

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECANICA

PEDRO ARTHUR DE AZEVEDO

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA INJETORA DE BANCADA PARA  
MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE PEQUENOS LOTES DE PRODUTOS  
TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO MOLDES FABRICADOS POR  
MANUFATURA ADITIVA**

Uberlândia - MG

2022

PEDRO ARTHUR DE AZEVEDO

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA INJETORA DE BANCADA PARA  
MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE PEQUENOS LOTES DE PRODUTOS  
TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO MOLDES FABRICADOS POR  
MANUFATURA ADITIVA**

Projeto de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Aeronáutica

Orientador: Prof. Dr. Leandro João da Silva

Uberlândia - MG

2022

PEDRO ARTHUR DE AZEVEDO

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA INJETORA DE BANCADA PARA  
MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE PEQUENOS LOTES DE PRODUTOS  
TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO MOLDES FABRICADOS POR  
MANUFATURA ADITIVA**

Projeto de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Aeronáutica

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Leandro João da Silva

---

Prof. Dr. Ruham Pablo Reis

---

Prof. MSc. Écio José Molinari

**Uberlândia, 11 de fevereiro de 2022.**

Dedico este trabalho aos meus pais, que me deram todo suporte necessário, e a todos que não acreditavam que eu concluiria esta jornada (inclusive eu).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador Leandro pela paciência e apoio nesta etapa final da minha caminhada acadêmica.

Agradeço aos amigos Paulo e Lara, por sempre ajudarem a diminuir o peso das provas e trabalhos, fosse fazendo piadas, compartilhando da angústia ou ajudando a buscar alguns dos baldes que chutamos ao longo desse trajeto.

Agradeço também, a secretária Leandra da Engenharia Aeronáutica pela paciência, apoio e sermões nos momentos que precisei (e que não foram poucos).

E por último, "Parabéns a todos os envolvidos"!

"A ciência é sobre saber,  
a Engenharia é sobre fazer."  
-Henry Petroski

AZEVEDO, PEDRO ARTHUR. **Projeto conceitual de uma Injetora de Bancada para Moldagem por Injeção de Pequenos Lotes de Produtos Termoplásticos Utilizando Moldes Fabricados por Manufatura Aditiva.** 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Aeronáutica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

## RESUMO

A moldagem por injeção (MPI) é o principal método de transformação de polímeros. O molde, juntamente com a injetora, tem a função de dar forma ao produto injetado. Moldes metálicos são ferramentais de elevado valor agregado e por isso demandam grandes lotes para cobrir o seu custo de fabricação. Uma solução já estabelecida para os lotes pequenos é a moldagem por injeção de baixa tiragem (*low-run injection molding*) utilizando um molde fabricado por manufatura aditiva (MA), popularmente conhecida como impressão 3D. Nesse caso, o desafio passa ser a disponibilidade e/ou o custo de uma máquina injetora. O desenvolvimento de uma injetora de bancada viabilizaria a MPI de baixa tiragem em laboratórios de pesquisa e empresas com necessidade de produção em pequena escala. Tal equipamento já existe no mercado, porém o custo é elevado. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo elaborar um projeto conceitual de uma injetora de bancada para moldagem por injeção de baixa tiragem de produtos termoplásticos utilizando moldes com matrizes intercambiáveis fabricadas por MA. Para atingir esse objetivo a estratégia foi fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema e um *benchmarking* das injetoras de bancada disponíveis no mercado. A partir disso, foram elaboradas questões fundamentais que nortearam o desenvolvimento do projeto conceitual, como tipo de estrutura, mecanismo de fechamento, sistema de extração, etc. Por fim, foi elaborado um esboço de um conceito de injetora de bancada em software CAD. A partir desse projeto conceitual e do esboço elaborado no presente trabalho, pretende-se projetar e fabricar uma injetora de bancada funcional em trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** Moldagem por injeção, pequenos lotes, moldes fabricados por impressão 3D, injetora de bancada, projeto conceitual.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	Delimitação do tema .....	10
1.2	Objetivo.....	10
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
2.1	Moldagem por injeção - MPI.....	11
2.1.1	Materiais e aplicações do MPI.....	12
2.1.2	Características e tipos de moldes .....	14
2.2	Moldagem por injeção de pequenos lotes .....	17
2.2.1	Fabricação de moldes por MA.....	17
2.3	Máquina injetora .....	20
2.3.1	Unidade de suporte do molde .....	21
2.3.2	Unidade de injeção.....	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1	Benchmarking das injetoras de bancada.....	25
3.2	Questões fundamentais para o projeto conceitual.....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
4.1	Tipo de injetora.....	28
4.2	Materiais injetáveis.....	28
4.3	Distância entre colunas e abertura das placas .....	29
4.4	Atuador de movimento e tipo de travamento das placas .....	30
4.5	Unidade de Injeção .....	32
4.5.1	Capacidade de injeção .....	32
4.5.2	Capacidade de plastificação.....	33
4.5.3	Pressão de injeção.....	34
4.5.4	Força de fechamento.....	35
4.6	Sistema de resfriamento do molde e extração do produto.....	36
4.7	Resumo do projeto conceitual.....	36
4.8	Esboço do conceito da injetora de bancada.....	37
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A moldagem por injeção (MPI) é o principal método de transformação de polímeros. A ampla utilização da MPI se deve ao baixo custo para grandes volumes de produção de peças idênticas (GVR, 2021). As principais restrições da MPI, geralmente, são econômicas, pois é necessário um alto investimento inicial para a fabricação do molde, tipicamente, metálico e disponibilidade de uma máquina injetora (TWI, 2021).

Quando o tamanho do lote não é suficientemente grande para cobrir os custos de fabricação de um molde ou há demanda por peças customizadas, a manufatura aditiva (MA), popularmente conhecida como impressão 3D, pode ser uma solução devido a sua capacidade de fabricar geometrias complexas sem a necessidade de ferramental específico. Não obstante essas vantagens, para produção de lotes na ordem de centenas de peças a MA pode ser proibitivamente onerosa (FORMLABS, 2021). Portanto, pode se dizer que existe uma lacuna entre a MA e a MPI, onde o volume de produção é grande para MA, mas pequeno para justificar a fabricação de um molde metálico para MPI.

Uma solução já estabelecida para esse desafio dos lotes pequenos é a moldagem por injeção de baixa tiragem (*low-run injection molding*) utilizando um molde fabricado por MA. (REDWOOD, 2021). Nesse caso, o desafio passa a ser o custo e/ou disponibilidade de máquina injetora. Esse desafio poderia ser mitigado por meio do desenvolvimento de uma injetora de bancada. Tal equipamento existe comercialmente, porém o custo ainda é muito elevado ou o grau de automação é muito baixo. O desenvolvimento de uma injetora de bancada viabilizaria a MPI de baixa tiragem em laboratórios de pesquisa e empresas com necessidade de produção em pequena escala. Portanto, é nesse contexto que o presente trabalho está inserido.

### 1.1 Delimitação do tema

O presente trabalho é focado em questões fundamentais acerca do projeto conceitual de uma injetora de bancada para a moldagem por injeção de baixa tiragem utilizando moldes fabricados por MA. Não será feita uma análise de custo. Tudo de interesse que não foi abordado por causa dessa priorização foi resumido como uma recomendação para trabalhos futuros.

### 1.2 Objetivo

Elaborar um projeto conceitual de uma injetora de bancada para moldagem por injeção de baixa tiragem de produtos termoplásticos utilizando moldes com matrizes intercambiáveis fabricadas por MA e com referenciamento teórico na literatura competente.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Moldagem por injeção - MPI

A MPI é um processo no qual um polímero fundido é injetado sob pressão em um molde, onde ele solidifica e assume a forma da matriz/cavidade. Um ciclo típico de MPI é apresentado na Figura 1, onde: (1) o polímero granulado é dosado em um funil alimentador; (2) esse material granulado é transportado por meio da rotação de uma rosca/fuso e, a medida que se aproxima do molde, é fundido/plastificado pelo calor gerado por resistências elétricas; (3) um volume de polímero fundido suficiente para preencher o molde se acumula à frente da rosca e é injetado no molde através do avanço da rosca, como um êmbolo, e mantido sob pressão até que o produto injetado resfrie e solidifique assumindo a forma do molde e por fim; (4) o molde abre e o produto injetado é extraído (GROOVER, 2012).

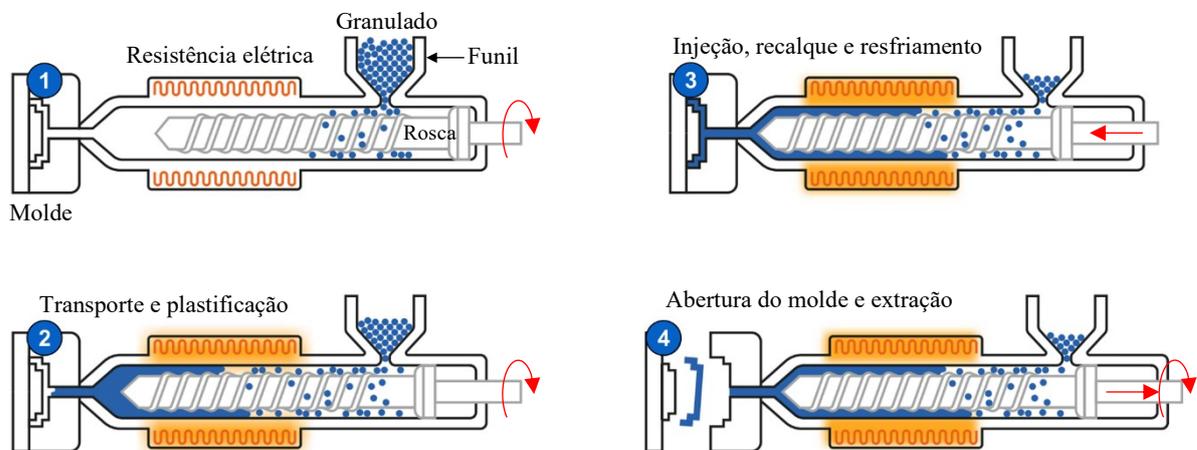


Figura 1. Ciclo típico de moldagem para uma injetora do tipo rosca plastificadora alternada: (1) dosagem do polímero granulado, (2) transporte e fusão do polímero granulado, (3) injeção do polímero fundido no molde; e (4) abertura do molde e extração do produto injetado

Fonte: Adaptado de Formlabs (2021)

A MPI é uma tecnologia de fabricação estabelecida com uma longa história, mas que está sendo constantemente refinada e aprimorada com novos avanços tecnológicos, por isso, existe uma ampla gama de variações e aplicações desse processo. Na Tabela 1 é apresentado um breve resumo das principais vantagens e desvantagens da MPI.

Tabela 1. Resumo das principais vantagens e desvantagens da MPI

<b>Benefícios</b>	<b>Limitações</b>
Produção de grandes volumes de peças idêntica: uma vez que o molde é fabricado e a injetora é configurada, peças injetadas podem ser fabricadas muito rapidamente e a um custo unitário muito baixo.	Alto custo inicial do molde: Como um molde deve ser feito para cada geometria, os custos iniciais são muito altos. Eles estão principalmente relacionados ao projeto e à fabricação do molde, que normalmente custa entre US \$ 5.000 e US \$ 100.000.
Alta produtividade: um ciclo de moldagem por injeção típico dura 15 a 60 segundos. Além disso, um único molde pode ter várias cavidades, aumentando ainda mais as capacidades de produção.	Tempo de fabricação do molde é longo: O prazo típico para fabricação de um molde varia entre 6 e 10 semanas. Se mudanças de projeto são necessárias (algo bastante comum), o tempo de o prazo aumenta ainda mais.
Ótima repetibilidade e tolerâncias: normalmente, a MPI produz peças com tolerâncias de $\pm 0,500$ mm. Tolerâncias mais restritas até $\pm 0,125$ mm também são possíveis em certas circunstâncias.	Pouca liberdade para alterações de projeto: Depois que um molde é fabricado, é muito caro modificá-lo. As alterações de projeto geralmente exigem a criação de um novo molde do zero.

