: Dimensões das placas porta-molde, distâncias entre colunas da máquina e cursos de abertura e fechamento máximos. Anel de centragem. Sistema de extração. Capacidade de injeção, capacidade de plastificação e força de fechamento.

Fase 8: Detalhamento e lista de materiais: Detalhamento dos componentes do molde.

Fase 9: Fabricação do molde: Usinagem, montagem, tratamento térmico.

Fase 10: *Try-out* do molde: Teste do molde em máquina sem acabamento na cavidade.

Fase 11: Fabricação do molde: Acabamento na cavidade do molde.

Fase 12: Entrega do molde: Entrega do molde montado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características para especificação da máquina de injeção

Os catálogos de máquinas injetoras apresentam diversas informações, essas informações devem ser levadas em consideração para que o molde seja definido de acordo com as especificações da injetora, para que as peças injetadas tenham capacidade de serem fabricadas.

Características como capacidade de injeção, capacidade de plastificação, força de fechamento, pressão máxima de injeção, distância entre colunas, curso de abertura da placa móvel, são importantes para determinar se o molde é compatível com a injetora.

4.1.1 Força de Fechamento

Deve-se considerar a máxima força necessária para que a máquina mantenha o molde fechado no momento da injeção do material. O cálculo para a força de fechamento considera a área projetada, pressão na cavidade e um fator de segurança.

Para calcular a força de fechamento, usa-se a equação 1.

$$Ff = A \cdot P \cdot s \quad (1)$$

Ff = força de fechamento (kgf)

A = área projetada da peça (cm²)

P = pressão na cavidade (kgf/cm² ou bar)

s = fator de segurança (1,1 – 1,4).

Considerando, que $A = 34,4 \text{ cm}^2$, $P = 863 \text{ kgf/cm}^2$, calcula-se

$$Ff = 34,4 \cdot 863 \cdot 1,4$$

$$Ff = 41.595,8 \text{ kgf}$$

4.1.2 Capacidade de injeção

A capacidade de injeção será o máximo volume que a máquina pode injetar, o volume de material que está na ponta do cilindro de aquecimento, a capacidade de injeção a ser considerada deve estar entre 30% e 80% da capacidade máxima da máquina injetora.

A capacidade máxima de injeção da máquina é 713,36g, portanto a peça deve estar entre estes valores.

4.1.3 Capacidade de plastificação

Quantidade de material que a máquina pode elevar a temperatura em uma hora, considera-se também um fator de segurança de 80% da capacidade nominal.

A capacidade de plastificação pode ser calculada a partir do uso da equação 3.

$$Cp_b = Cp_{ps} \cdot \frac{q_{ps}}{q_b} \quad (3)$$

Cp_b = capacidade de plastificação (kg/h)

q = quantidade de calor necessário para plastificar o polímero (kcal/kg)

Considerando, $q_{ps} = 120$ kcal/kg para PS e $q_{ps} = 250$ kcal/kg para PP e $Cp_{ps} = 738$ kg/h.

$$Cp_b = 738 \cdot \frac{120}{250}$$

$$Cp_b = 354,2 \text{ kg/h}$$

A partir da Figura 2, pode-se obter os dados de características das resinas termoplásticas.

4.2 Determinação do número de cavidades

O número de cavidades do molde deve estar relacionado com as capacidades máximas da máquina. Os critérios abordados na definição do número de cavidades são: Capacidade de injeção, capacidade de injeção, força de fechamento, e distâncias máximas e mínimas em relação a placa da máquina.

4.2.1 Número de cavidade em relação a capacidade de injeção

O número de cavidades em relação a capacidade de injeção pode ser calculado a partir do uso da equação 3.

$$NC = \frac{C_b \cdot S}{P_p} \quad (3)$$

NC = número de cavidades

C_b = capacidade de injeção

S = fator de segurança – 0,8

P_p = peso da peça

Considerando $P_p = 239$ g, $C_b = 713,36$ g

$$NC = \frac{713,36 \cdot 0,8}{239}$$

$$NC = 2,38$$

Com o cálculo do número de cavidades em relação a capacidade de injeção, considera-se até 2 cavidades.

4.2.2 Número de cavidade em relação a força de fechamento

O número de cavidades em relação a força de fechamento pode ser calculado a partir do uso da equação 4.

$$NC = \frac{Ap_{m\acute{a}x}}{Ap_{pe\grave{c}a}} \quad (4)$$

NC = número de cavidades

$Ap_{pe\grave{c}a}$ = área projetada para uma cavidade

$Ap_{m\acute{a}x}$ = área projetada máxima permitida

Considerando, $Ap_{pe\grave{c}a} = 34,4$ mm²

$$Ap_{m\acute{a}x} = \frac{F_f \cdot S}{P_c} \quad (5)$$

F_f = força de fechamento (kgf)

S = fator de segurança

P_c = pressão na cavidade

Calculando $Ap_{m\acute{a}x}$.

$$Ap_{m\acute{a}x} = \frac{265126,2 \cdot 0,7}{863}$$

$$Ap_{m\acute{a}x} = 215 \text{ cm}^2$$

Utilizando a equação 4, para calcular o número de cavidades em relação a força de fechamento.

$$NC = \frac{215}{34,4}$$

$$NC = 6,25$$

Desta forma pode-se considerar o número de cavidades máxima em relação a força de fechamento igual a seis (6) cavidades.

4.2.3 Número de cavidade em relação a capacidade de plastificação

O número de cavidades em relação a capacidade de plastificação pode ser calculado a partir do uso da equação 6.

$$NC = \frac{Cp_b \cdot S \cdot Tc}{3600 \cdot Pp} \quad (6)$$

NC = número de cavidade em relação a capacidade de plastificação

Cp_b = capacidade de plastificação convertida (kg/h)

S = fator de segurança – 0,8

Tc = tempo de ciclo estimado

Pp = peso da peça (kg)

$$NC = \frac{354,2 * 0,8 * 44,6}{3600 * 0,239}$$

$$NC = 14,6$$

Portanto, o número máximo de cavidades em relação a capacidade de plastificação pode ser quatorze (14).

4.2.4 Determinação do tempo de ciclo estimado

O tempo de ciclo pode ser estimado a partir do uso da equação 8.

$$T_c = t_{resf} + t_{inj} + t_{f,a,e} \text{ ou } T_c = t_{plast} + t_{inj} + t_{f,a,e} \quad (8)$$

T_c = tempo total de ciclo (s)

t_{resf} = tempo de resfriamento (s)

t_{inj} = tempo de injeção (s)

$t_{f,a,c}$ = tempo de fechamento, abertura e extração (s)

t_{plast} = tempo de plastificação (s)

Considerando $t_{f,a,c} = 2,8$ s pode-se calcular.

$$T_c = 0,8 + 41 + 2,8$$

$$T_c = 44,6 \text{ s}$$

O tempo de injeção pode ser estimado a partir do uso da equação 9.

$$t_{inj} = \frac{Pm}{\gamma \cdot V_{inj} \cdot 0,8} \quad (9)$$

Pm = peso de moldagem (g)

γ = peso específico do material (g/cm³)

V_{inj} = vazão de injeção (cm³/s)

Considerando $Pm = 239$ g, $\gamma = 0,9$ g/cm³ $V_{inj} = 7,9$ cm³/s.

$$t_{inj} = \frac{239}{0,9 * 7,9 * 0,8}$$

$$t_{inj} = 41 \text{ s}$$

O tempo de plastificação pode ser estimado a partir do uso da equação 10.

$$t_{plast} = \frac{Pm}{c_{pb} \cdot 0,8} \quad (10)$$

$$t_{plast} = \frac{239}{354,2 * 0,8}$$

$$t_{plast} = 0,8 \text{ s}$$

4.3 Materiais utilizados

Os materiais utilizados estão descritos na Tabela 4, onde estão os dados de peso líquido e bruto de cada peça, valor da matéria prima e a quantidade de peças na composição do molde, o custo total de matéria prima por peça.

