

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCOS VINICIUS BORGES TEIXEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS
POR INJEÇÃO EM MOLDES E IMPRESSÃO 3D**

PONTA GROSSA

2021

MARCOS VINICIUS BORGES TEIXEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS
POR INJEÇÃO EM MOLDES E IMPRESSÃO 3D**

**Comparative analysis in the production of plastic parts by injection in molds
and 3d printing**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Villaca
Santos

PONTA GROSSA

2021



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

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



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Mecânica
Bacharelado em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**ANALISE COMPARATIVA NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS POR INJEÇÃO
EM MOLDES E IMPRESSÃO 3D**

por

MARCOS VINICIUS BORGES TEIXEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 15 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Rodrigo Villaca Santos
Orientador

Prof. Ma. Sandra Mara Kaminski Tramontin
Membro Titular

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Roger Navarro Verastegui
Coordenador do Curso

RESUMO

A impressão 3D é um método de manufatura aditiva que vem se tornando acessível com as tecnologias FDM e SLA, para polímeros. Essa tecnologia possibilita a materialização de peças com geometrias complexas com custos reduzidos em baixas quantidades. Anteriormente, o método produtivo mais difundido em geometrias complexas, era a injeção plástica. Entretanto, devido aos altos preços de molde e projeto a quantidade necessária para produção injetada deve ser volumosa, para diluir custos. Neste trabalho, foi realizado um estudo comparativo entre os custos produtivos de um suporte de copo integrado com giroscópio em polímero, ABS, impresso em 3D com as tecnologias FDM e SLA e comparado com orçamento de projeto e molde de empresa especializada no setor, no estado do Paraná. Os resultados encontrados apontam que a produção via injeção se torna viável, apreciando os custos, em largas escalas de produção. Em relação a produção via FDM, é necessário a produção de 781 mil peças para equilibrar os custos de ambos os métodos, a partir dessa quantidade a produção via injeção é a mais indicada. Para a tecnologia SLA esse valor é 16 mil peças. Todavia, a tecnologia FDM e SLA se tornam inviável em relação ao tempo necessário para cada produção em larga escala.

Palavras-chave: *Impressão-3d; injeção; plástico; custos; análise de custos.*

ABSTRACT

3D printing is an additive manufacturing method that is becoming affordable with FDM and SLA technologies for polymers. This technology makes it possible to materialize parts with complex geometries with reduced costs in low quantities. Previously, the most widespread production method in complex geometries was plastic injection. However, due to high mold and design prices, the amount needed for injected production must be bulky, to dilute costs. In this work, a comparative study will be carried out between the productive costs of the piece of polymer lego block, ABS, printed in 3D with FDM and SLA technologies and compared with the project and mold budget of a company specialized in the sector, in the state of Paraná. The results found show that the production via injection becomes viable, considering the costs, in large scales of production. In relation to production via FDM, it is necessary to produce 781,000 pieces to balance the costs of both methods, from that quantity onwards, production via injection is the most suitable. For SLA technology, this value is 16 thousand pieces. However, FDM and SLA technology become unfeasible in relation to the time required for each large-scale production.