Fonte: Hubs (2021)

### 2.1.1 Materiais e aplicações do MPI

Os materiais mais utilizados na MPI são os polímeros termoplásticos (GROOVER, 2012). Na Figura 2 é mostrado o tamanho do mercado da MPI nos Estados Unidos por tipo de material, enquanto na Figura 3 a distribuição do mercado por aplicação. Observa-se que o polipropileno (PP) é o material mais processado por MPI, seguido pela acrilonitrila butadieno estireno (ABS), polietileno de alta densidade (HDPE) e poliestireno (PS). A principal aplicação da MPI é na área de embalagens, seguida por automotiva, construção e biomédica.

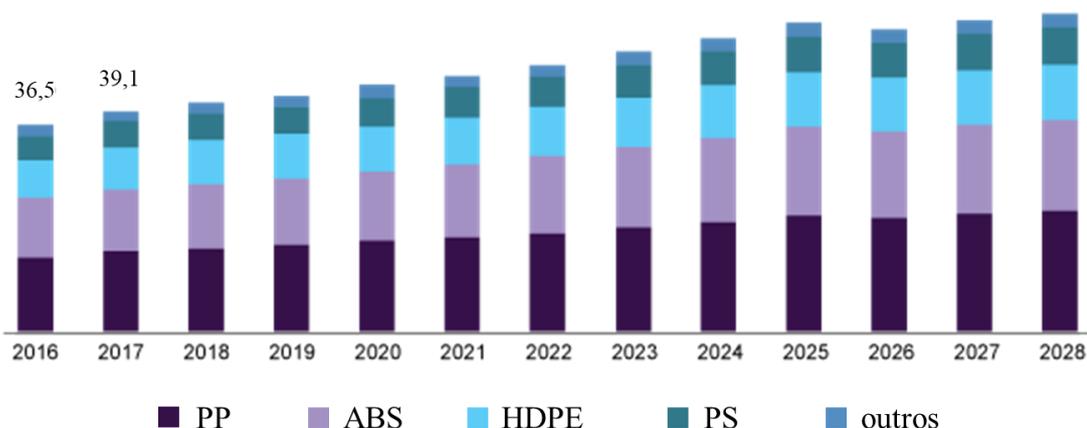


Figura 2. O tamanho o mercado de MPI nos EUA por material em bilhões de dólares

Fonte: GRV (2021)

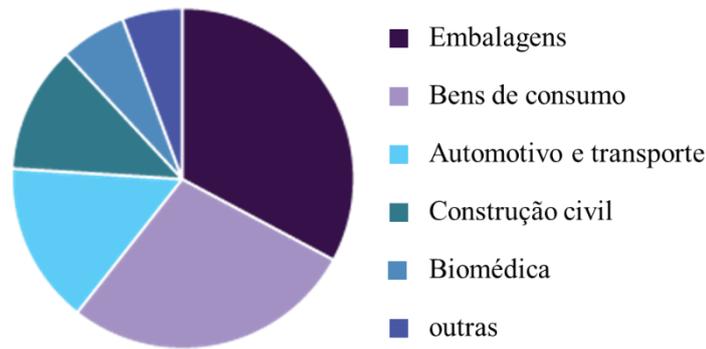


Figura 3. Mercado da MPI por aplicação

Fonte: GRV (2021)

Na Tabela 2 são sumarizadas as principais aplicações da MPI, os materiais mais comumente utilizados e exemplos de produtos injetados e/ou aplicações.

Tabela 2. Exemplos de aplicação da MPI

Aplicação	Exemplo
<p><b>Embalagens:</b> A fabricação de embalagens é a principal aplicação da MPI. Por exemplo, tampas de garrafa são moldadas por injeção em PP. O PP possui excelente resistência química e é adequado para entrar em contato com produtos alimentícios.</p>	
<p><b>Automotivo:</b> Quase todos os componentes de plástico no interior de um carro são fabricados por MPI. Os 3 materiais de mais comuns são o PP para peças não críticas, PVC por sua boa resistência às intempéries e ABS por sua alta resistência ao impacto. Mais da metade das peças plásticas de um carro são feitas de um desses materiais, incluindo os para-choques, as partes internas da carroceria e os painéis.</p>	
<p><b>Biomédica:</b> Muitos materiais esterilizáveis e bio compatíveis são fabricados por MPI. O silicone de grau médico é um dos materiais mais populares na indústria médica. No entanto, o silicone é um termorrígido, portanto, maquinários especiais e controle de processo são necessários, aumentando o custo. Para aplicações com requisitos menos rígidos, outros materiais, como ABS, PP e PE são os mais comuns.</p>	

Fonte: Hubs (2021)

### 2.1.2 Características e tipos de moldes

O molde, juntamente com a injetora, tem a função de dar forma ao produto injetado. Geralmente os moldes são fabricados de aço ferramenta, como o AISI P20, empregando diversos processos de fabricação, como fresamento CNC, eletroerosão por penetração/fio, polimento da superfície, dentre outros. Na representação esquemática de um molde apresentada na Figura 5 são indicadas as suas principais partes.

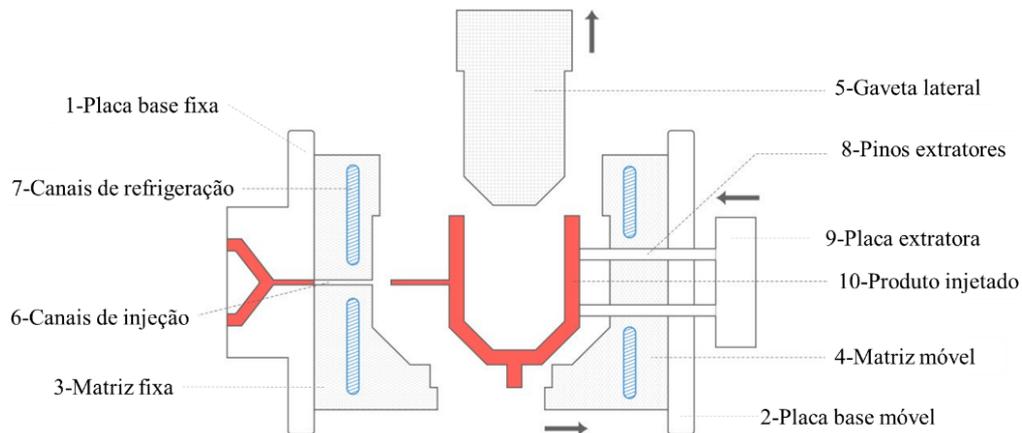


Figura 4. Representação esquemática de um molde de injeção com partes móveis

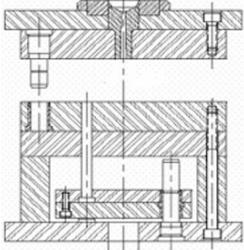
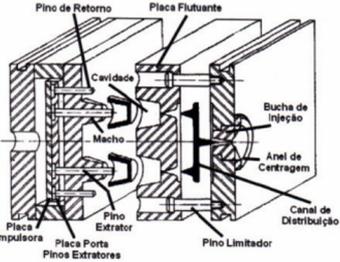
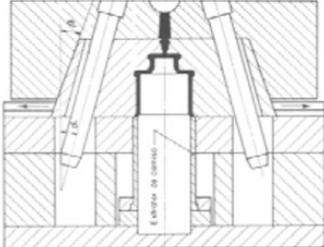
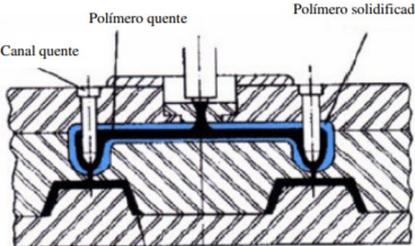
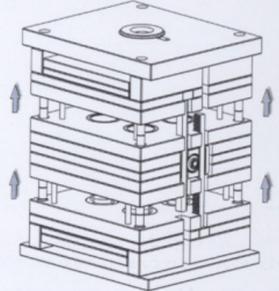
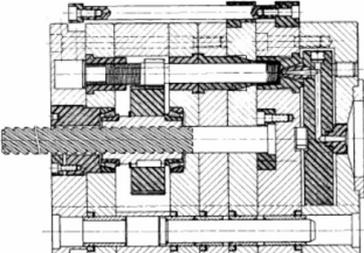
Fonte: Hubs (2021)

Harada (2004) descreve brevemente a função das principais partes de um molde:

- 1- Placa base fixa: fixação e alinhamento do molde na injetora e função estrutural;
- 2- Placa base móvel: fixação e alinhamento do molde na injetora e função estrutural;
- 3- Matriz fixa: geralmente da forma a parte externa do produto (acabamento mais fino);
- 4- Matriz móvel: geralmente da forma a parte interna do produto (marcas de extração);
- 5- Gaveta lateral: se movimenta em direção diferente da abertura do molde;
- 6- Canais de injeção: transportam o material até a cavidade (lado fixo);
- 7- Canais de refrigeração: resfriam/aquecem o molde;
- 8- Pinos de extração: responsáveis por extrair o produto da cavidade móvel;
- 9- Placa extratora: responsável pela movimentação dos pinos extratores.

Existem diversos tipos de moldes. Gastrow (1993) classifica os moldes em 6 tipos principais: (1) moldes de duas placas, (2) moldes de três placas ou placa flutuante, (3) moldes com partes móveis, (4) moldes com canais quentes, (5) *stack molds* e (6) moldes com núcleo rotativo. As vantagens, desvantagens e exemplos desses moldes são listados na Tabela 3.

Tabela 3. Tipos de moldes com suas vantagens, desvantagens e exemplos

Tipo de molde	Exemplo
<p><b>Molde de 2 placas:</b> tipo de molde mais simples, composto pela parte móvel e fixa e é o mais utilizado.</p> <p><b>Vantagem:</b> fabricação mais simples comparado com os outros tipos de molde</p> <p><b>Desvantagem:</b> limitado a geometrias mais simples</p>	
<p><b>Moldes de 3 placas:</b> contêm uma terceira placa flutuante, que tem como função separar o canal de distribuição do componente injetado durante a abertura do molde.</p> <p><b>Vantagem:</b> não necessita de etapa posterior de retirada do canal de alimentação do componente injetado.</p> <p><b>Desvantagem:</b> mais complexo, logo a fabricação e manutenção são mais caras, além da necessidade de um maior curso de abertura da injetora.</p>	
<p><b>Moldes com partes móveis:</b> possui componentes que se movimentam em direções diferentes da abertura do molde (gavetas).</p> <p><b>Vantagem:</b> possibilidade de se obter geometrias com variados detalhes (reentrâncias ou rebaixos).</p> <p><b>Desvantagem:</b> Mais complexo, logo a fabricação e manutenção são mais caras.</p>	
<p><b>Moldes com canal quente:</b> há acessórios neste tipo de molde, que mantêm a temperatura do material polimérico elevado dentro do molde, fazendo que ele chegue mais rápido a cavidade e que não se necessite de canais de alimentação.</p> <p><b>Vantagem:</b> não possui etapa de retirada de canal de alimentação, economia de material, maior produção, devido o ciclo do processo de transformação ser menor.</p> <p><b>Desvantagem:</b> custo e manutenção elevados.</p>	
<p><b>Stack molds:</b> molde que possui a sua abertura em duas regiões, possibilitando assim a obtenção de um número maior de componentes injetados.</p> <p><b>Vantagem:</b> possibilita o dobro da quantidade de produção dos moldes de 2 e 3 placas.</p> <p><b>Desvantagem:</b> manutenção elevada.</p>	
<p><b>Moldes com núcleo rotativo:</b> utilizado para a injeção de componentes que possuem regiões com roscas internas.</p> <p><b>Vantagem:</b> facilidade de construção, comparado com outras alternativas.</p> <p><b>Desvantagem:</b> custo de fabricação e manutenção elevados.</p>	

Fonte: Adaptado de Sacchelli (2007)

O custo típico de um molde para geometrias simples e produção relativamente pequena (1000 a 10.000 ciclos) varia entre 2000 e 5000 dólares. Porém, dependendo da complexidade e tamanho do produto a ser injetado, do número de cavidades e de ciclos esse custo pode passar de 100.000 dólares (HUBS, 2021). Na Figura 5 é apresentado um exemplo de um molde de acabamento de para-brisa com uma cavidade, enquanto na Figura 6 um molde de peças de Lego® aposentado após 15 milhões de ciclos.