Tabela 4 - Materiais utilizados

Número da peça	Descrição	Matéria Prima	Peso líquido peça (kg)	Valor MP	Peso bruto peça (kg)	QTD. Peças	Custo total MP
1	Cavidade 2	AISI P20	75,273	R\$ 16,00	91,681	1	R\$ 1.466,90
2	Cavidade 3	AISI P20	23,574	R\$ 16,00	30,56	1	R\$ 488,96
3	Macho	AISI P20	26,337	R\$ 16,00	106,962	1	R\$ 1.711,39
4	Placa Superior	ABNT 1020	29,544	R\$ 9,00	35,718	1	R\$ 321,46
5	Placa Suporte	ABNT 1020	24,842	R\$ 9,00	30,56	1	R\$ 275,04
6	Espaçador	ABNT 1020	3,79	R\$ 9,00	4,8	2	R\$ 43,20
7	Placa Impulsão	ABNT 1020	4,694	R\$ 9,00	6,392	1	R\$ 57,53
8	Placa Inferior	ABNT 1020	29,657	R\$ 9,00	36,553	1	R\$ 328,98
9	Anel De Centragem	ABNT 1020	0,503	R\$ 9,00	0,8	1	R\$ 7,20
10	Bucha De Injeção	ABNT 3310	0,217	R\$ 16,00	0,417	1	R\$ 6,67
11	Coluna Guia	ABNT 3310	0,687	R\$ 16,00	1,523	4	R\$ 24,37
12	Bucha Guia	ABNT 3310	0,123	R\$ 16,00	0,414	4	R\$ 6,62
13	Pino Extrator	ABNT 3310	0,08	R\$ 16,00	0,311	2	R\$ 4,98
14	Placa Extratora	ABNT 1020	5,929	R\$ 9,00	7,99	1	R\$ 71,91
15	Coluna Guia Extratora	ABNT 3310	0,374	R\$ 16,00	1,017	1	R\$ 16,27

Fonte: Autor, 2023

Com a confecção da Tabela 4, foi possível calcular o custo, e a quantidade de matéria prima de cada um dos componentes do molde. Desta forma resultando em peso bruto do molde em 355,698 kg e peso líquido de 231,924 kg, com o custo total de matéria prima de R\$ 4.831,48.

4.4 Tratamento térmico

Os componentes que necessitam de tratamento térmico de cementação e tempera, estão na Tabela 5, onde está descrito o componente, a quantidade de tratamento térmico e o custo por peça. Considerando o custo de cementação de R\$36,00/kg e tempera de R\$22,00/kg.

Tabela 5 - Tratamento térmico dos componentes

Número	Descrição	Tratamento Térmico	QTD. TT/Peça	Custo Cementação	Custo Tempera	Custo Unid.	Custo Total
10	Bucha De Injeção	CEMENTADO E TEMPERADO	0,217	7,81	4,77	12,59	12,59
11	Coluna Guia	CEMENTADO E TEMPERADO	0,687	24,73	15,11	39,85	159,38
12	Bucha Guia	CEMENTADO E TEMPERADO	0,123	4,43	2,71	7,13	28,54
13	Pino Extrator	CEMENTADO E TEMPERADO	0,08	2,88	1,76	4,64	9,28
15	Coluna Guia Extratora	CEMENTADO E TEMPERADO	0,374	13,46	8,23	21,69	21,69

Fonte: Autor, 2023

A confecção da Tabela 5, permite calcular o valor do custo de tratamento térmico dos componentes que tem necessidade, resultando assim no custo de R\$ 231,48 com tratamento térmico.

4.5 Fabricação

A fabricação do molde de injeção será por meio de usinagem, o custo de fabricação de cada um dos componentes do molde e custo total de usinagem do molde será de R\$ 19.000,00

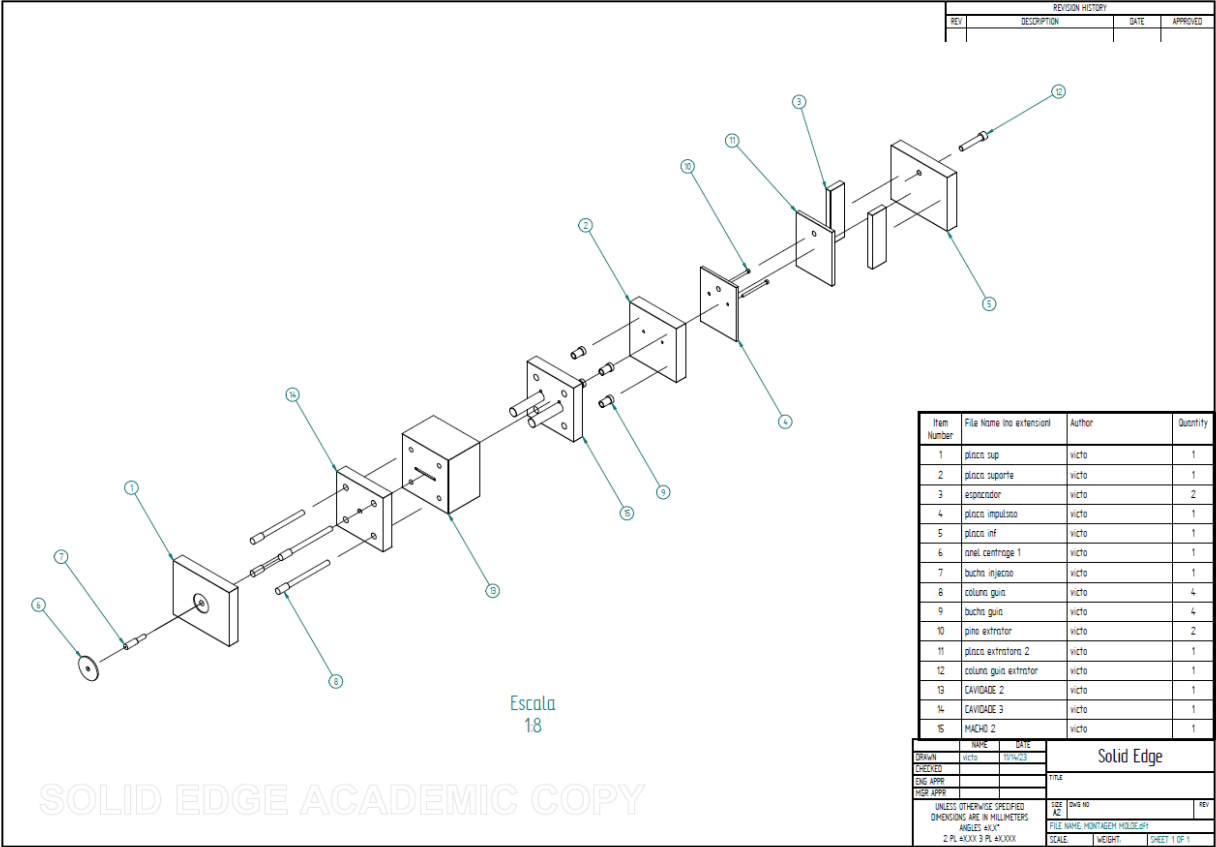
Desta forma o custo total de fabricação do molde, considerando a soma dos custos de matéria prima, tratamentos térmicos e usinagem, totalizando R\$ 24.062,65. Levando em conta uma demanda de produção de 10.000 peças, pode ser considerado o custo do molde por peça

de R\$ 2,40. E o tempo de fabricação das peças com o tempo de ciclo de 44,6 segundos, portanto serão 223.000 segundos ou seja 61,94 horas.

4.6 Modelo do molde

O molde de injeção, Figura 14, desenvolvido no trabalho, a imagem destaca o molde na vista explodida da montagem dos componentes que resultam no molde, os desenhos das peças seguem nos anexos do trabalho.