Keywords: *3D printing; injection; plastic; costs.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de moldagem plástica por injeção	19
Figura 2: Exemplo de molde manual do projetista.....	20
Figura 3: Usos e aplicações da tecnologia 3D.....	24
Figura 4: suporte de copo integrado com giroscópio.....	26
Figura 5: Peça 1 - sistema giroscópio.....	26
Figura 6: Peça 2 - pegador.....	27
Figura 7: Peça 3 - sistema giroscópio.....	27
Figura 6: Peça 4 - sistema giroscópio.....	27
Gráfico 1: Consumo de produtos plásticos no Brasil 1970-2014, Kg/hab	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de estabelecimentos e ocupados na indústria de produtos plásticos entre 1986 e 2012.....	14
Tabela 2: Principais propriedades mecânica do plástico ABS	15
Tabela 3: Processos de moldagem plástica e suas características.....	15
Tabela 4: Procedimentos e parâmetros de injeção	17
Tabela 5: Parâmetros de impressão Ender Pro 3	26
Tabela 6: Parâmetros de impressão LD-002H	26
Tabela 7: Custos molde para injeção	27
Tabela 8: Cronograma de atividades.....	28
Tabela 5: Parâmetros de impressão Ender Pro 3.....	25
Tabela 6: Parâmetros de impressão Form3.....	25
Tabela 7: Dados protótipo.....	27
Tabela 8: Lote de impressão e injeção.....	27
Tabela 9: Parâmetros de injeção.....	29
Tabela 10: Custos do molde para injeção.....	30
Tabela 11: Custos com a Injetora.....	31
Tabela 12: Custos Impressora FDM.....	31
Tabela 13: Custos Impressora industrial.....	32
Tabela 14: Custos operacionais em jornada de 8h/dia.....	33
Tabela 15: Custos de matéria prima.....	33
Tabela 16: Dados protótipo reais e simulados na impressão 3D FDM.....	38
Tabela 17: custos energéticos impressão 3D FDM.....	39
Tabela 18: Dados protótipo simulados na impressão 3D SLA.....	39
Tabela 19: Custos energéticos impressão 3D SLA.....	40
Tabela 20: Dados protótipo injetado fornecido pelo fabricante do molde.....	40
Tabela 21: Custos energéticos Injeção.....	40
Tabela 22: Custo unitário por peça produzida.....	41
Tabela 23 : Intersecção das tecnologias.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PET Poli Tereftalato de Etila

PE Polietileno

PP Polipropileno

PS Poliestireno

PVC Policloreto de Vinila

ABS Acrilonitrila butadieno estireno

SLS Sinterização Seletiva a Laser

FDM modelagem por fusão e deposição

SLA Estereolitografia

CNC Comando Numérico Computadorizado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivo Geral	11
1.2	Objetivo Específico	11
1.3	Justificativa	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Polímeros	12
2.2	Injeção Plástica	17
2.2.1	Fluxo de Material	19
2.2.2	Cilindro Máquina	19
2.2.3	Molde	19
2.3	Impressão 3d	21
2.3.1	Vantagens e limitações dos processos de manufatura aditiva	22
2.3.2	Tipos de tecnologias de manufatura aditivas encontradas no mercado	23
2.3.3	Usos da tecnologia de impressão 3D	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	Materiais	29
3.2	Métodos	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5	CONCLUSÃO	45
6	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

A industrialização, advento do mercado de consumo marcado pelo século XXI sofreu uma transição da produção artesanal para a produção com diversos meios de automação que auxiliam, ou até mesmo transformam, o modo como é feito determinado produto (SACOMANO, 2018).

Industrialmente, um produto que ganhou notoriedade foram os polímeros, esses que são amplamente fabricados e comercializados. Desde 1950, foram produzidos cerca de 8,9 bilhões de toneladas de material polimérico no mundo, esses, processados de maneira diferente, de acordo com o seu fim (SCIENCE ADVANCES, 2017).

Dentre os meios de produção e de utilização de todo esse material produzido, encontram-se: 39,73% para embalagens, 13,67% construção civil, 8,04% componentes técnicos e 4,72% utilidades domésticas (CANEVAROLO, 2006).

O principal fator é que todo esse material polimérico passou por algum processo de fabricação que o moldou até sua forma de utilização, nas indústrias de terceira geração. O modo como se conhece a modelagem e produção de produtos estão em uma vertiginosa evolução. Uma etapa de transição afim de tornar os meios de produção mais efetivos e com menos impactos financeiros e ambientais (VOLPATO, 2017).

Indústrias de terceira geração - empresas que possuem portes variados, fazem a compra de polímeros na forma de grão, líquido ou em pó e processam esse material em equipamentos, utilizando técnicas para fabricação do produto final. Um dos meios de produção é a injeção em moldes metálicos pré definidos (CANEVAROLO, 2006).

Entretanto, injeção é um sistema complexo, tem um alto valor agregado, possui elevado tempo para produção de um único molde, não havendo alternativa em caso de mudanças no projeto, o que na manufatura aditiva é diferente (CRUZ, 2016).