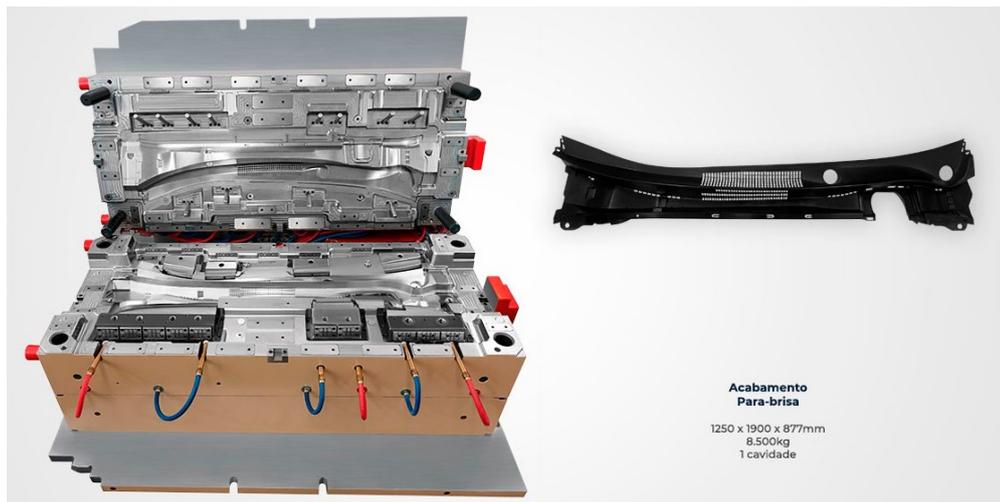


Figura 5. Molde para injeção de acabamento de para-brisa

Fonte: Vama Industrial (2021)



Figura 6. Molde de peças de Lego® aposentado após 15 milhões de ciclos

Fonte: Hubs (2021)

## 2.2 Moldagem por injeção de pequenos lotes

O termo moldagem por injeção de pequenos lotes ou baixas tiragens (*low-run injection molding*) geralmente se aplica a lotes de 10 a 100 peças (REDWOOD, 2021). Para que os custos de fabricação desses pequenos lotes sejam financeiramente viáveis, tipicamente os moldes são fabricados por metodologias de ferramental rápido (*rapid tooling*). O ferramental rápido consiste na aplicação das técnicas de prototipagem rápida, particularmente a manufatura aditiva, para fabricação de moldes e/ou partes moldantes de um molde (VOLPATO, 2007).

Segundo Redwood (2021) a fabricação de moldes por manufatura aditiva é adequada para as seguintes condições: (a) demanda por prazos curtos, (b) baixa tiragem, (c) prováveis alterações de produto e (d) a peça a ser injetada é relativamente pequena (menor que 150 mm).

### 2.2.1 Fabricação de moldes por MA

Manufatura aditiva, comercialmente conhecida como impressão 3D, é definida pela norma ABNT NBR ISO/ASTM 52900 (2018) como um grupo de tecnologias que utilizam uma abordagem “camada por camada” para fabricação de peças a partir de um modelo geométrico tridimensional (CAD) em oposição as abordagens subtrativas (usinagem) e formativa (moldagem por injeção), como na Figura 7. A norma ABNT NBR ISO/ASTM 52900 (2018) classifica a MA em 7 grupos principais, a saber: (1) jato de ligante, (2) deposição com energia direcionada, (3) extrusão de material, (4) jateamento de material, (5) fusão em leito de pó, (6) laminação de folhas e (7) fotopolimerização em cuba.

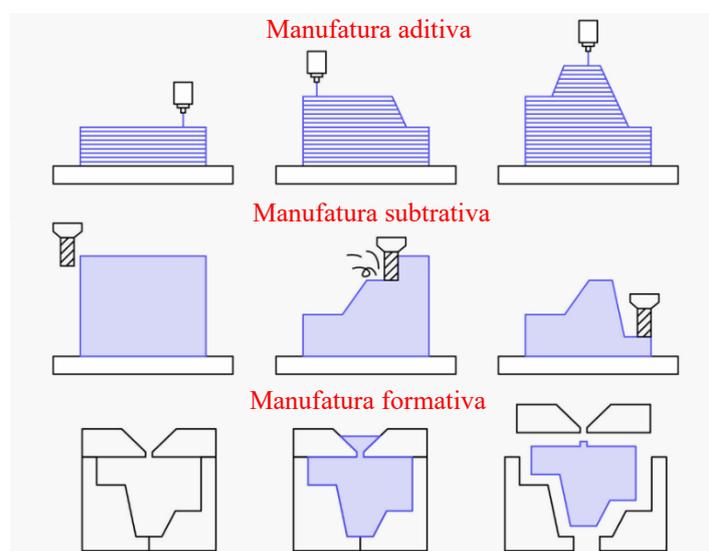


Figura 7. Comparação entre as diferentes abordagens de manufatura

Fonte: Hubs. 2021

Dentre os vários processos de MA disponíveis atualmente, a literatura corrente converge no sentido de que a fotopolimerização em cuba é o processo de MA mais adequado para a aplicações de ferramental rápido devido a sua capacidade de produzir peças com alto nível de detalhes e ótimo acabamento superficial com pouca necessidade de pós processamento.

Segundo a ABNT NBR ISO/ASTM 52900 (2018), a fotopolimerização em cuba é um processo de MA no qual uma resina fotossensível é seletivamente curada por meio da exposição a uma luz UV. Existem duas variações comerciais do processo de fotopolimerização em cuba: o SLA e o DLP. Conforme ilustrado na Figura 8, no processo SLA (*Stereolithography*) um objeto é criado camada por camada por meio da varredura de um feixe laser pontual, enquanto no DLP (*direct light processing*) a imagem de uma camada inteira é projetada de uma vez. Ambas as tecnologias oferecem excelente resolução, porém o DLP é mais produtivo.

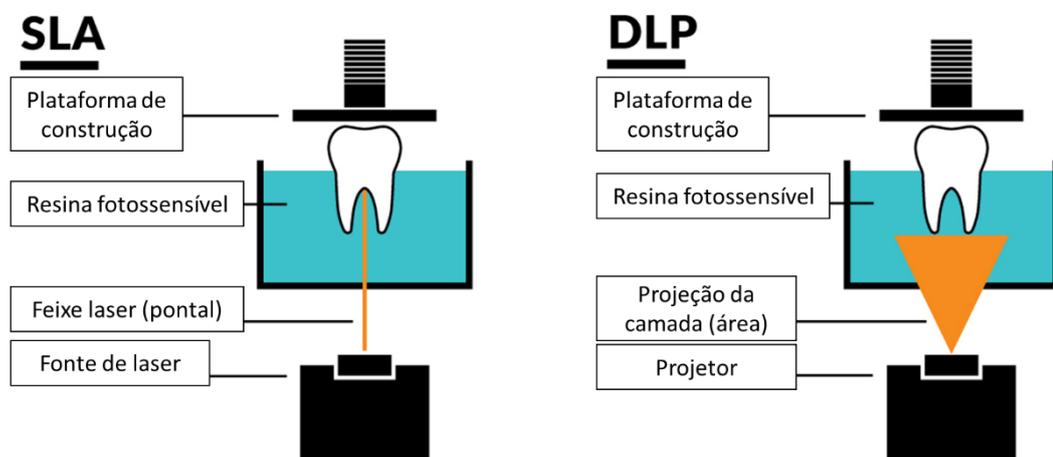


Figura 8. Variações do processo de fotopolimerização em cuba: SLA e DPL

Fonte: Burkhart, Dental Suply (2021)

Segundo Redwood (2021), moldes podem ser fabricados por MA em duas configurações padrão: 1 – as cavidades são fabricadas por MA e são montadas em um porta-molde metálico (alumínio ou aço) fabricado por usinagem de acordo com as características da injetora; ou 2 – o molde tipo monobloco é totalmente fabricado por MA.

Na primeira configuração (1), as cavidades (partes moldantes) são fabricadas por MA e então montadas em estruturas rígidas de aço ou alumínio (porta-molde) que fornecem suporte estrutural para as matrizes evitando que elas deformem durante o processo de injeção e podem promover seu resfriamento. Um exemplo desse tipo de configuração é mostrado na Figura 9.

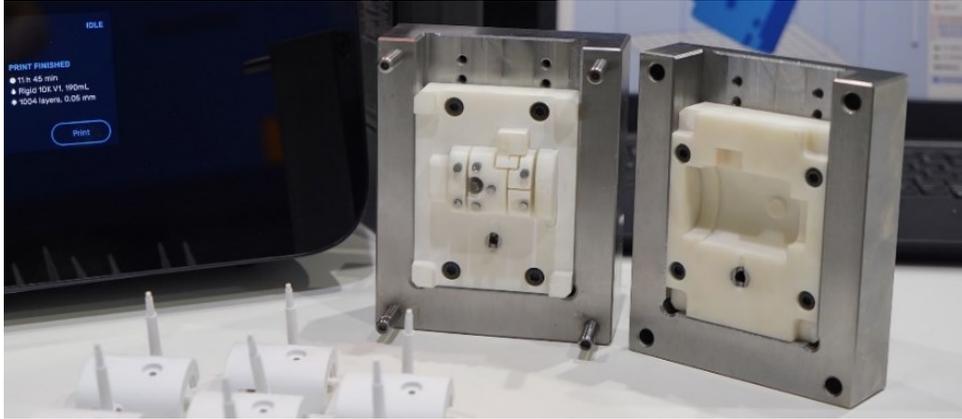


Figura 9. Exemplo de molde onde as cavidades fabricadas por MA foram montadas em um porta-molde metálico

Fonte: FormLabs, 2021

Já na segunda configuração (2) um molde tipo monobloco é fabricado totalmente por MA, ou seja, não se utiliza a porta molde metálico. Dessa forma, canais de resfriamento complexos podem ser integrados ao molde. Porém, essa configuração demanda mais material e tempo de fabricação por MA e os moldes são mais propensos a deformar após uso extensivo. A Figura 10 traz um exemplo de um molde do tipo monobloco fabricado por MA.



Figura 10. Exemplo de molde totalmente fabricados por MA

Fonte: Makerbot, 2021

Um ponto importante a se considerar na fabricação de moldes poliméricos por MA é seleção adequada do material das partes moldantes (cavidades). Segundo Varotsis (2021), o material da fabricação de moldes por MA deve apresentar as seguintes características:

- Resistência mecânica: o molde deve suportar a pressão de injeção sem deformar.

- Resistência a temperatura: deve manter suas propriedades na temperatura de operação.
- Compatibilidade com o material a ser injetado: não deve reagir com o material injetado.
- Vida útil: resistir ao número de ciclos de injeção necessários.

As empresas 3Dresyns<sup>1</sup> e FormLabs<sup>2</sup>, fabricantes de resina para MA por fotopolimerização em cuba, fornecem várias opções resinas destinadas a fabricação moldes por MA e compatíveis com diversos materiais, como: silicone, cera, termoplásticos, cerâmicos. Isso demonstra que o uso de moldes fabricado por MA já atinge diversas áreas de aplicações.

### 2.3 Máquina injetora

A função de uma máquina injetora, doravante chamada apenas de injetora, é fornecer uma dose precisa e controlada de material polimérico fundido a uma velocidade e pressão de injeção suficiente, enquanto aplica uma força de fechamento suficiente para evitar que ao molde se abra. Existem diversos tipos de injetoras (horizontal, vertical, cubo, multicomponente etc.). Em última análise, esses diversos tipos de injetoras são constituídas pelas seguintes unidades fundamentais: unidade de suporte do molde (também conhecida como unidade de fechamento) e unidade de injeção (GOODSHIP, 2017), conforme indicado na Figura 11.