Figura 13 - Montagem do molde



Fonte: Autor, 2023

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho, teve como objetivo a exploração das características construtivas do molde de injeção, para que dessa forma seja possível projetar um molde de injeção para a fabricação do produto DAP dentro das especificações.

Pode-se calcular a partir dos dados iniciais da peça a ser injetada, e das especificações da máquina injetora, que é possível construir um molde com até duas (2) cavidades para que possa ser respeitado a capacidade de injeção da máquina.

Desta forma, o molde foi desenvolvido com duas cavidades, o peso líquido do molde 231,924 kg, para o cálculo de custo foi considerado o custo com matéria prima chegando ao valor de R\$ 4.831,48, o custo para os componentes que necessitam de tratamento térmico de R\$ 231,48 e o custo para usinar todos os componentes do molde de R\$ 19.000,00, resultando no custo total de R\$ 24.062,65.

Portanto, conclui-se que o molde foi desenvolvido dentro das especificações de matéria prima, tratamento térmico e capacidades da máquina injetora. Sendo possível fabricar duas peças no molde, onde o custo e o tempo de fabricação do componente que será injetado serão menores do que quando injetado apenas uma peça.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Gustavo Spina Gaudêncio de; SOUZA, Wander Burielo de. **Moldes e Matrizes - Características, Desenvolvimento e Funcionalidades para Transformação de Plásticos**. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536520490. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520490/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: Guia prático para o desing de novos produtos. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2000. ISBN 978-85-212-0265-5.

CERCAL, Datini Luiza; DALL'AGNOL, Luis Henrique; DESTRO, Vinícius; FERNANDES, Leonardo; GRAZIANI, Alvaro Paz. Desenvolvimento de molde de injeção com duplicação de

cavidades: estudo de caso de um fabricante de componentes elétricos em Jaraguá do Sul. **Unisociesc**, [s. l.], 1 dez. 2022.

GARCIA, Mauro César Rabuski. **Fundamentos de projeto de ferramentas**: Moldes de injeção para termoplásticos. [S. l.: s. n.], 2009.

HARADA, Júlio. **Moldes para injeção de termoplásticos**: Projetos e princípios básicos. [S. l.: s. n.], 2004.

MÁQUINA de injeção totalmente elétrica IntElect (ficha de produto). [S. l.], 20 maio 2023. Disponível em: <https://www.interplast.pt/Artigos/375065-Maquina-de-injecao-totalmente-eletrica-IntElect-%28ficha-de-produto%29.html>. Acesso em: 03 nov. 2023.

MIRANDA, Diego Alves de. **Estudo experimental e de simulação computacional para análise e melhoria da eficiência de um molde de injeção de termoplásticos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade da Região de Joinville, Joinville/SC, 2017.

MORASSI, Odair José. - **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. São Paulo, SP: Conselho Regional de Química IV Região (SP), 2013. Disponível em: http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf Acesso: Maio 2023.

POLIMOLD. **Catálogos Polimold**. [S. l.], n/d. Disponível em: <https://www.polimold.com.br/catalogos-polimold/>. Acesso em: 13 jun. 2023.

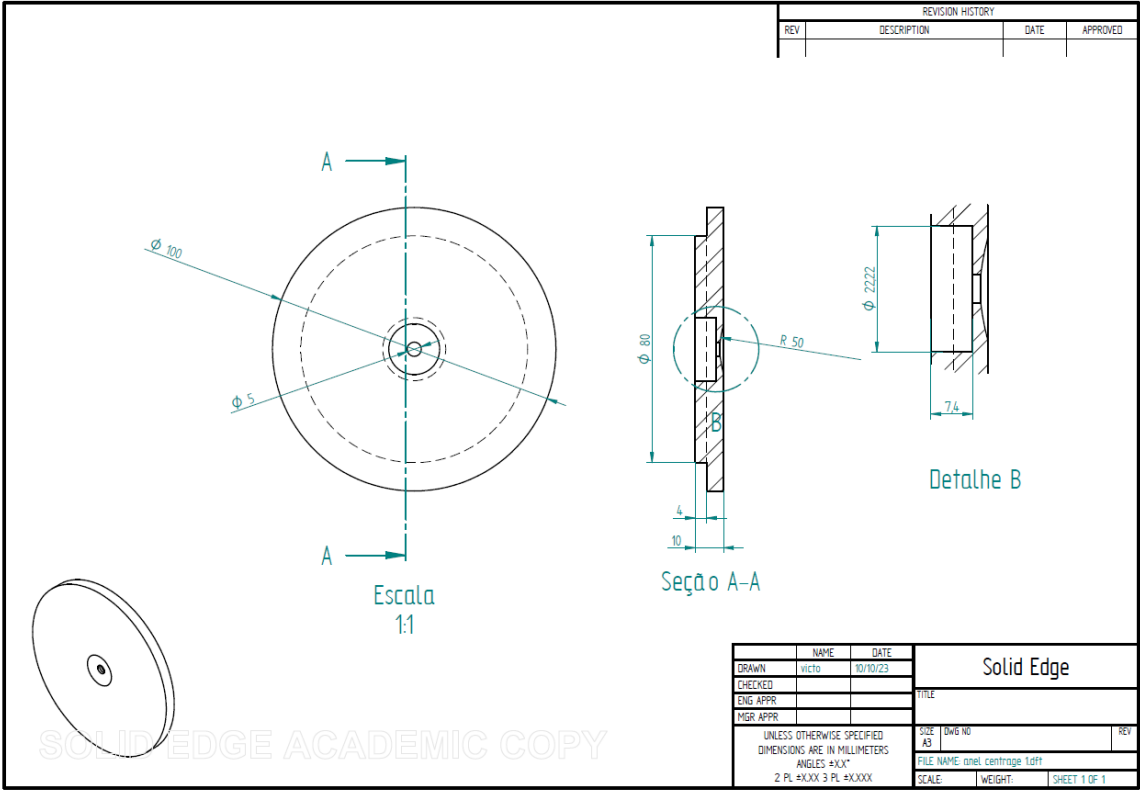
SACCHELLI, Carlos Maurício. **Sistematização do processo de desenvolvimento integrado de moldes de injeção de termoplásticos**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SOUZA, Wander Burielo de; ALMEIDA, Gustavo Spina Gaudêncio de. **Processamento de Polímeros por Extrusão e Injeção - Conceitos, Equipamentos e Aplicações**. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536520513. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520513/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