A manufatura aditiva faz parte de uma quebra de paradigmas entre os meios produtivos, pois possui uma ampla gama de fabricação, podendo ser realizada a prototipagem e produto final no mesmo aparelho, com diferentes tecnologias. Através de método computacional é possível externalizar o objeto em camadas sobrepostas por material polimérico fundido, em impressoras de uso comum, e tudo isso com possibilidade de ser feito fora de plantas industriais (VOLPATO, 2017).

Um projeto detalhado para a produção de um produto feito com material polimérico é de fundamental importância, pois com os meios tecnológicos avançando para um futuro cada vez mais competitivo, as empresas tem que desenvolver com mais rapidez e qualidade (VOLPATO, 2017).

A escolha desses dois processos produtivos, é de suma importância, considerando o avanço na tecnologia, atrelado a redução de custos, pois são os principais métodos de produtos acabados no mercado e impactam diretamente na economia (ABREU, 2015).

Portanto, o objetivo deste estudo é possibilitar que empresas de variados portes façam uma análise que pode ser crucial para tomada de decisão, entre as quantidades a serem produzidas de um produto, analisando os custos de dois meios de produção, impressão 3D, com tecnologias FDM (Fused deposition modeling), que tem como método produtivo a passagem de filamento plástico através de um bico extrusor, a temperaturas apropriadas ao material em questão e a sobreposição em camadas coordenadas por códigos de posicionamento nos eixos X,Y e Z, sobre uma mesa de vidro aquecida, para assim, formar uma peça, SLA (Estereolitografia), onde o princípio de fabricação é por laser direcionado por códigos e potência variada, que incide em uma resina líquida fotosensível, formando assim as peças plásticas, por camadas, e injeção em molde de aço, que por sua vez, possui um método onde o plástico em grânulos, é aquecido e injetado em moldes com o formato da peça desejada, se solidificando e produzindo, assim o produto.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é encontrar o ponto de intersecção de custo por peça fabricada, entre os meios produtivos: injeção em moldes de aço e impressão 3D (FDM e SLA). A comparação será feita com pesquisa em campo, considerando custos praticados pelo mercado na região de Ponta Grossa, Paraná.

1.2. Objetivo Específico

Para cumprir o objetivo geral deste estudo serão necessários os seguintes objetivos específicos:

- i. Levantar os custos para produção de uma peça de geometria simples, no meio produtivo de injeção e impresso em 3D com a tecnologia FDM e SLA.
- ii. Comparar capacidade produtiva por molde de injeção para polímero.
- iii. Realizar análise de custo e tempo no mesmo produto relativo ao molde de injeção.
- iv. Analisar e comparar o custo por peça produzida entre os meios produtivos, expondo o mais adequado para cada caso, evidenciado por matriz de escolha.

1.3. Justificativa

Atualmente, com a globalização e industrialização, a competitividade entre empresas está acirrada, com o objetivo de alcançar mais mercado e assertividade em tomadas de decisões, para redução de custos, as empresas buscam meios produtivos mais eficientes: com redução relativa no custo do seu produto, mas sem

alterar a qualidade final do produto. Uma boa relação para análise é a caracterização da necessidade de estudo de viabilidade no método de produção.

De acordo com Vizzotto, Motta e Camargo (2019) destacam que a gestão estratégica de custos (GEC) é alinhada junto a estratégia da empresa as organizações tendem a apresentar um maior desempenho.

A tecnologia vem para aproximar e alinhar as estratégias das empresas, a impressão 3D se faz cada vez mais presente nos ambientes de indústrias, casas, universidades e pequenas empresas. Em 2016, foram movimentados US\$5,1 bilhões no mundo, e é estimado que em 2012 seja de R\$21 bilhões (FAPESP, 2019).

Tendo em vista o ganho de mercado e perspectiva futura de maior desenvolvimento do setor de manufatura aditiva, esse trabalho tem como objetivo utilizar um meio de produção mais barato e mais ágil, para comparação de custos e analisar até que ponto é economicamente viável.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os seguintes temas: polímeros e sua abrangência crescente ao longo do tempo no mercado brasileiro — além de abordar os métodos de processamento plástico. Posteriormente o método de processamento plástico e injeção é explicado — expondo os equipamentos necessários para a transformação plástica. Ademais, os métodos de impressão 3d e manufatura aditiva, sua importância e fatia de mercado.