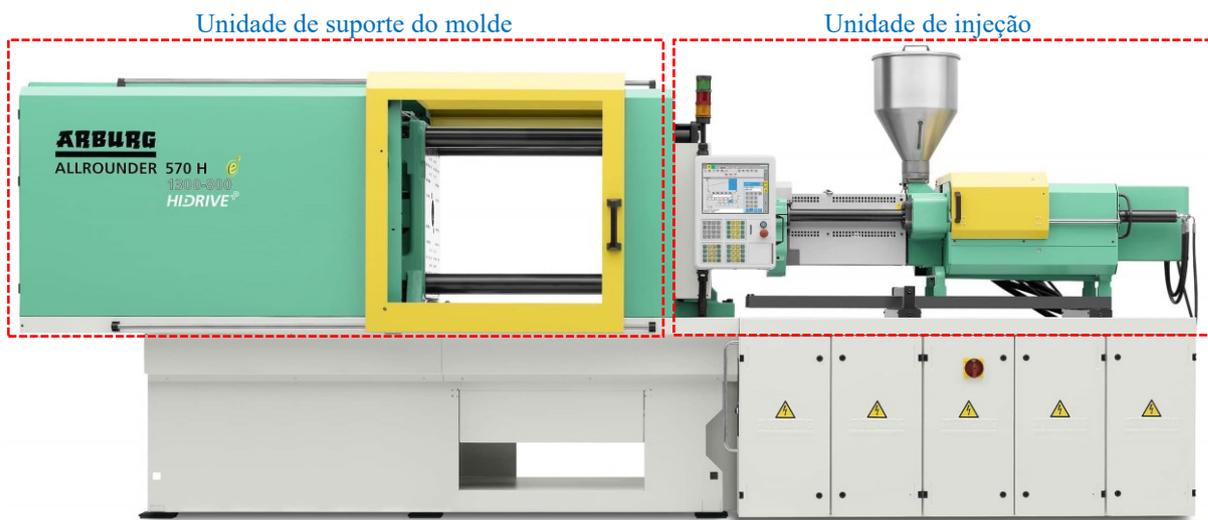


Figura 11. Máquina injetora horizontal com indicação das unidades fundamentais

Fonte: Goodship (2017)

<sup>1</sup> <https://www.3dresyns.com/>

<sup>2</sup> <https://formlabs.com/>

### 2.3.1 Unidade de suporte do molde

A unidade de suporte do molde tem as seguintes funções fundamentais: 1- montagem e fixação do molde (lado fixo e lado móvel); 2 - fornecer força de fechamento suficiente para evitar que o molde se abra durante a injeção e o resfriamento; e 3 - abrir e fechar o molde com precisão e suavidade para permitir a extração da peça injetada e iniciar o próximo ciclo de injeção (GOODSHIP, 2017).

Um exemplo de unidade de suporte é mostrado na Figura 12. A placa fixa é fixada na estrutura da injetora através de parafusos, enquanto a placa móvel se movimenta através de colunas conectadas a placa fixa que garantem o alinhamento entre ambas. O sistema de extração do molde é colocado na placa móvel e assim o produto injetado pode ser extraído quando o molde se abre (GOODSHIP, 2017).

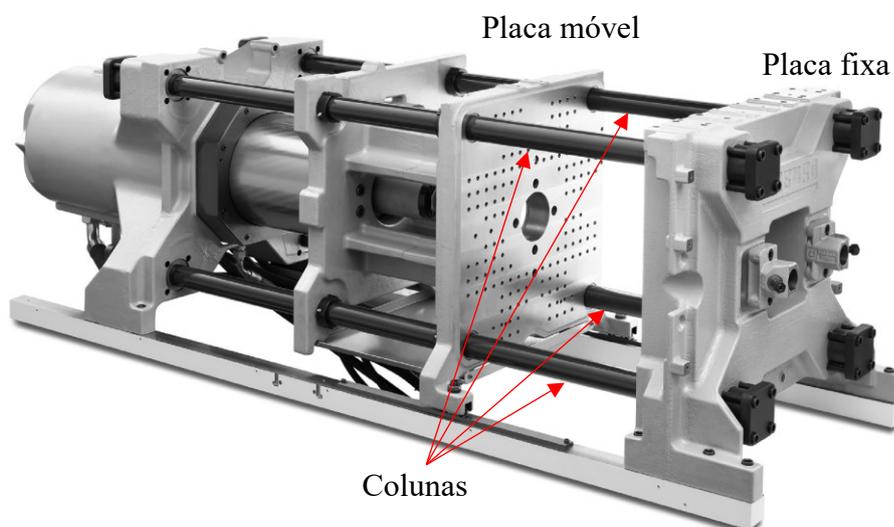


Figura 12. Unidade de suporte do molde

Fonte: Goodship (2017)

A movimentação da placa móvel se dá por acionamento hidráulico, enquanto o travamento do molde durante a injeção e resfriamento pode ser através de um cilindro hidráulico ou travamento mecânico. A vantagem do travamento mecânico é que ele demanda uma força muito menor do cilindro hidráulico, podendo chegar a uma razão de 50:1. O sistema hidráulico, por outro lado, requer a aplicação de pressão de linha constante. As desvantagens do travamento mecânico são que é mais difícil controlar a velocidade e a força de fechamento. Ele também deve ser ajustado para diferentes cursos de abertura de molde para garantir o travamento (GOODSHIP, 2017). Um sistema de fechamento mecânico desenvolvido por Chang et al. (2021) é ilustrado na Figura 13.

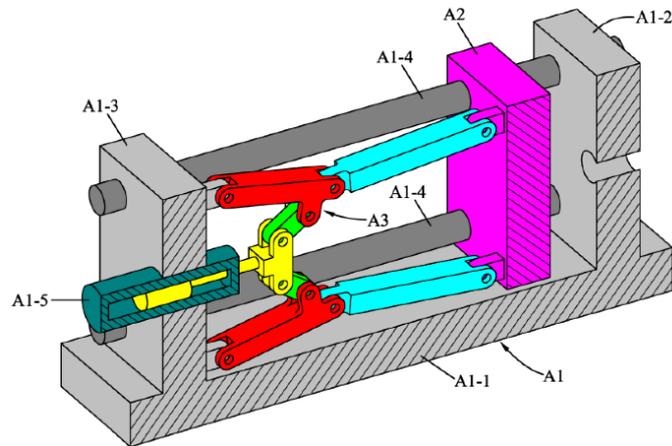


Figura 13. Exemplo de sistema de travamento mecânico

Fonte: Chang et al. (2021)

### 2.3.2 Unidade de injeção

Uma unidade de injeção é mostrada na Figura 14. A primeira função da unidade de injeção é produzir um volume de material fundido adequado e homogêneo (plastificação). Uma segunda função importante é a injeção desse material no molde. Uma alta repetibilidade desse processo é fundamental para a MPI (GOODSHIP, 2017).

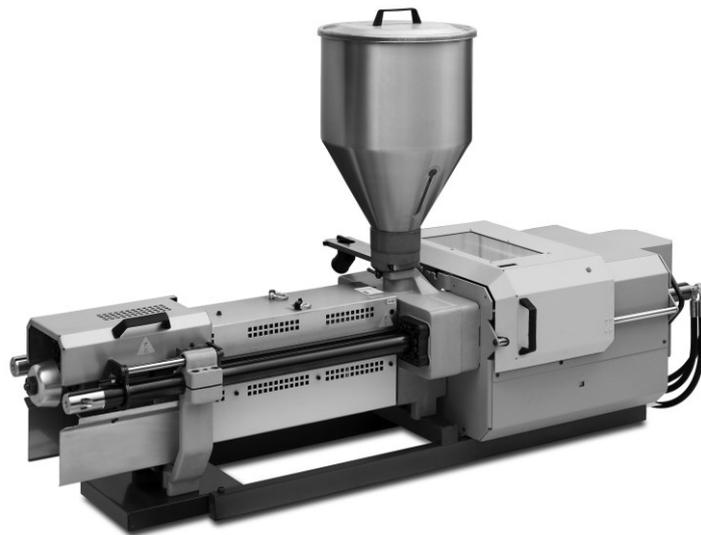


Figura 14. Unidade injetora de um estágio

Fonte: Goodship (2017)

Segundo Rosato et al. (2000), existem diferentes tipos de unidade de injeção para diferentes tipos de materiais. As unidades de injeção mais comuns são apresentadas na Figura 15. Inicialmente, as unidades de injeção podem ser classificadas em unidades com um estágio (Figura 15a e Figura 15c) e dois estágios (Figura 15b e Figura 15d). Adicionalmente, em

unidades com torpedo e pistão/êmbolo (Figura 15a e Figura 15b), rosca plastificadora alternada (Figura 15c) e rosca plastificadora com pistão (Figura 15d). Unidades de injeção com torpe e pistão são o tipo de unidade de injeção mais simples e utilizadas para injeção de pequenos lotes de peças pequenas e material específicos. Atualmente, a maioria das máquinas injetoras comerciais utilizam unidades de injeção com rosca plastificadora alternada devido a maior produtividade, qualidade e controle do material plastificado (ROSATO et al., 2000).

A unidade de injeção com dois estágios mostrada na Figura 15d, onde num primeiro estágio o material particulado é transportado por uma rosca e fundido por resistência elétrica e posteriormente é injetado no molde através da ação de um pistão é comumente utilizado em injetoras de bancadas pelo fato de unir a simplicidade e baixo custo da injeção com pistão e controle e produtividade da rosca plastificadora. Para trabalho com multimatérias as máquinas com injetora por embolo possuem vantagem, já que o operador consegue selecionar a variação na pressão de injeção e controlar o avanço (quantidade de material injetado) de modo simplificado, permitindo um melhor desempenho para a produção de peças com tamanho reduzido, enquanto o controle de avanço, pressão e posicionamento de máquinas com fuso e/ou torpedo é mais complexo e focado para uso em grandes quantidades de material.

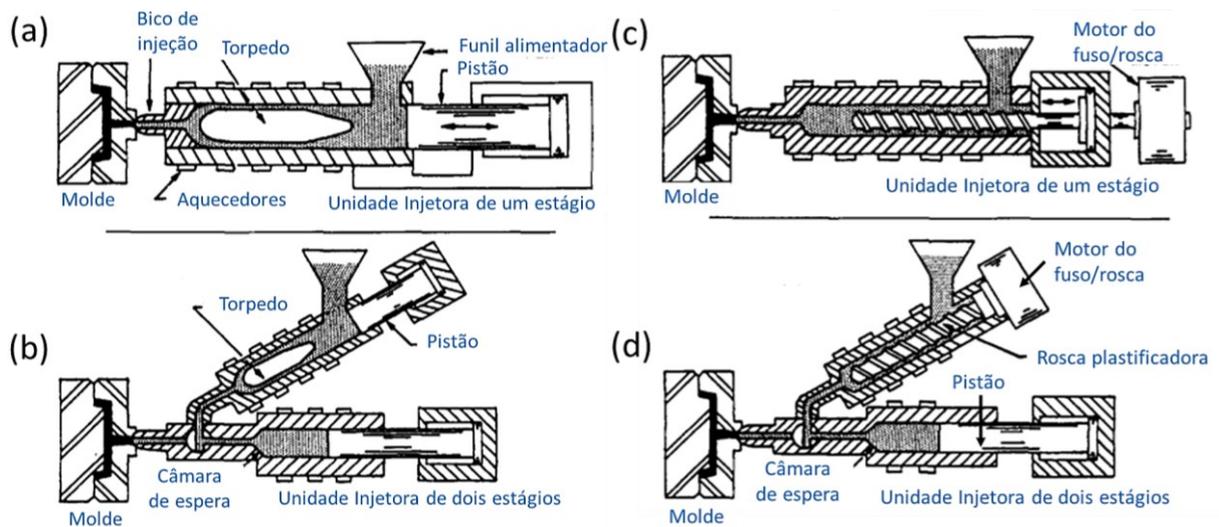


Figura 15. Tipos mais comuns de unidade de injeção: (a) de um estágio com torpedo e pistão; (b) de dois estágios com torpedo e pistão; (c) de um estágio com rosca plastificadora alternada; (d) de dois estágios com rosca plastificadora e pistão

Fonte: Rosato et al. (2000)

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como objetivo elaborar um projeto conceitual de uma injetora de bancada para moldagem por injeção de baixa tiragem de produtos termoplásticos utilizando moldes com matrizes intercambiáveis fabricadas por MA. Entende-se com projeto conceitual o levantamento de um conjunto de informações iniciais e aproximadas necessárias à compreensão da configuração da injetora e elaboração de um esboço em *software* CAD.