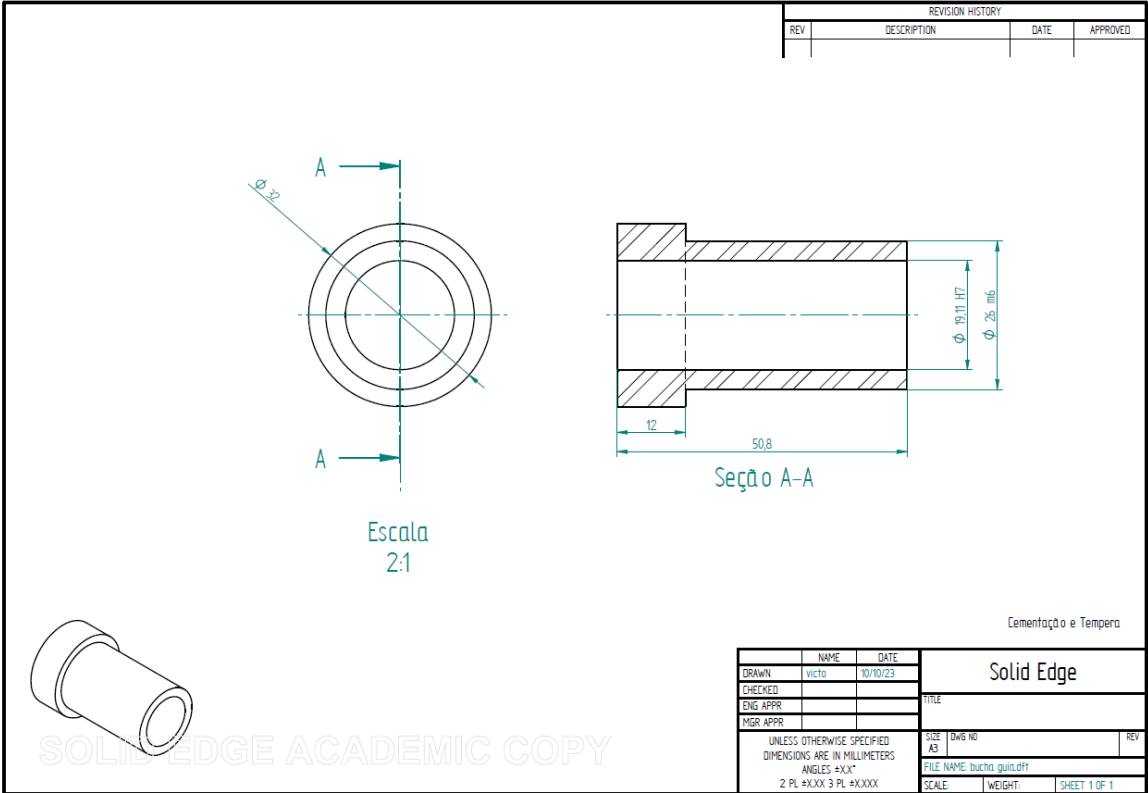
ZOTO, Jacson Fabiano. **Especificação técnica aplicada as etapas de desenvolvimento de projeto de moldes de injeção de termoplásticos**. 2020. Trabalho de conclusão do curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

ANEXOS

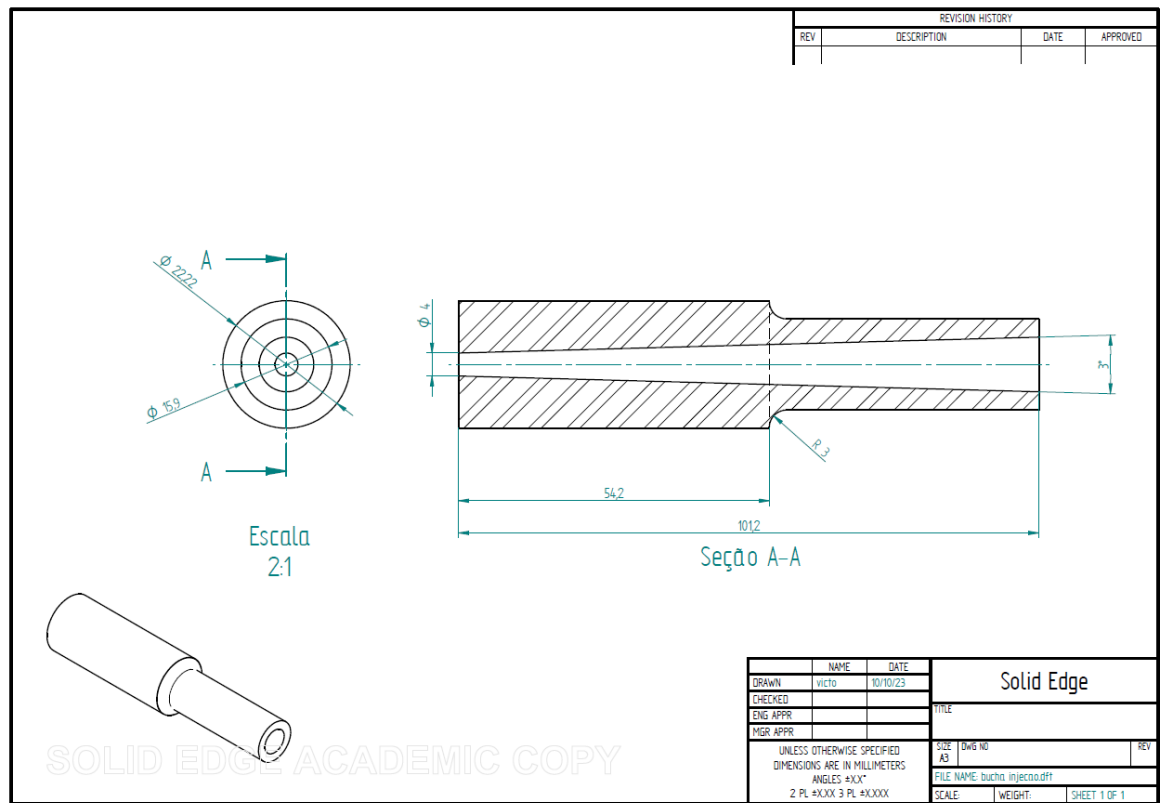
Anexo 1 - Desenho detalhado do anel de centragem