2.1. Polímeros

A palavra plástico é de origem grega e tem como tradução, passível de ser moldado ou modelado. (DICIO, 2021). Ademais, polímero é o tipo de molécula formado quando duas ou mais moléculas chamadas monômeros se combinam umas com as outras — um polímero pode conter milhares de monômeros (DICIO,2021).

Polímeros, quimicamente, são macromoléculas que são definidas pelo seu tamanho, sua estrutura química e sua natureza. São unidos por ligações covalentes e possuem alto número de repetição da cadeia (SPINACÉ, 2005).

Existe uma grande variedade de polímeros, e a variedade mais utilizada são os termoplásticos, desses, cinco tipos representam 90% do consumo nacional, são eles: PE, PP, PS, PVC e o PET. Porém, o PET obteve crescimento acelerado nos últimos 30 anos, mais de 2.200% (SPINACÉ, 2005). Na Tabela 1, é possível identificar o crescimento do setor.

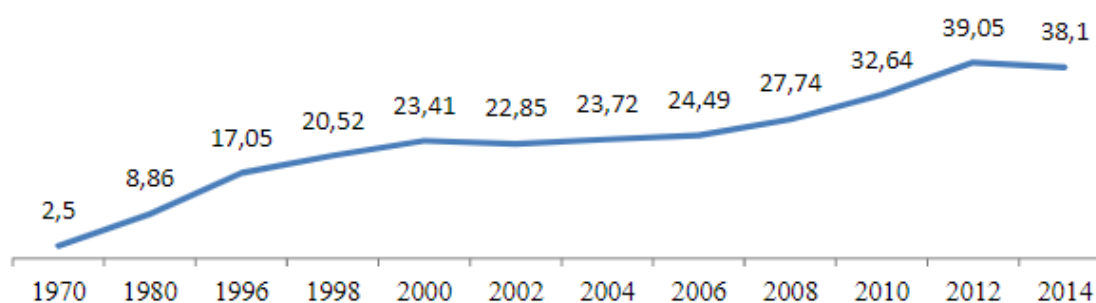
Tabela 1: Número de estabelecimentos e ocupados na indústria de produtos plásticos entre 1986 e 2012.

Ano	Estabelecimentos	Ocupados	Ocupados por estab.
1986	1.263	133.622	105,7
1988	1.327	138.565	104,4
1990	1.229	126.165	102,6
1992	1.128	114.824	101,8
1994	1.065	131.316	123,3
1996	3.547	175.436	49,4
1998	3.860	181.288	47,0
2000	4.722	212.501	45,0
2002	5.259	211.859	40,2
2004	5.855	238.010	40,6
2006	5.758	246.294	42,7
2008	7.176	278.425	38,7
2010	7.541	327.313	43,4
2012	7.433	331.829	44,6

Fonte: Schlickmann, 2015.

O número de empresas atuantes no setor plástico cresceu mais de 500% entre os anos de 1986 e 2012, isso revela que o polímero foi ganhando mercado e se tornando cada vez mais presente nas indústrias, de forma que é possível notar no Gráfico 1 o consumo de produtos plásticos no Brasil.

Gráfico 1: Consumo de produtos plásticos no Brasil 1970-2014, Kg/habitante.



Fonte: Schlickmann, 2015

O consumo de produtos plásticos no Brasil aumentou cerca de 1500% no período, o material se faz presente de inúmeras formas — desde embalagens, até produtos acabados para fins mais duráveis.