Para atingir esse objetivo foram levantadas características fundamentais de uma injetora de bancada para essa finalidade a partir de informações coletadas na literatura e através de um *benchmarking* de algumas das injetoras de bancadas disponíveis no mercado. Posteriormente, foram levantadas as principais questões que devem compor o projeto de uma injetora, na sequencia essas questões foram devidamente respondidas e/ou justificadas e por fim um esboço de uma injetora de bancada foi elaborado em software CAD. As etapas para atingir o objetivo do trabalho são ilustradas na Figura 16.

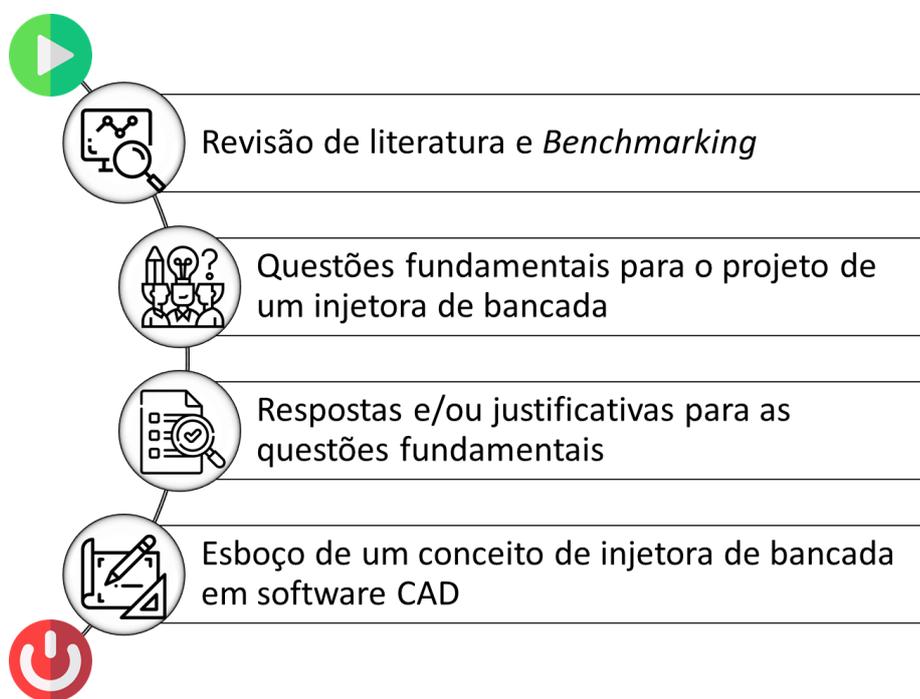


Figura 16. Etapa para atingir o objetivo de fazer um projeto conceitual de uma injetora de bancada para moldagem por injeção de baixa tiragem de produtos termoplásticos utilizando moldes com matrizes intercambiáveis fabricadas por MA

Fonte: do autor

### 3.1 Benchmarking das injetoras de bancada

O *benchmarking* consistiu em um processo de busca e identificação das principais características de injetoras de bancada disponíveis no mercado, conforme apresentado na Tabela 4. A partir desse *benchmarking*, algumas tendências e/ou características frequentes foram identificadas, a saber:

- Há dois tipos principais de injetoras de bancadas: vertical e horizontal;
- As injetoras de bancada verticais tendem a ser mais simples e com menor grau de automação, como a injetora manual WZ2000 da Kunlun. Porém existem injetoras verticais de bancada mais elaboradas como a CY-160S2 da Zanyang;
- Normalmente, as injetoras verticais mais simples são manuais e não contam com sistema de extração do produto injetado tampouco de refrigeração do molde;
- Apesar das simplicidades, as injetoras de bancada verticais manuais podem ser uma opção de baixo custo para produção de lotes pequenos de peças simples;
- De forma geral, as injetoras de bancada horizontais têm maior grau de automação, pois contam com sistema de extração do produto injetado e refrigeração do molde para reduzir o ciclo de injeção;
- A força de fechamento das injetora de bancada horizontais é na ordem de 100 kN;
- A pressão de injeção das injetora de bancada horizontais é na ordem de 100 MPa;
- O travamento das injetora de bancada horizontais tipicamente é mecânico e acompanhado por um atuador elétrico (motor de passo) para movimentação da placa móvel;
- A massa do volume injetado nas injetoras de bancada horizontais é na ordem de 35 g;
- Em relação a unidade de injeção das injetoras de bancada horizontais, o mais comum são as unidades com rosca plastificadora alternada;
- Diversos materiais podem ser injetados nas injetoras de bancadas horizontais e verticais;
- As injetoras de bancada não são necessariamente projetadas para moldes fabricados por MA.

Tabela 4. Benchmarking das injetoras de bancadas disponíveis no mercado e suas principais características

Fabricante Modelo Tipo	Força de fechamento	Pressão de injeção (max.)	Massa/volum e injetado por ciclo (PS)*	Materiais injetáveis	Tipo de Atuador	Tipo de travamento das placas	Tipo de unidade de injeção	Ilustração do equipamento
Haijiang -- horizontal	80 kN	120 MPa	20 g (PS)	PC, PP, ABS, PE e TPU	hidraulico	Mecanismo de barras	1 estágio com rosca plastificadora alternada	
Ollital XMP 12 horizontal	120 kN	--	30 g (PS)	PP, ABS, PE e LDPE	elétrico	Mecanismo de barras	1 estágio com rosca plastificadora alternada	
AX Plásticos AX16I horizontal	5,5 kN	--	16 g (PS)	--	--	--	1 estágio com rosca plastificadora alternada	
TY TY-7003 horizontal	20 kN	57 MPa	20 g (PS)	PP, PC, ABS, PET, PVC, HDPE, PA, Polystyrene, PE e LDPE	pneumático	Mecanismo de barras	1 estágio com rosca plastificadora alternada	

Babyplast 10/12 horizontal	100 kN	200 MPa	40 g (PS)	--	Hidráulico	Hidráulico	2 estágios com rosca plastificadora e pistão	
Maq-Injet 45000P Vertical	--	--	45 g (PS)	---	Pneumático	Mecânico (morsa)	1 estágio com pistão	
Galomb B-100 Vertical	---	--	16 cm <sup>3</sup>	LDPE, HDPE, PP e PS	Manual	Mecânico (morsa)	1 estágio com pistão	
Kunlun WZ2000 vertical	10 kN	--	20 g	PP, PC, ABS, PET, PVC, FRPP/PVC, PPR, EVA, HDPE e MLLDP	Manual	Mecânico (morsa)	1 estágio com pistão	

Fonte: do autor

### 3.2 Questões fundamentais para o projeto conceitual

A partir da revisão de literatura do *benchmarking* apresentado na Tabela 4 foram levantadas questões fundamentais acerca de características de injetoras de bancada para produção de pequenos lotes de produtos termoplásticos utilizando moldes fabricados por MA, a saber:

- a) Qual o tipo de injetora adequado?
- b) Quais os materiais injetáveis?
- c) Qual deve ser a distância entre colunas e abertura das placas?
- d) Qual deve ser o tipo de atuador e o tipo de travamento das placas?
- e) Qual deve ser o tipo de unidade de injeção?
- f) Qual deve ser o sistema de resfriamento do molde?
- g) Qual deve ser o sistema de extração?

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para elaboração do projeto conceitual, buscou-se responder as questões fundamentais que foram levantadas acerca de injetoras de bancada para produção de pequenos lotes de produtos termoplásticos utilizando moldes fabricados por MA. Portanto, nas próximas seções, essas questões serão respondidas e/ou justificadas.

### 4.1 Tipo de injetora

Como visto no *Benchmarking* (Tabela 4) há dois tipos de injetora de bancada: vertical e horizontal. A injetora de bancada vertical é uma opção de baixo custo para injeção de lotes pequenos de peças pequenas. Tipicamente a abertura e fechamento do molde, bem como a extração do produto são manuais nas injetoras de bancada verticais. Já as injetoras horizontais tipicamente têm maior grau de automação e controle, o que pode se refletir em maior produtividade e repetibilidade do processo. Portanto, optou-se por uma injetora horizontal para elaboração do projeto conceitual.

### 4.2 Materiais injetáveis

Um aspecto fundamental para o projeto de uma injetora de bancada é a definição dos materiais a serem injetados. Uma vez que se pretende utilizar moldes fabricados por MA, particularmente o processo de fotopolimerização em cuba, buscou-se levantar quais polímeros injetáveis são compatíveis com as resinas utilizadas para a fabricação dos moldes.

A Formlabs (2022), empresa fornecedora de resinas, reporta a injeção de diversos polímeros em moldes fabricados com as suas resinas especiais de moldes, incluindo:

- PP: polipropileno;
- PE: polietileno;
- TPE: elastômero termoplástico;
- TPU: poliuretano termoplástico;
- POM: polioximetileno;
- ABS: acrilonitrilo-butadieno-estireno; e
- PA: poliamida/nylon.

Ainda sobre os materiais injetáveis, a Formlabs (2022) explica que um material a ser injetado de baixa viscosidade demanda menor pressão de injeção e a vida útil do molde é maior. PP e TPEs são fáceis de se processar em uma grande quantidade de ciclos. Por outro lado, polímeros mais técnicos, como o PA, são mais difíceis de se injetar e a vida útil do molde é menor. A utilização de um agente desmoldante sobre a superfície do molde poderá ajudar a extração de materiais flexíveis das cavidades do molde.

### **4.3 Distância entre colunas e abertura das placas**

O tamanho de molde impacta diretamente no dimensionamento da injetora de bancada, particularmente na distância entre as colunas, dimensão das placas, abertura das placas, força de fechamento e pressão de injeção (área projetada).

Como pretende se utilizar porta-moldes metálicos e cavidades fabricadas por fotopolimerização em cuba, considerou-se uma área de impressão típica desse tipo de equipamento comercial de MA de 100 x 60 mm. Além disso, que duas cavidades poderiam ser montadas lado a lado em um molde porta-molde. Portanto, para fins de projeto da injetora, estabeleceu-se um porta-molde metálico com dimensões de 150 x 150 mm. Um conceito de porta molde compatível com diversos tamanhos de cavidades fabricadas por MA é ilustrado na Figura 17.

Com base no exposto, foi estabelecido uma distância entre coluna de 250 mm e curso de abertura das placas de 140 mm.

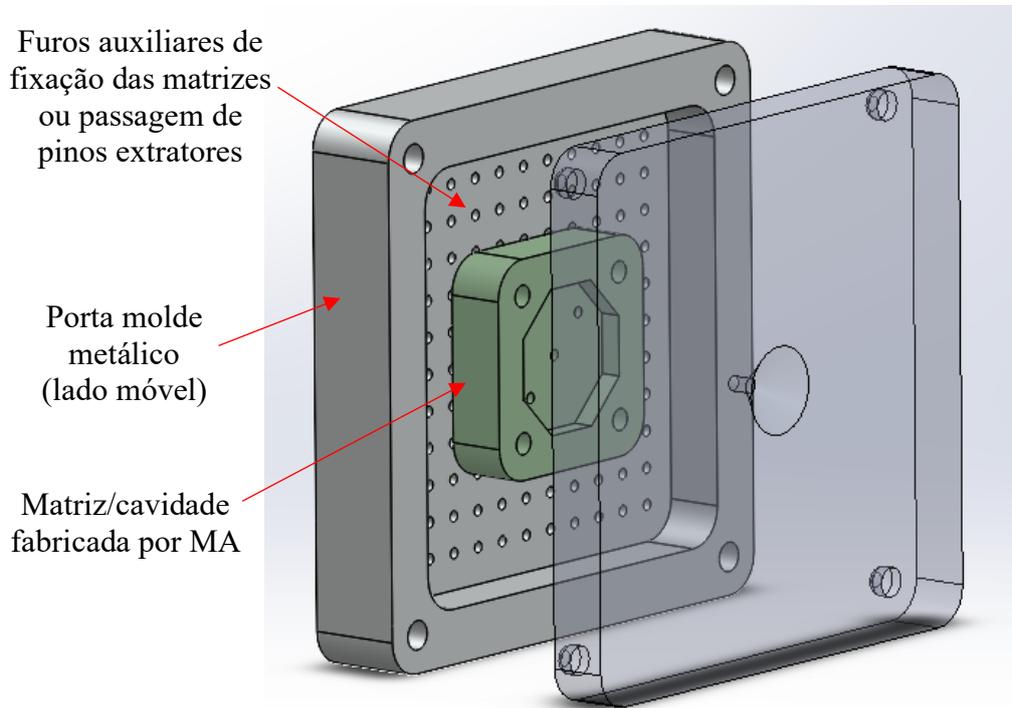


Figura 17 – Conceito de porta-molde metálico para cavidades fabricadas por MA

Fonte: do autor

#### 4.4 Atuador de movimento e tipo de travamento das placas

Conforme identificado no *Benchmarking* (Tabela 4), o movimento da placa móvel nas injetoras de bancada horizontais pode ser por meio de um atuador elétrico (motor), pneumático, ou hidráulico, enquanto o tipo de travamento pode ser hidráulico e por mecanismo de barras.