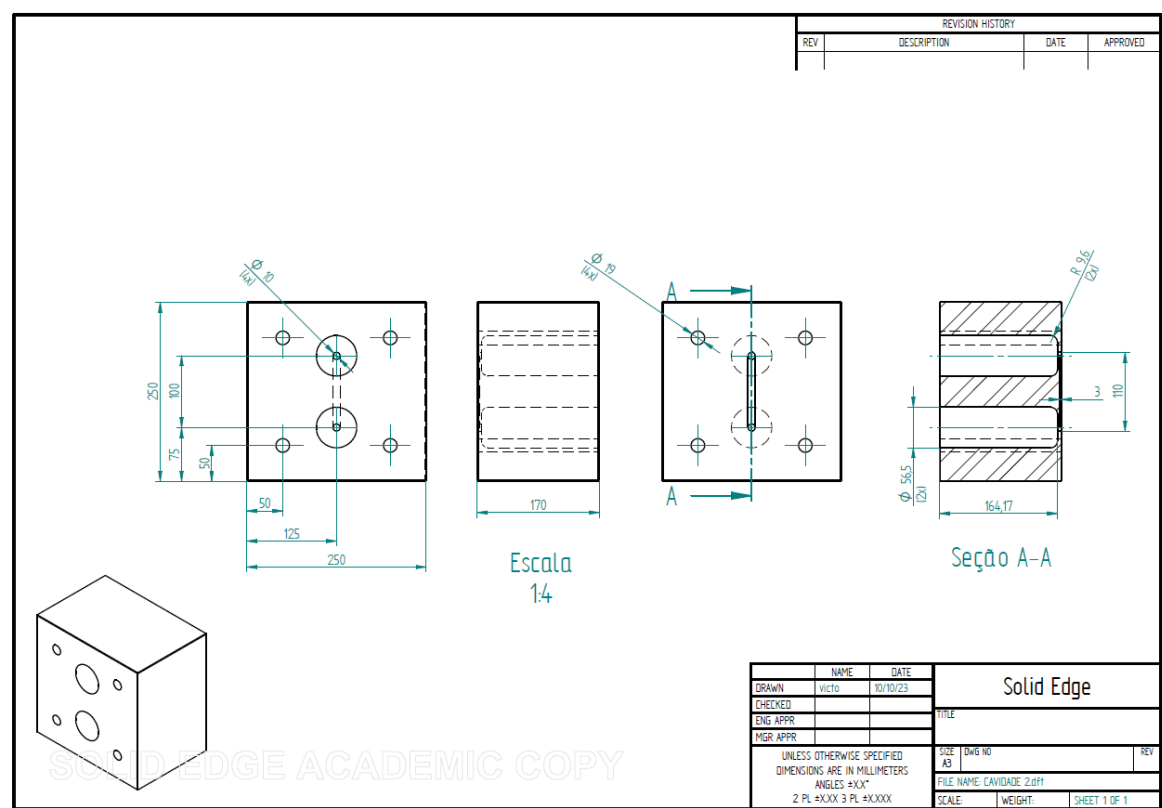
Anexo 2 - Desenho detalhado bucha guia



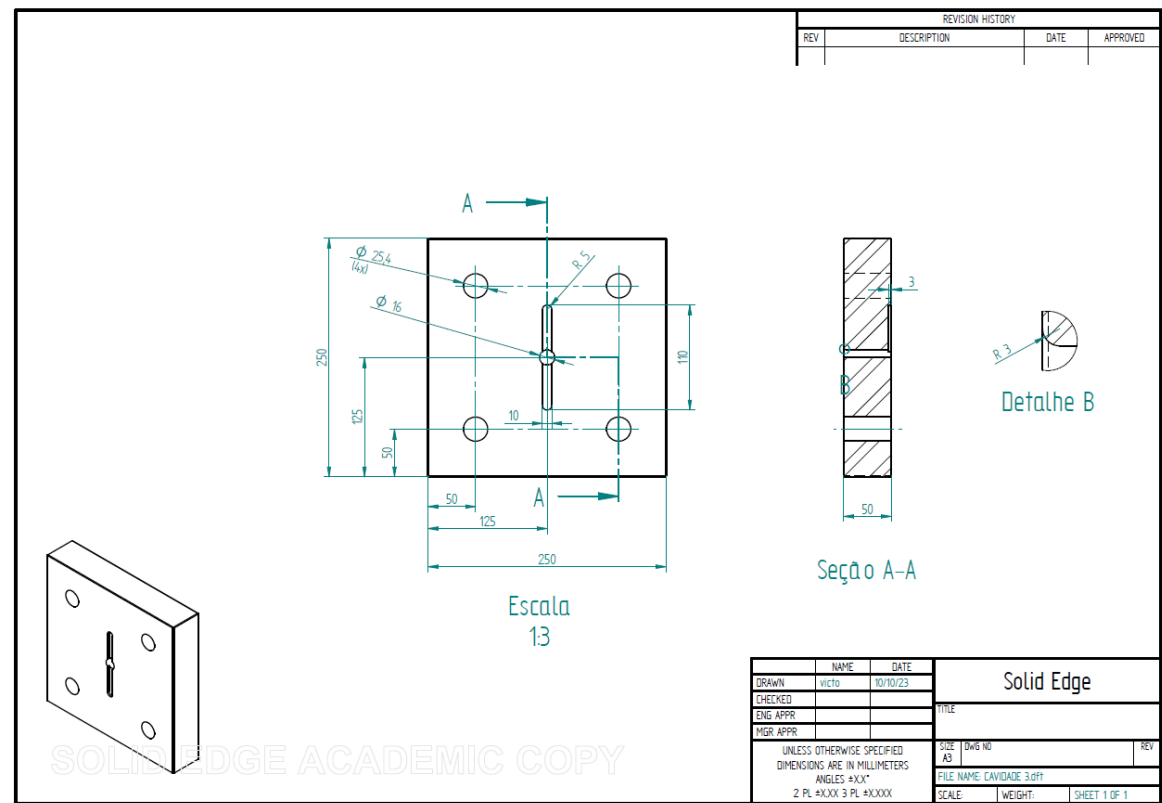
Anexo 3 - Desenho detalhado bucha de injeção