Dentre os polímeros, há um copolímero utilizado em peças que exigem boa resistência mecânica e também a temperatura, amplamente utilizado na indústria, chama-se Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS): é um termoplástico derivado do petróleo, sendo muito utilizado em processos tradicionais de moldagem, como também na impressão 3D (PEREIRA,2019). Suas propriedades estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2: Principais propriedades mecânica do plástico ABS

Propriedades	Referencial teórico
Módulo de Elasticidade – E (GPa)	1,1 a 2,9
Tensão de Ruptura (MPa)	25,2 a 45,6
Resistência à Tração (MPa)	27,6 a 55,2
Tensão de Escoamento (MPa)	18,5 a 51
Coef. Poisson Estimado	0,35

Fonte: Pereira, 2019.

Para que as matérias plásticas cheguem até o consumidor, é necessário submeter a diversas etapas de produção. Uma destas etapas é a moldagem a qual tem os seguintes processos: vazamento, fiação por fusão, compressão, calandragem, sopro, extrusão e injeção — todos descritos na Tabela 3. Na maioria dos casos a mistura muda de estado, normalmente pela adição de calor (PIATTI, 2005).

Tabela 3: Processos de moldagem plástica e suas características

Vazamento	é um processo simples pelo qual a mistura é vertida ou vazada em
-----------	--

	um molde, sob a forma de uma solução viscosa.
Fiação por fusão	a mistura fundida passa através de orifícios de uma placa (fieira), formando filamentos viscosos que se solidificam e são enrolados em bobinas. É indicado para obtenção de fios.
Compressão	consiste em comprimir a mistura aquecida dentro da cavidade de um molde. Este processo é muito usado para termorrígidos.
Calandragem	consiste basicamente na passagem da mistura entre rolos sucessivos e interligados em rotação. É indicado na produção de lâminas, folhas e filmes de espessura regular.
Sopro	ideal para obtenção de peças ocas pela insuflação de ar no interior do molde. É muito usado na fabricação de frascos a partir de resinas termoplásticas.
	a mistura polimérica passa através de uma matriz com o perfil do objeto desejado e é resfriada

Extrusão	tornando-se sólida. Processo bastante comum na fabricação de tubos de poli(cloreto de vinila) e polietileno, tão utilizados em encanamento de água, esgotos etc.
Injeção	a mistura fundida é introduzida no molde por intermédio de pressão exercida por um êmbolo.

Fonte: Piatti, 2005.

2.2. Injeção Plástica

Dentre os processos de moldagem plástica, a injeção ocupa um espaço importante. Tecnicamente, o processo consiste em grânulos de polímero que são fundidos em um cilindro. Após passar para o estado líquido, o mesmo é injetado em um molde por um pistão, dando a forma projetada para o material que se solidifica (GALDAMEZ,2004). Os procedimentos e parâmetros da injeção estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Procedimentos e parâmetros de injeção

Tempo de ciclo	é o tempo necessário para completar o ciclo de injeção;
Velocidade de Injeção	é a velocidade de avanço do pistão da máquina injetora;

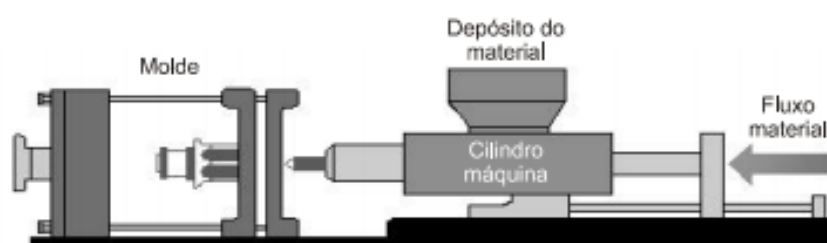
Tempo de Injeção	é o tempo que a máquina utiliza para realizar a operação de injeção e, eventualmente, o recalque da peça injetada;
Tempo de resfriamento	é o tempo que a máquina permanece parada e, ao mesmo tempo, água industrial (gelada) ou água normal circula pelo molde;
Temperatura do molde	fator controlado pela quantidade de água que passa pelos canais de circulação do molde;
Temperatura da máquina	é a temperatura do cilindro da máquina que determina a temperatura do material que será injetado no molde;
Pressão de injeção	é a pressão com que o material é injetado no molde;
Pressão de fechamento	é a pressão utilizada para regular e fechar o molde;
Pressão de recalque	é a pressão que atua dentro do tempo de recalque. Essa operação é realizada no processo de moldagem plástica para garantir que todas as cavidades

	do molde sejam completamente preenchidas.
--	---

Fonte: Galdamez, 2004.