Como apresentado na revisão bibliográfica, a vantagem do travamento mecânico é que ele demanda uma força muito menor do atuador, podendo chegar a uma razão de 50:1. O sistema hidráulico, por outro lado, requer a aplicação de pressão de linha constante. As desvantagens do travamento mecânico estão no fato que nele é mais difícil controlar a velocidade e a força de fechamento. Ele também deve ser ajustado para diferentes cursos de abertura de molde para garantir o travamento (GOODSHIP, 2017).

Os tipos de fechamento-travamento mais comuns são o direto e indireto, como apresentado na Figura 18. O fechamento-travamento indireto (Figura 18 1A e 1B) utiliza mecanismos de barras responsáveis por suportarem a força de fechamento após serem

acionados por um atuador, tipicamente elétrico, pneumático ou hidráulico. Já no fechamento-travamento direto (Figura 18 2A e 2B), a movimentação da placa e suporte das cargas vem diretamente do atuador tipicamente hidráulico. As vantagens e desvantagens de cada método podem ser verificadas na Tabela 5.

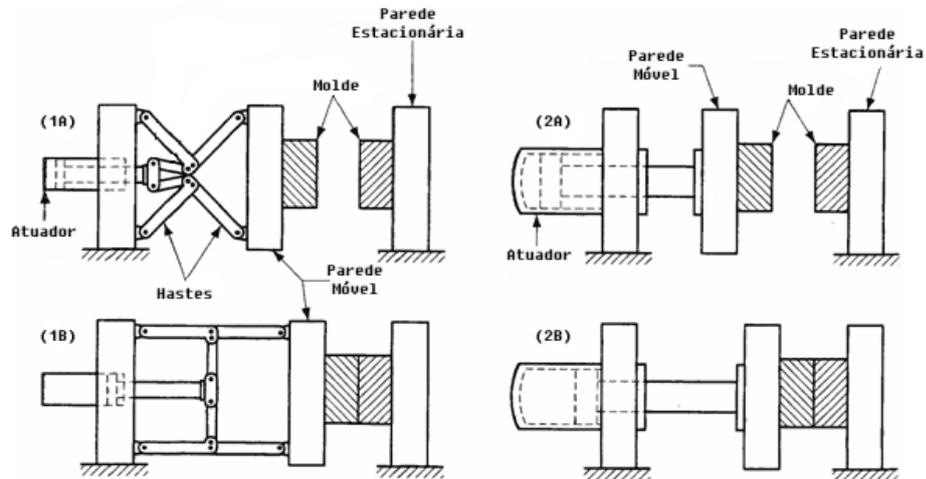


Figura 18- Tipos mais comuns de fecha (1A) Indireto aberto, (1B) indireto fechado, (2A) direto aberto e (2B) direto fechado

Fonte: Adaptado de Sinotech (2016)

Tabela 5. Comparação entre fechamento-travamento direto e indireto

<b>Tipo</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Desvantagem</b>
Direto	Melhor controle de posição e velocidade de fechamento. Fácil configuração. Baixo custo de manutenção. Maior precisão de movimento.	Custo de fabricação maior Menor velocidade de fechamento. Maiores esforços mecânicos no atuador
Indireto	Baixo custo de fabricação. Maior velocidade de fechamento. Menor esforço de atuador	Ajuste do curso é mais complexo. Velocidade não linear. Maior número de partes moveis e, portanto, e maior manutenção.

Fonte: do autor

Considerando que para os usuários de injetora de bancada o custo seja um fator muito importante, justifica-se uma escolha de injetoras de bancada utilizarem fechamento do tipo indireto (fechamento e travamento por meio de mecanismo de barras). Portanto, no presente projeto conceitual optou-se pelo fechamento-travamento indireto, utilizando atuadores pneumáticos ou hidráulicos.

#### 4.5 Unidade de Injeção

A unidade de injeção com dois estágios mostrada na Figura 15d, onde num primeiro estágio o material particulado é transportado por uma rosca e fundido por resistência elétrica e posteriormente é injetado no molde através da ação de um pistão é comumente utilizado em injetoras de bancadas pelo fato de unir a simplicidade e baixo custo da injeção com pistão e controle e produtividade da rosca plastificadora. Para trabalho com multimatérias as máquinas com injetora por embolo possuem vantagem, o operador consegue selecionar a variação na pressão de injeção e controlar o avanço (quantidade de material injetado) de modo simplificado, permitindo um melhor desempenho para a produção de peças com tamanho reduzido, enquanto o controle de avanço, pressão e posicionamento de máquinas com fuso e/ou torpedo é mais complexo e focado para uso em grandes quantidades de material. Portanto, para o presente projeto conceitual será considerada uma unidade de injeção de duplo estágio.

##### 4.5.1 Capacidade de injeção

A injetora deve ser capaz de injetar material suficiente para preencher os moldes e os canais de injeção a cada ciclo. Segundo Harada (2004), a capacidade de injeção das máquinas injetora corresponde a massa máxima que pode ser injetada a cada ciclo. Esse valor costuma ser dado em gramas de poliestireno. Essa referência baseada no poliestireno também é conhecida como GPPS, ou *General Purpose Polystyrene*. A capacidade de injeção para outros materiais pode ser determinada pela relação apresentada na Equação 1 abaixo:

$$\text{Capacidade de injeção (g)} = \text{Capacidade de injeção do PS (g)} \times \frac{\text{Peso específico do novo material}}{\text{Peso específico do PS}} \times \frac{\text{Fator volumétrico do PS}}{\text{Fator volum. Material Novo}} \quad (1)$$

A partir do benchmark estipulou se que a injetora deveria ter uma capacidade de injeção de 35 g de PS. Considerando essa capacidade de injeção, foi realizado um comparativo entre vários outros materiais possíveis de injeção na mesma máquina, Tabela 6. É recomendado que a capacidade de injeção seja selecionada inicialmente numa faixa entre 25% e 65% da

capacidade máxima e depois ajustada testando maiores capacidades até encontrar o ponto ideal da máquina.

Tabela 6 - Capacidade injeção para alguns materiais

Material Injetado	Fator Volumétrico	Peso específico [g/cm <sup>3</sup> ]	Calor específico [cal/g.K]	Capacidade de injeção (g)		
				100%	25%	65%
Acetato De Celulose	2,4	1,29	0,36	35,8	9,0	23,3
Acetato Butirato	2,2	1,18	0,35	35,9	9,0	23,3
Poliamida	2,0	1,12	0,40	36,4	9,1	23,7
Pvc Rígido	2,3	1,40	0,24	40,6	10,1	26,4
Pvc Flexível	2,3	1,25	0,40	36,2	9,1	23,6
Metilmetacrilato	1,9	1,18	0,35	41,6	10,4	27,0
Poliestireno	2,0	1,05	0,32	35,0	8,8	22,8
ABS	1,9	1,05	0,37	36,8	9,2	23,9
Estireno	2,0	1,10	0,33	36,7	9,2	23,8
Poliétileno BD	2,1	0,92	0,55	29,4	7,3	19,1
Poliétileno AD	1,8	0,95	0,55	35,2	8,8	22,9
Polipropileno	1,9	0,90	0,56	30,9	7,7	20,1
Policarbonato	1,5	1,20	0,30	45,7	11,4	29,7
Poliacetal	1,9	1,40	0,35	49,1	12,3	31,9

Fonte: Adaptado de Harada (2004).

#### 4.5.2 Capacidade de plastificação

A capacidade de plastificação é uma medida da quantidade de material que pode ser fundido e homogeneizado por unidade de tempo. Uma capacidade de plastificação insuficiente resulta em material não fundido, enquanto uma capacidade de plastificação muito alta pode causar uma degradação do material injetado devido ao longo tempo de permanência no cilindro aquecido.

A capacidade de plastificação é um dos principais gargalos para uma produção contínua, onde o número de ciclos por hora deve estar de acordo com a capacidade de plastificação. Na condição de máximo uso supõe-se 35g de material por ciclo da máquina, estimando-se um ciclo completo a cada 30 segundos é necessária uma capacidade de plastificação de 70g por minuto,

ou 4,2Kg de material por hora. Com esta taxa de material é possível calcular a capacidade térmica necessária no equipamento de acordo com o material e seu coeficiente de calor específico (Tabela 6). Em todas as máquinas listadas no *Benchmarking* (Tabela 4) o aquecimento provém de braçadeiras e cartuchos termoeletrônicos, compondo de 3 a 5 zonas de aquecimento em um tubo com fuso com diâmetro variável no núcleo da rosca para melhor uniformidade do material que será injetado.

#### 4.5.3 Pressão de injeção

A pressão de injeção está diretamente relacionada com o material a ser injetado (viscosidade) e geometria dos menores canais do molde. Materiais com menor viscosidade, como PP, PS, PE e TPE requerem menor pressão de injeção e, por consequência, também uma menor força de fechamento, facilitando o processo de injeção e reduzindo desgastes do molde.

Segundo Manrich e Silvio (2005) quanto maior for a distância da entrada do molde até a cavidade e menor a temperatura do material injetado, maior a queda na pressão de injeção, conforme mostrado na Figura 19.

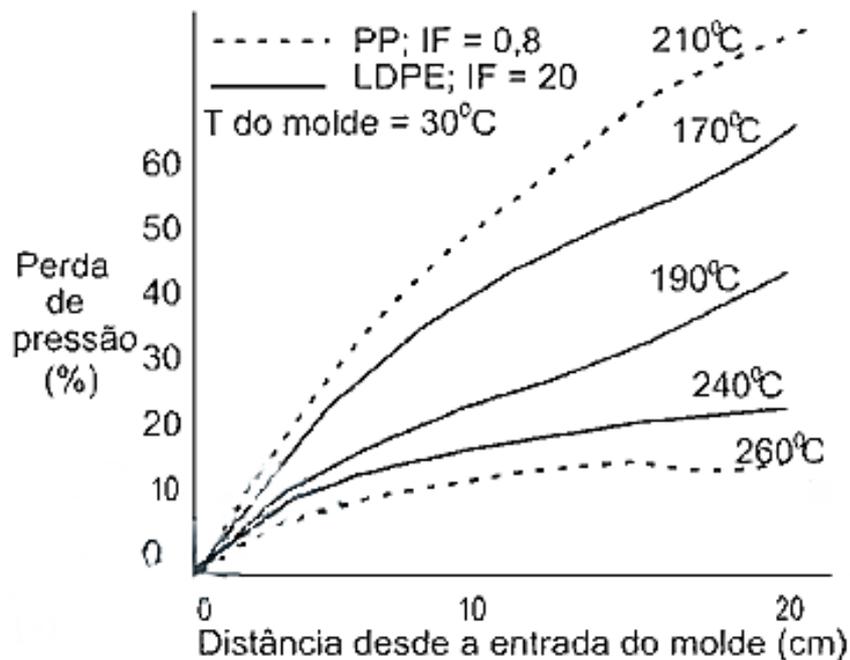


Figura 19. Queda na Pressão de injeção em função da distância para a entrada do molde para diferentes materiais e diferentes temperaturas

Fonte: Manrich e Silvio (2005)

É comum que os manuais de injetoras tragam tabelas ou gráficos para auxiliar na escolha inicial do parâmetro de pressão de injeção. Estas informações servem para determinar um valor de partida. Como exemplo, gráfico da Figura 20.