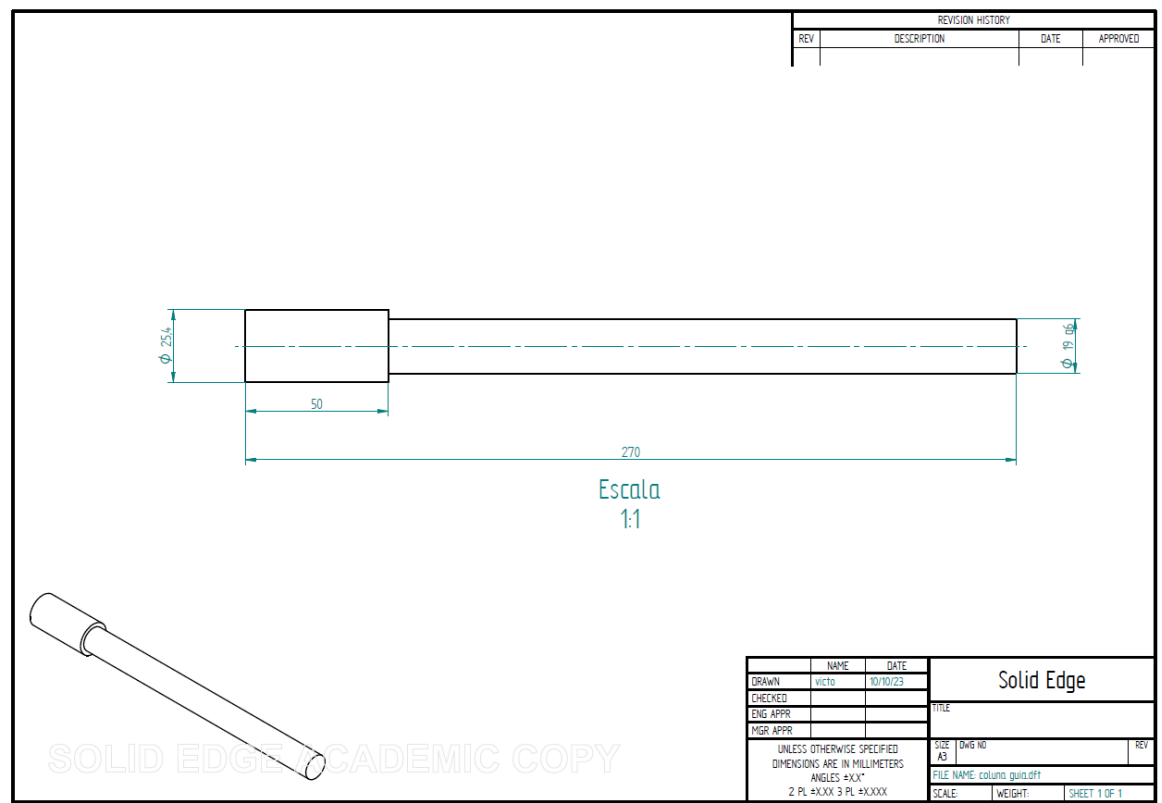
Anexo 4 - Desenho detalhado cavidade 2



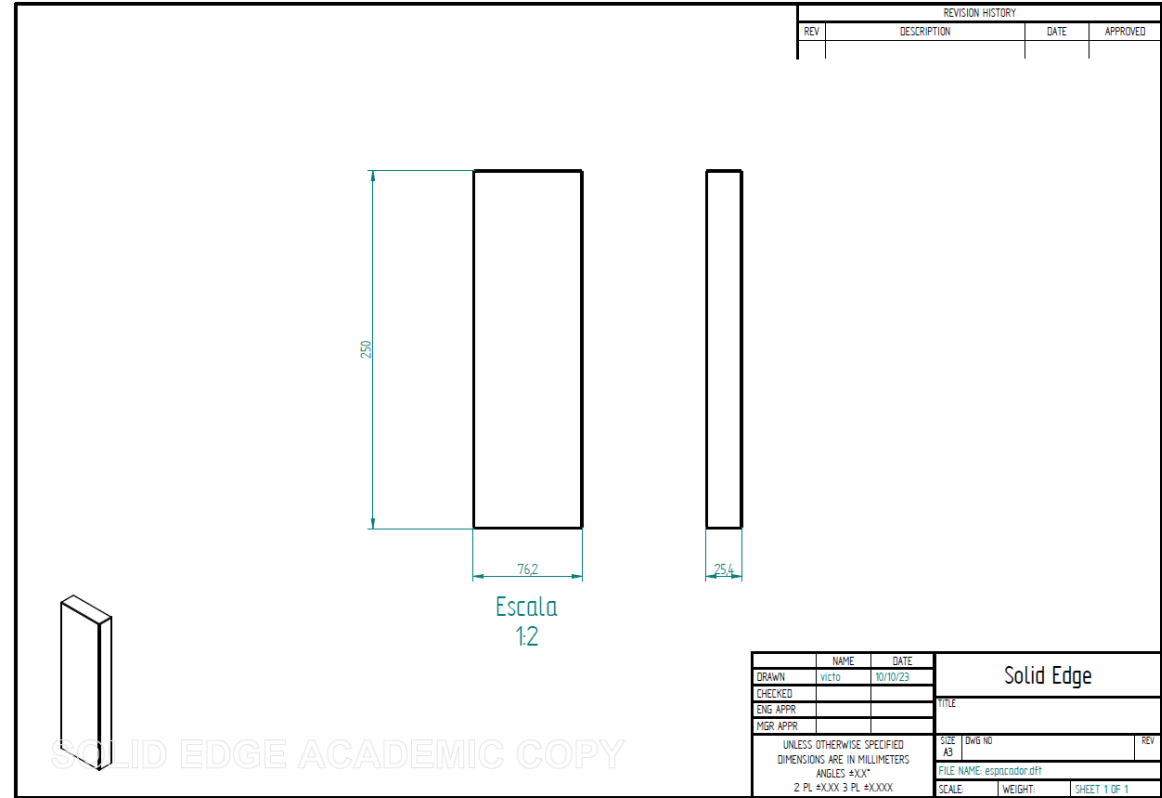
Anexo 5 - Desenho detalhado cavidade 3



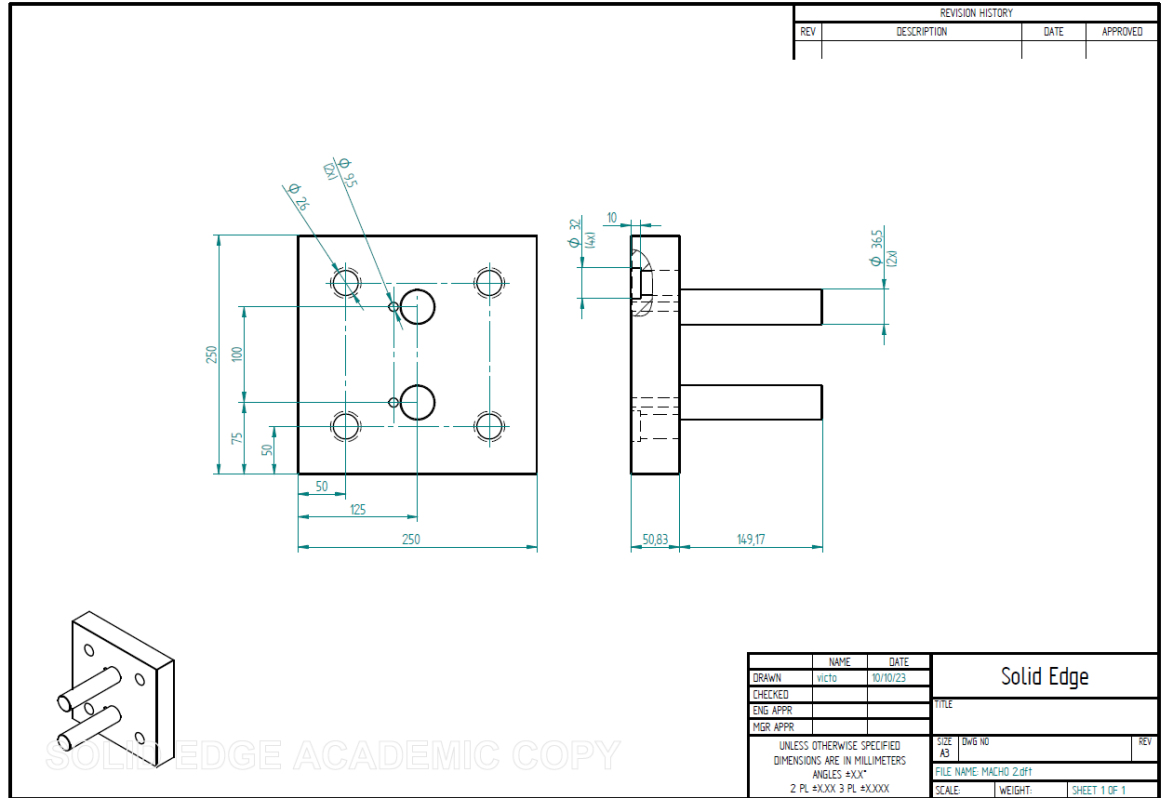
Anexo 6 - Desenho detalhado coluna guia



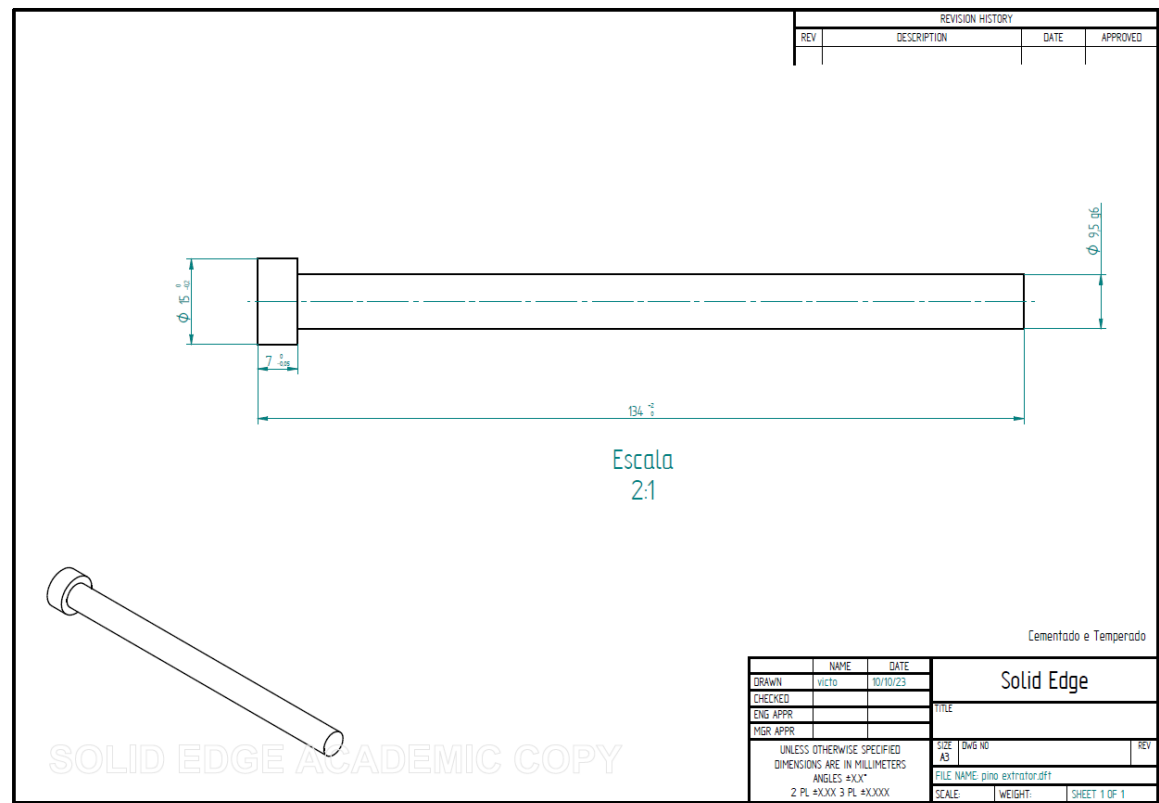