O processo de moldagem por injeção é o mais utilizado devido a sua rapidez e diversidade geométrica das peças fabricadas, além de que a precisão é alta. Ademais, nesse método, os itens fabricados possuem utilidades muito variadas, sendo produzidos itens domésticos, ou até mesmo para indústria aeroespacial. Este processo tem um custo inicial elevado com projeto, moldes, maquinário para injeção. O custo é diluído de acordo com a quantidade de itens fabricados ao longo do tempo (GALDAMEZ, 2004). Na Figura 1, observa-se os equipamentos utilizados para a injeção plástica.

Figura 1: Processo de moldagem plástica por injeção



Fonte: Galdamez, 2004.

2.2.1. Fluxo de Material

O fluxo percorre a unidade de injeção, onde é feito o aquecimento, homogeneização do material, com aditivos ou não, e o transporte do polímero da base da tremonha até ao bico de injeção que irá inserir o material no molde (SARAIVA,2004).

2.2.2. Cilindro máquina

O cilindro possui a função de levar o fluido até o bico injetor, para isso ele pode ser formado por um esquema de parafuso, com um sistema de fuso que é acionado por motor (SARAIVA, 2004).

2.2.3. Molde

O molde é responsável pela forma geométrica desejável no projeto, através de cavidades é possível alcançar dimensões e ângulos no produto final, dando forma de acordo com a necessidade.

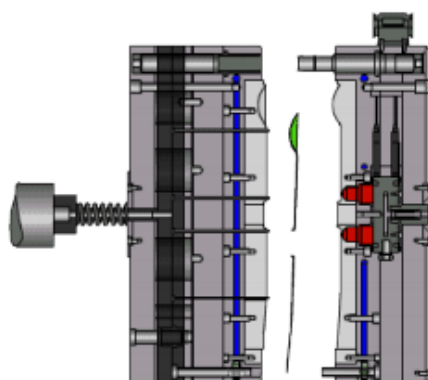
A definição técnica, é que o modelo de injeção termoplástico é um conjunto de placas de aço, ou alumínio, paralelas entre si — dispostas de forma ordenada e lógica, formando uma estrutura, chamado de porta molde. O molde tem por característica projetada, uma alta produtividade, com baixa manutenção e variabilidade mínima entre produtos, é o ponto chave do processo de injeção (SARAIVA, 2004).

O molde exige um projeto detalhado — observado na Figura 2 — e é fabricado sob medida, normalmente de acordo com a necessidade do cliente, e possui os seguinte elementos:

1. Gito e canais de alimentação;
2. Ataque;
3. Guiamento;
4. Sistema de escape de gases;
5. Cavidade;
6. Bucha;
7. Sistema de arrefecimento;
8. Sistema ejetor

9. Extração

Figura 2: Exemplo de molde manual do projetista



Fonte: Saraiva 2016.

O processo produtivo de um molde tem etapas pré definidas por empresas do setor, que levam em conta a necessidade do cliente, aprovação do gerente, e a todo instante em que uma evolução é feita, e se chega a um possível caminho para o produto, é apresentado ao cliente para decisão. Após a confirmação, é realizado um projeto detalhado com todos os componentes, ângulos e seleção de materiais para que tenha tolerância baixas (SARAIVA, 2004).

A indicação por esse meio de produção é para alta demanda de peças, visto que os custos para produzir são altos e com escala é possível diluir o valor final.

Sendo os indicativos de investimento para a produção e manutenção:

- Custo de projeto do molde.
- Custo de planejamento de produção.
- Custo de produção da cavidade do molde.
- Custo de produção da base do molde.
- Custo de montagem do molde.
- Custo de teste do molde.

- Custos indiretos com overhead.

Além de um custo de manutenção anual do molde, que pode ficar na faixa de 10 a 20% do valor do molde, dependendo da complexidade do mesmo (FERREIRA, 2002).