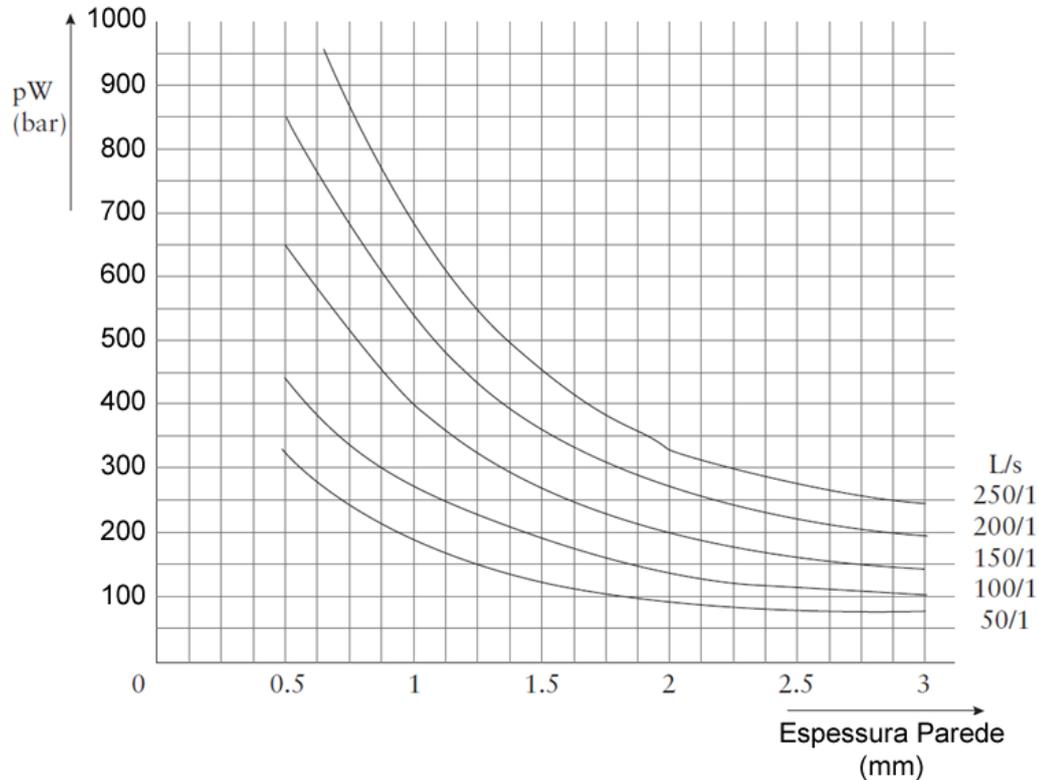


Figura 20 - Estimativa da Pressão de Injeção em função da espessura de seção do produto injetado para diferentes distancias percorridas (L/s)

Fonte: Arburg (2017)

Uma pressão de injeção baixa pode não preencher a cavidade do molde. Já uma pressão alta reduz a vida útil do molde devido a necessidade de uma força de fechamento acima do ideal para trabalho do molde. Para molde com matrizes de resina fabricadas por MA o problema da alta pressão de injeção e força de fechamento são amplificados, podendo comprometer muito mais o molde do que no caso de uma matriz metálica.

#### 4.5.4 Força de fechamento

Segundo Harada (2004) a força de fechamento é dada pelo produto da pressão de injeção pela área projetada do produto, que por sua vez dependem do material, geometria e dimensão do produto a ser injetado.

#### 4.6 Sistema de resfriamento do molde e extração do produto

As etapas de resfriamento do molde e extração do produto correspondem à maior parcela de tempo dentro do ciclo de injeção (BASSO, 2013). A etapa de resfriamento é responsável por solidificar o material injetado até um ponto no qual ele possa ser removido do conjunto de molde sem perder a geometria. Em injetoras de alta capacidade de produção o resfriamento ocorre por meio de canais de resfriamento confeccionados no molde metálico, aproveitando a capacidade de condução térmica do molde. Estes canais podem conduzir ar, água ou óleo. No caso de moldes fabricados em resina ou outros materiais com baixa capacidade de condução térmica o uso de canais de resfriamento se torna muito pouco eficiente. Deste modo o resfriamento deve ocorrer em sua maior parte na etapa de abertura, podendo direcionar fluxo de ar forçado para auxiliar na redução da temperatura antes de passar para a etapa de extração.

No presente projeto conceitual considerou-se a extração dos produtos das cavidades através de pinos extratores acionados pelo movimento da placa móvel contra a placa extratora. Também há possibilidade, dependendo da peça de injetada, de extração automática com moldes de três placas.

#### 4.7 Resumo do projeto conceitual

As características de injetora de bancada para produção de pequenos lotes de produtos termoplásticos utilizando moldes fabricados por MA é sumarizado na Tabela 7.

Tabela 7. Características de injetora de bancada para produção de pequenos lotes de produtos termoplásticos utilizando moldes fabricados por MA

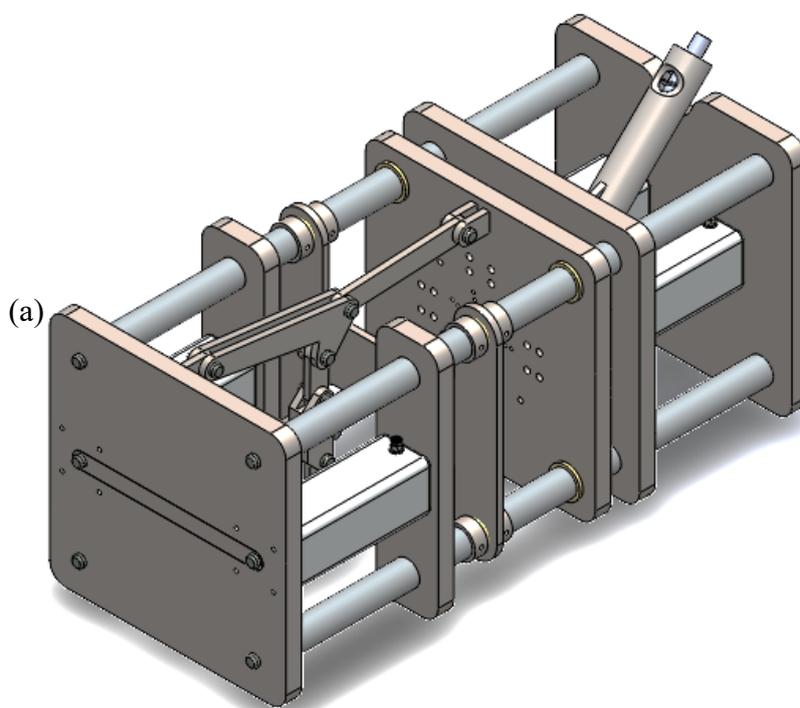
<b>Tipo de injetora</b>	Injetora de bancada horizontal
<b>Nível de Automação</b>	Ciclo de injeção automático
<b>Materiais injetáveis</b>	Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Ácido Poliláctico (PLA), Elastômero Termoplástico (TPE)
<b>Distância entre colunas</b>	250 mm
<b>Abertura entre placas</b>	140 mm
<b>Tipo de fechamento-travamento</b>	Tipo indireto com mecanismo de barras
<b>Movimentação das placas</b>	Atuador pneumático e/ou elétrico
<b>Unidade de injeção</b>	Câmara dupla com rosca plastificadora, capacidade de 35g (PS) e dois pistões pneumáticos de 2500N

	(cilindro 63mm e haste 20mm) com avanço de 120mm
<b>Sistema de extração</b>	Manual ou com pinos acionados pela abertura
<b>Sistema de resfriamento do molde</b>	Ar comprimido durante a abertura do molde

Fonte: do autor

#### 4.8 Esboço do conceito da injetora de bancada

A partir do projeto conceitual foi elaborado um esboço de uma injetora de bancada para moldagem por injeção de baixa tiragem de produtos termoplásticos utilizando moldes com matrizes intercambiáveis fabricadas por MA. Na Figura 21 apresenta a visão geral do esboço. A Figura 22 traz detalhes do sistema de fechamento-travamento indireto. Detalhes da placa móvel e do sistema de extração são mostrados na Figura 24. Por fim, na Figura 25 é ilustrado o sistema de injeção com duas câmaras com rosca plastificadora e pistão.



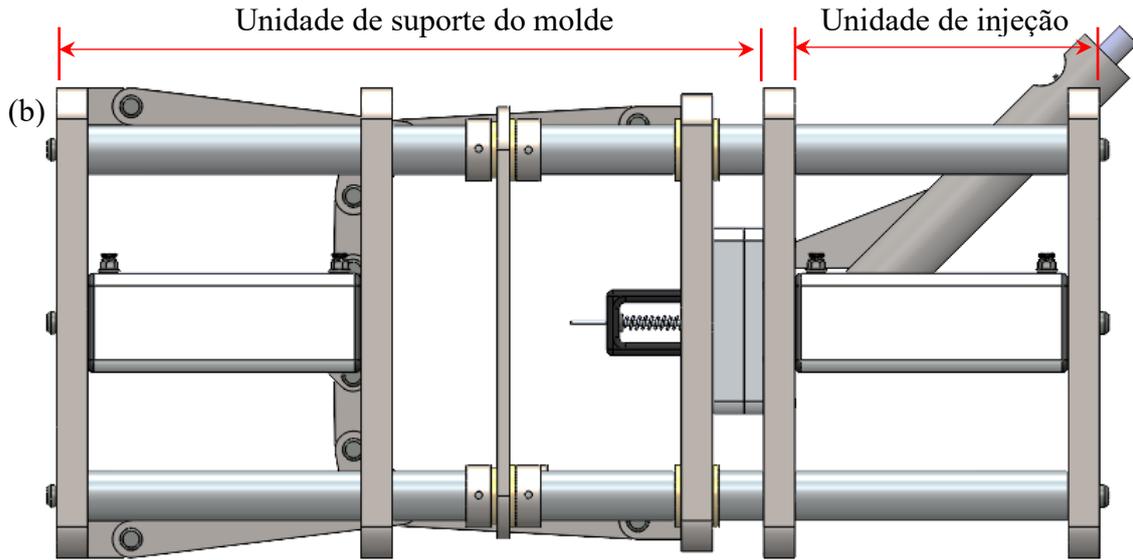


Figura 21 – Visão geral do esboço: (a) perspectiva isométrica e (b) vista frontal.