Anexo 7 - Desenho detalhado espaçador



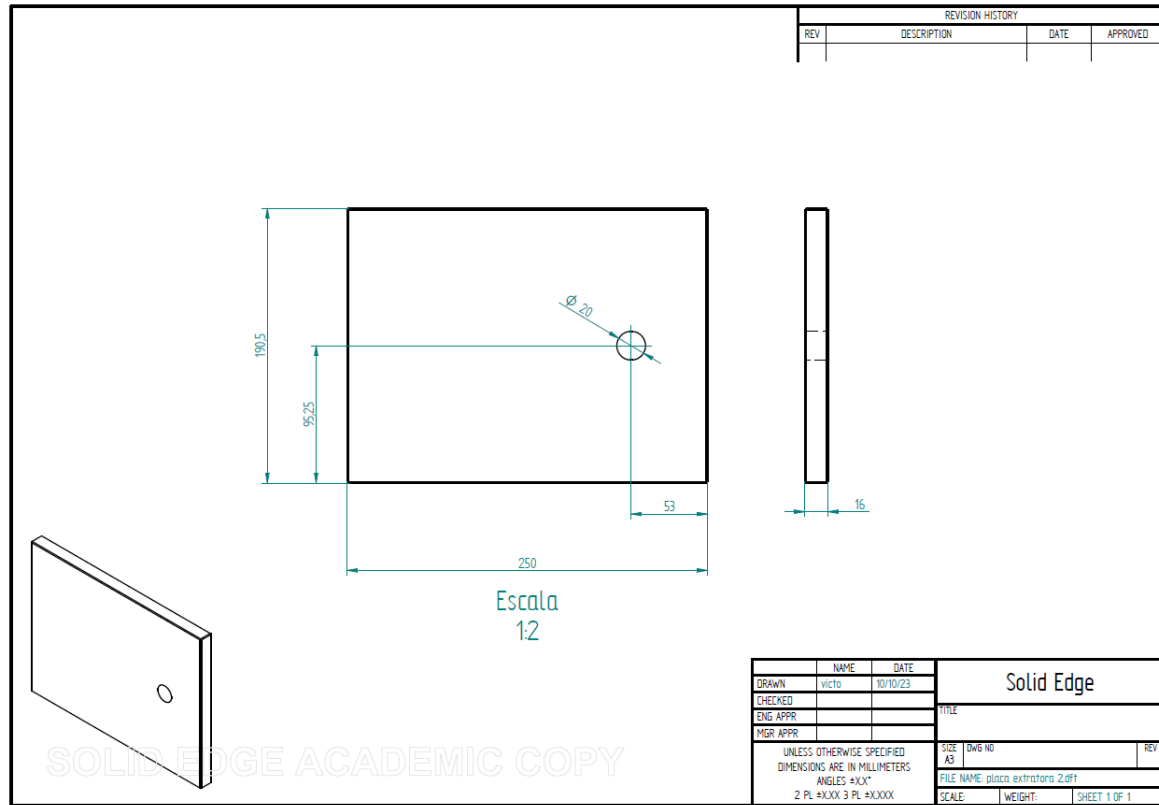
Anexo 8 - Desenho detalhado macho



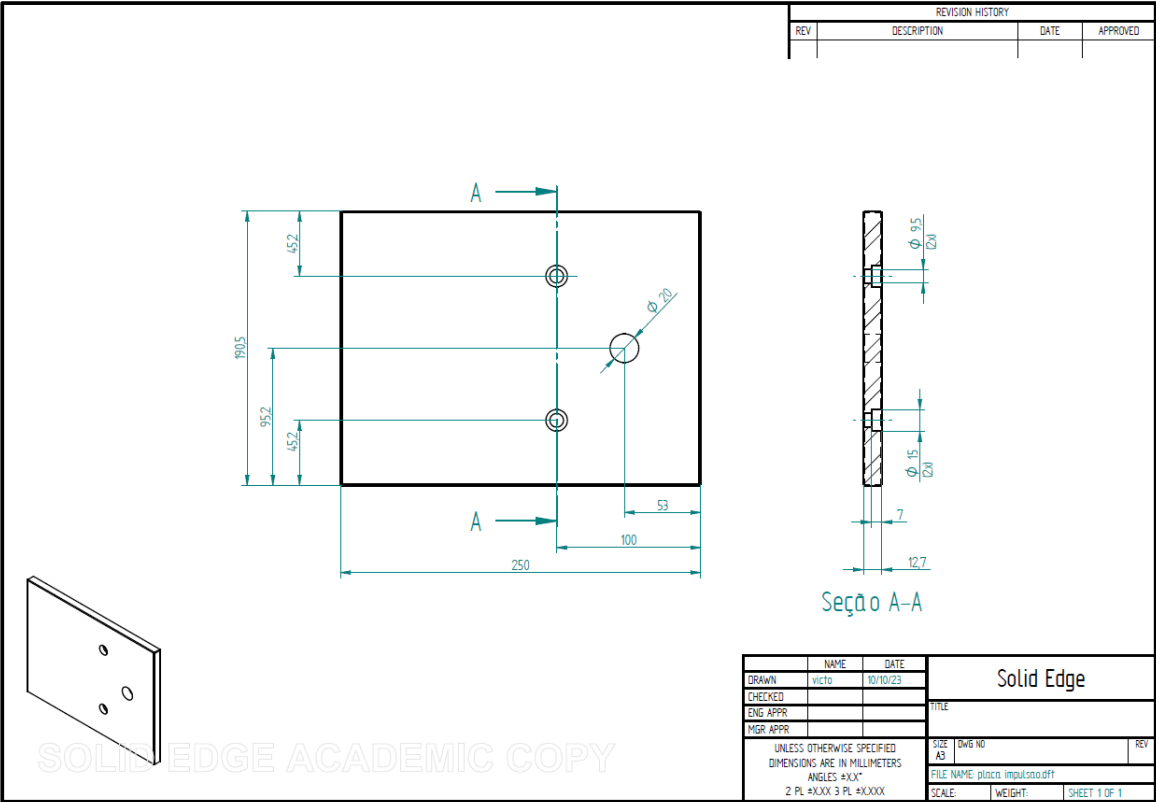
Anexo 9 - Desenho detalhado pino extrator



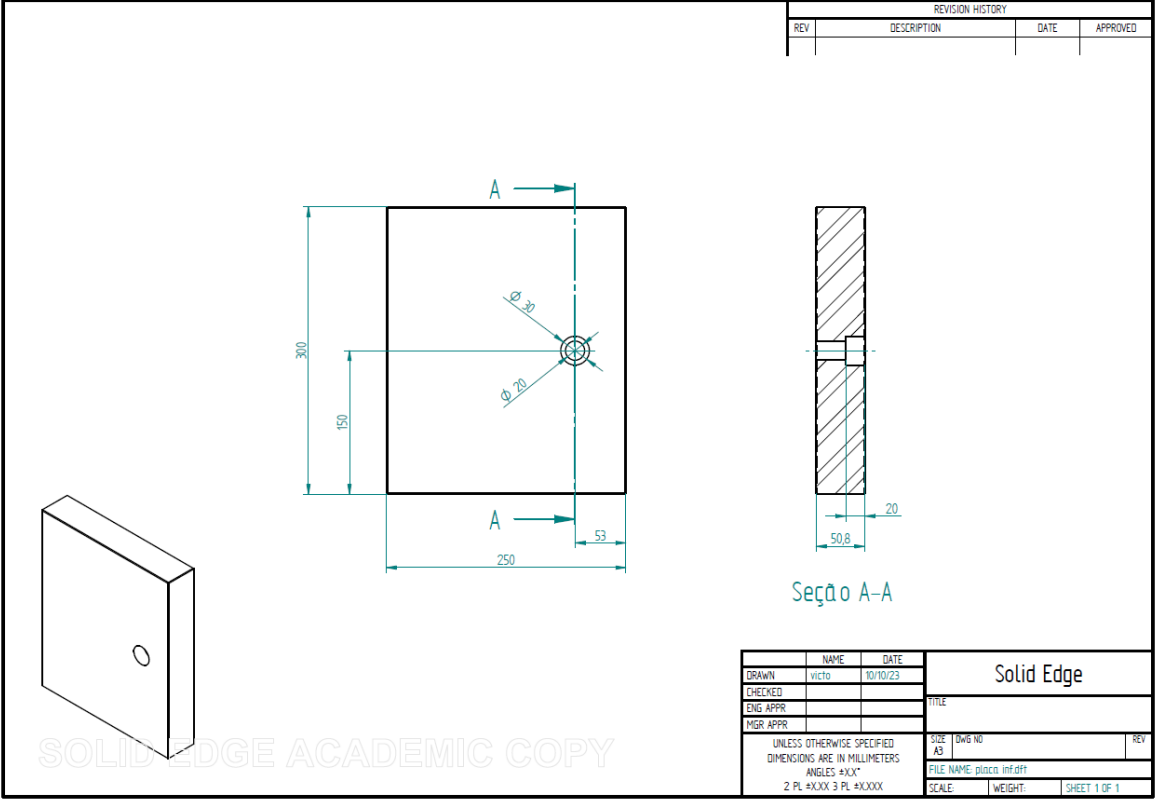
Anexo 10 - Desenho detalhado placa extratora