2.3. Impressão 3d

No final da década de 1980, com a evolução tecnológica dos meios produtivos, começou a surgir um princípio que tem por premissa a adição de material, conhecida como manufatura aditiva ou impressão 3D. (VOLPATO, 2017).

No método de manufatura aditiva, existem diferentes equipamentos que foram desenvolvidos de acordo com o avanço tecnológico: SLS, FDM, SL, AMF. Porém, o modo como ocorre a obtenção do produto 3D é semelhante, uma malha geométrica com formato específico é formada em um “fatiador” — programa dedicado a esse fim — onde, numericamente é feito um padrão computacional de deposição de material por camadas, até se obter uma peça acabada. Nesse método existem vantagens e desvantagens, quando comparado com usinagem CNC, soldagem, extrusão, metalurgia do pó, dentre outros. (VOLPATO, 2017).

2.3.1 Vantagens e limitações dos processos de manufatura aditiva

É possível levantar vantagens e limitações no processo de fabricação por tecnologia de manufatura aditiva quando é feita a comparação com métodos de fabricação tradicionais, mais relativo a usinagem CNC — no qual é feita a retirada de material de um tarugo maciço. O desperdício de material é menor no método de manufatura aditiva, não requer dispositivos de fixação, além de a parte ferramental

ser mais simples: a fabricação fica exclusiva de um único equipamento, a parte de cálculo é obtida pelo *software*. (VOLPATO, 2017).

Entretanto, é possível encontrar pontos frágeis na tecnologia, como a propriedade do material, devido a existência de camadas em toda a peça. O material possui propriedades anisotrópicas, ademais a precisão e acabamento superficial que podem sofrer variações, a escolha dos materiais a serem empregados também é limitada. O material sofre no momento da impressão com variação de temperatura, o que ocasiona empenamento.

Todavia, com a tecnologia de baixo custo podemos observar uma mudança no cenário em relação a custos: a velocidade de produção ainda é lenta quando comparado com outros meios produtivos para lotes grandes. Apesar disso, a tecnologia de baixo custo está revolucionando o setor de manufatura e ganha espaço e avanço tecnológico ano após ano (VOLPATO, 2017).

2.3.2 Tipos de tecnologias de manufatura aditivas encontradas no mercado

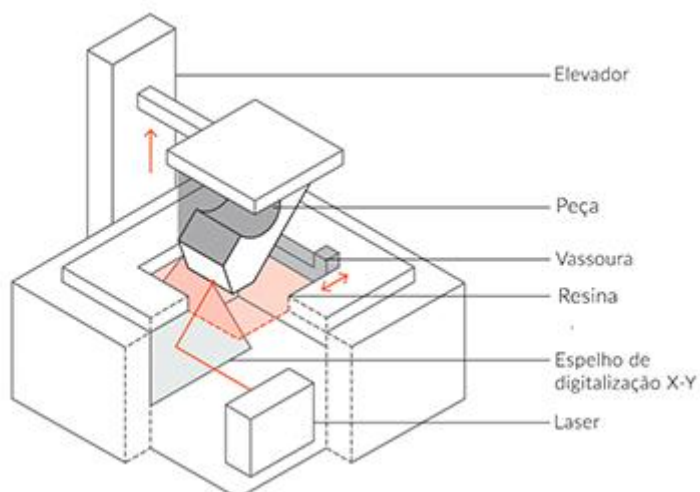
Segundo Volpato (2017), as principais tecnologias de AM encontradas no mercado são:

I. Fotopolimerização em cuba SLA

Em uma interface líquida, feixes de luz, programados, vão solidificando o material líquido camada por camada. Também conhecido como estereolitografia. Tem como vantagem maior facilidade na impressão, devido à ausência de uma regulagem tão complexa quando comparado a outros meios. As vantagens para esse processo, consistem em um excelente acabamento superficial, além de parâmetros mais simples de impressão. Outro ponto, é a facilidade para fabricação de geometrias complexas. Entretanto, os custos de bons equipamentos, assim como insumos para a fabricação, é de elevado investimento, quando comparado com o meio produtivo FDM.