Fonte: do autor

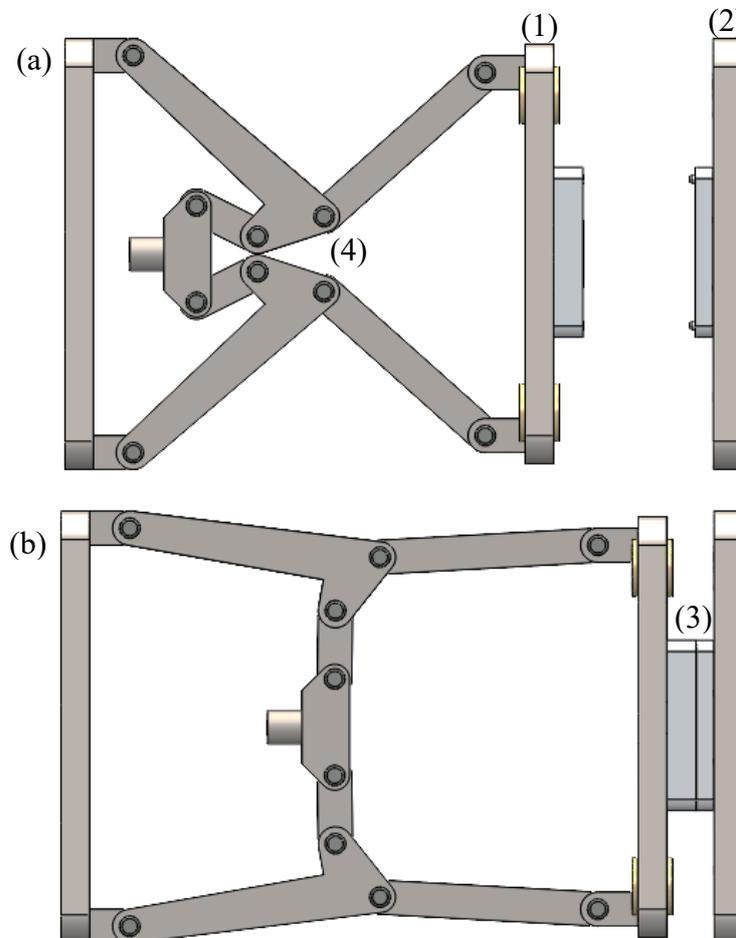


Figura 22 - Sistema de fechamento-travamento indireto (a) aberto e (b) fechado. (1) placa móvel, (2) placa fixa, (3) molde e (4) mecanismo de barras

Fonte: do autor

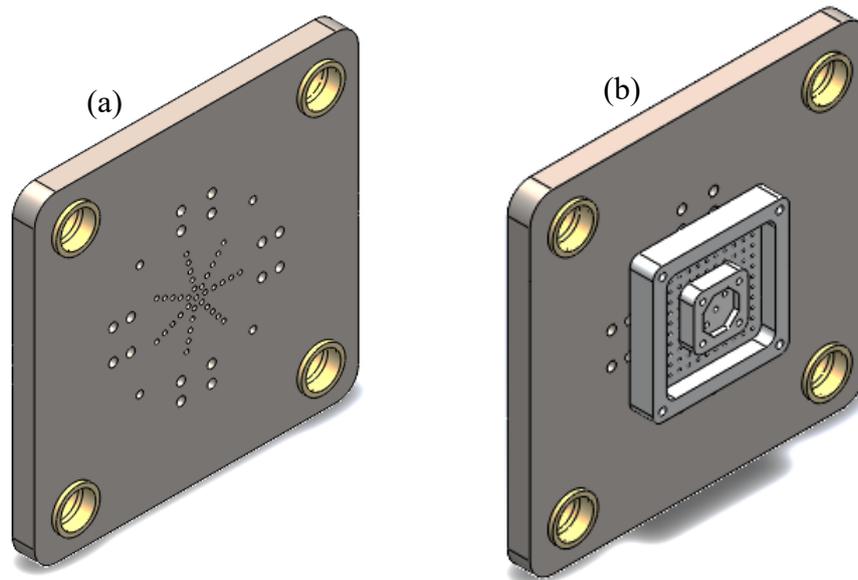


Figura 23 -Placa móvel: (a) sem o porta molde e (b) com o porta molde  
Fonte: do autor

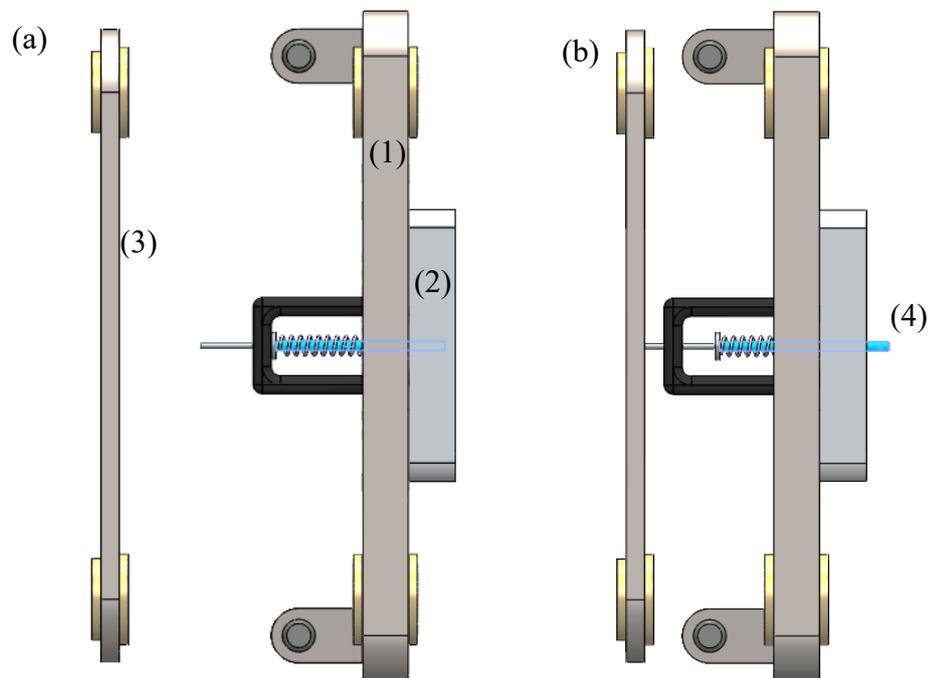


Figura 24 – Sistema de extração: (a) recuado e (b) acionado. (1) placa móvel, (2) molde, (3) placa extratora e (4) pino extrator avançado  
Fonte: do autor

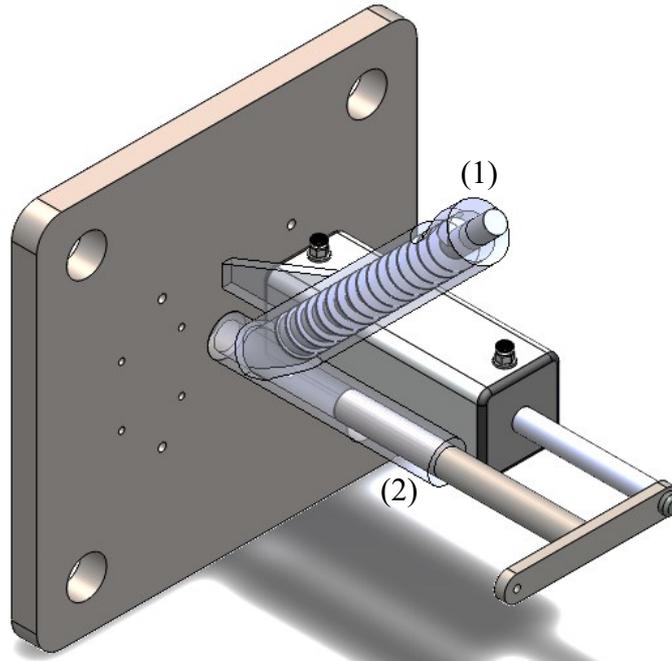


Figura 25 – Detalhe do sistema de injeção com duas câmaras: (1) rosca plastificadora e (2) pistão/êmbolo de injeção  
Fonte: do autor

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo elaborar um projeto conceitual de uma injetora de bancada para moldagem por injeção de baixa tiragem de produtos termoplásticos utilizando moldes com matrizes intercambiáveis fabricadas por MA. Para atingir esse objetivo a estratégia foi fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema e um *benchmarking* das injetoras de bancada disponíveis no mercado. A partir disso, foram elaboradas questões fundamentais que nortearam o desenvolvimento do projeto conceitual. Por fim, foi feito um esboço de uma injetora de bancada em software CAD.

A viabilidade deste tipo de maquinário se deve à lacuna presente nos métodos de fabricação, entre a impressão 3D e o processo de injeção com moldes metálicos. A crescente oferta de injetoras de bancada indica uma demanda crescente de mercado por este tipo de maquinário.

Observando os avanços na área de prototipagem, a popularização das impressoras 3D trouxe a viabilidade da criação de protótipos dentro de pequenos laboratórios ou em casa, e o acesso a um processo de fabricação mais robusto, como o de injeção plástica, permite que pequenos projetos deem um novo passo com a produção de pequenos lotes pilotos de produtos. Esse novo avanço pode auxiliar a alavancar projetos que antes eram barrados na etapa de produção pelo alto custo e complexidade na produção de matrizes metálicas e na dificuldade de acesso ao maquinário de injeção.

## **6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

No projeto de injetoras ainda se faz necessário realizar outros estudos individuais de áreas que não foram abordadas neste trabalho, como dimensionamento do fuso de plastificação para os diferentes materiais de trabalho, análise de deformação estrutural durante esforços físicos e térmicos, projeto eletrônico, programação da interface de controle e simulação do processo de injeção para avaliar o comportamento do material durante aquecimento e injeção nas cavidades do molde.

Sobre a viabilidade do uso de matrizes híbridas para fabricação de pequenos lotes de peças, o aprofundamento nos estudos para aumento da vida útil dos moldes deve refletir na viabilidade e visibilidade de moldes produzidos em resina quando comparados a moldes metálicos convencionais. Nesta linha, é sugerido um estudo mais aprofundado do processo de manufatura dos moldes e matrizes utilizando da MA, de modo a identificar as principais dificuldades e limitações desta aplicação e adaptar os conhecimentos e metodologias já existentes de moldes do tipo metálicos.

## REFERÊNCIAS

ASSOSSIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/ASTM 52900: Manufatura Aditiva, Princípios Gerais, Terminologia. Rio de Janeiro, 11/2018.

BASSO, Evair José. Análise comparativa entre sistemas de refrigeração de moldes de injeção. Relatório de Estágio II, apresentado como requisito parcial à Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica - Universidade de Caxias do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Caxias do Sul, 2013.

Chang, Wen-Tung, Wei-I Lee, and Kuan-Lun Hsu. 2021. "Analysis and Experimental Verification of Mechanical Errors in Nine-Link Type Double-Toggle Mold/Die Clamping Mechanisms" Applied Sciences 11, no. 2: 832. <https://doi.org/10.3390/app11020832>

FormLabs, Injection Molding, Casting, and Thermoforming with 3D Printed Molds, Disponível em: <<https://formlabs.com/blog/low-volume-production-injection-molding-casting-thermoforming/>> Acessado em 19 de Jan. 2022.

Formlabs, White Paper. Low-Volume Rapid Injection, Molding With 3D Printed Molds. 2020

FormLabs, White Paper. Moldmaking with 3D Prints, Techniques for Prototyping and Production. 2016

GASTROW, H. Injection Molds: 108 Proven Designs. Hanser: Munich, 1993.

GOODSHIP, Vannessa. ARBURG Practical Guide to Injection Moulding, 2nd Edition. 2017.

GROOVER, Mikell P. Introduction to Manufacturing Processes. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.

GVR, Injection Molded Plastics Market Size, Share & Trends Analysis Report By Raw Material (Polypropylene, ABS, HDPE, Polystyrene), By Application (Packaging, Automotive & Transportation, Medical), By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028. Publicado em Abril, 2021. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/injection-molded-plastics-market>>. Acesso em: 19 de Jan. de 2022.

HARADA, Júlio. Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos. Editora Artliber. São Paulo, 2004.

HARADA, Júlio. Plásticos de engenharia: Tecnologia e aplicação. Editora Artliber. São Paulo, 2004.

MANRICH, Silvio. Processamento de termoplásticos: Rosca Única, Extrusão e Matrizes, Injeção e Moldes. Editora ArtLiber, São Paulo, 2005.

REDWOOD, Ben. “Types of 3D Printing.” Hubs. Disponível em: <https://www.hubs.com/knowledge-base/types-of-3d-printing/>. Acesso em Janeiro 18, 2022.

ROSATO, Dominick V., Donald V. Rosato e Marlene G. Rosato. Injection Molding Handbook. Editora: Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.

SACCHELLI, C. M. Sistematização do processo de desenvolvimento integrado de moldes de injeção de termoplásticos. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SinoTech, Tutorial: Injection molded parts, Disponível em: <https://sinotech.com/resources/tutorials/injection-molded-parts/> Acessado em 30 de Janeiro de 2022.

TAHO, Kisa Teresa. Influência das temperaturas de injeção e de molde nas propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova de ABS com a formação de linhas de solda. Orientador: Dr. Eng. Aurélio da Costa Sabino Netto. 2017. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

TWI, What is Injection Moulding? – Definition, Types and Materials. Disponível em: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-injection-moulding>. Acesso em 19 de Jan. de 2022

VAROTIS, Alkaios Bournias. “3D printed injection molds: Materials compared.” Hubs. Disponível em: <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-printed-injection-molds-materials-compared/>. Acesso em Janeiro 18, 2022.

VOLPATO, Neri. Prototipagem Rápida, Tecnologias e Aplicações. Editora Blucher. São Paulo, 2007