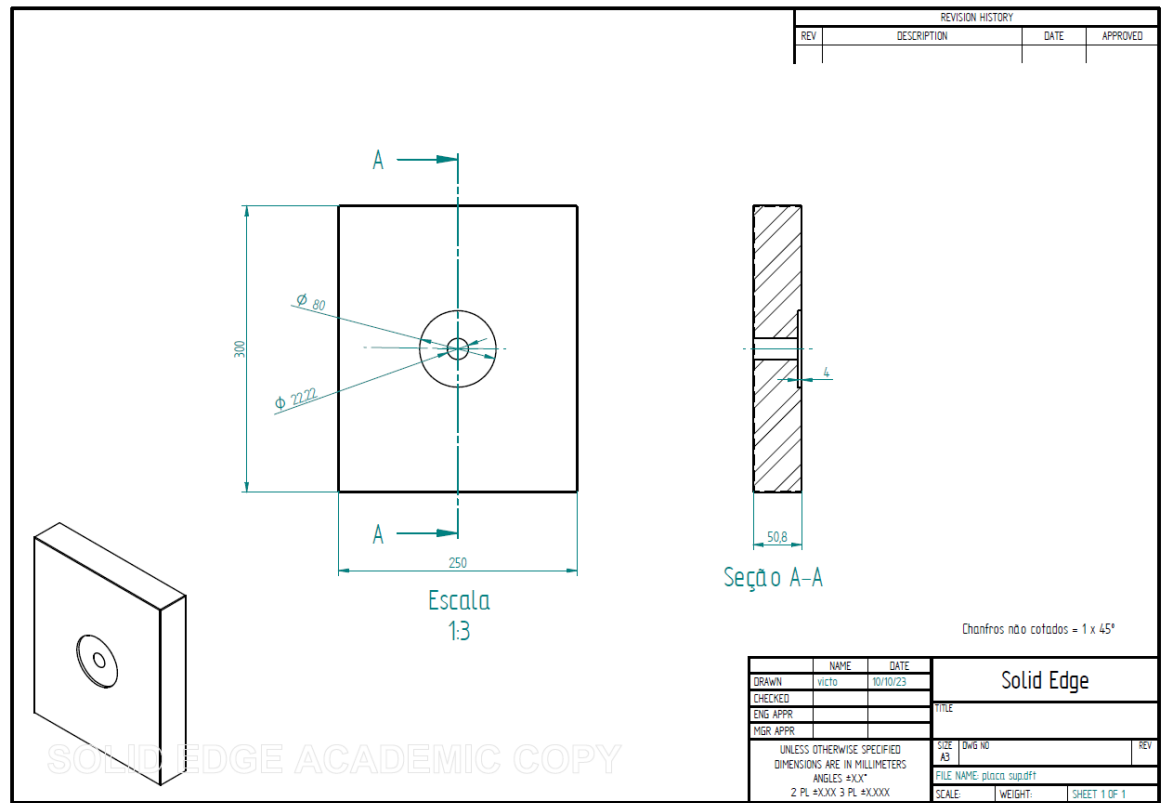
Anexo 11 - Desenho detalhado placa de impulsão



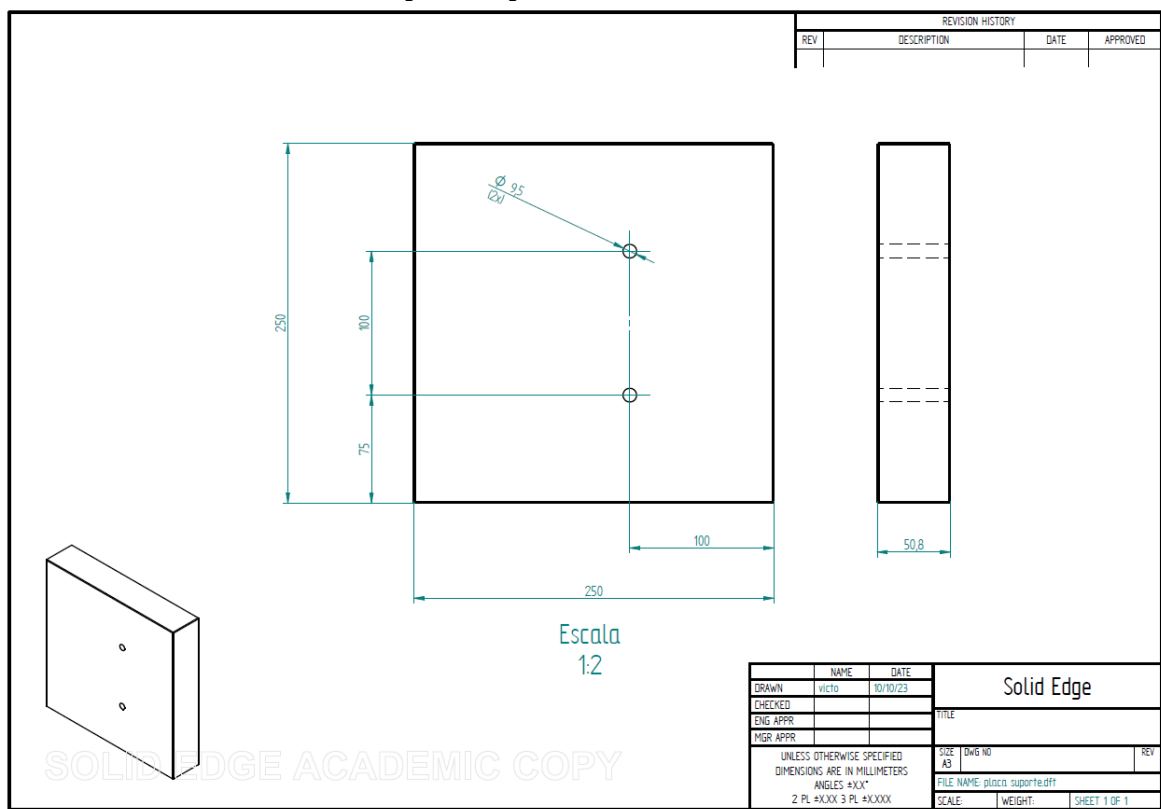
Anexo 12 - Desenho detalhado placa inferior



Anexo 13 - Desenho detalhado placa superior



Anexo 14 - Desenho detalhado placa suporte



Anexo 15 - Desenho detalhado coluna guia extrator