Na figura 3 é possível ver a esquemática e componentes de um equipamento de impressão SLA.

Figura 3: Impressora 3D SLA

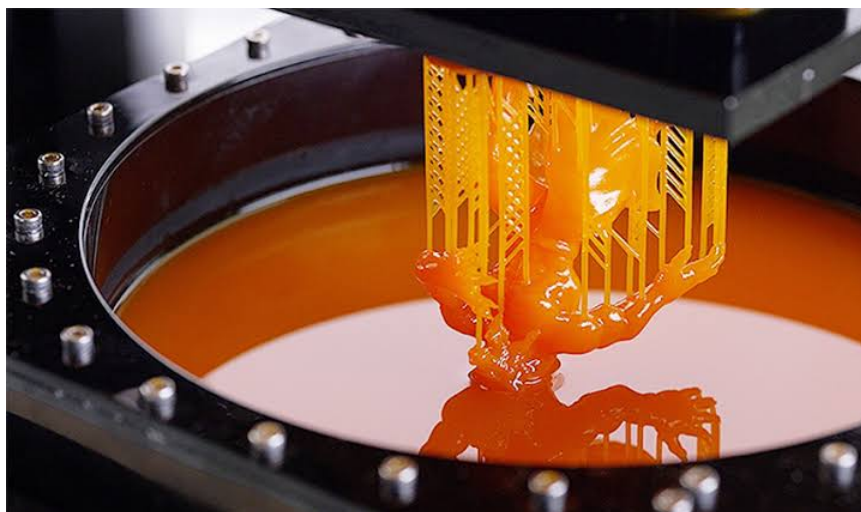


Fonte: 3D Lab

As resinas normalmente utilizadas, são fotossensíveis, com a incidência luminosa dos feixes de laser, é promovido um endurecimento do líquido camada por camada, formando assim, a peça final.

Na Figura 4 é possível visualizar uma peça impressa em SLA, com suas estruturas de apoio e suporte, é possível notar que o acabamento superficial é fino, sendo esteticamente melhor.

Figura 4: Impressora 3D SLA com peça pronta

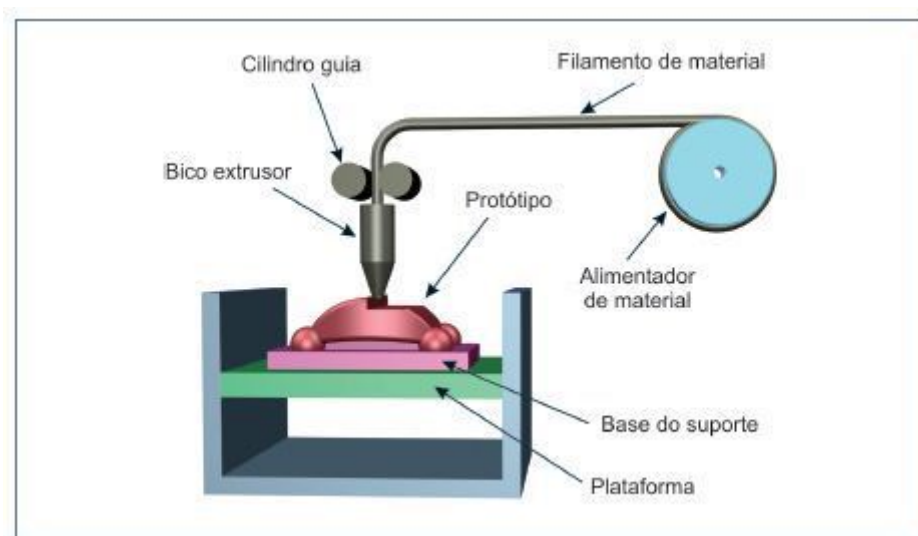


Fonte: 3D Lab

II. Extrusão de material FDM

Tecnologia FDM, tem um custo baixo de impressão, a qual possui um grande número de impressoras sendo comercializadas, e um mercado crescente. Consiste em um filamento plástico, sendo extrudado e depositado camada por camada em uma mesa com adesão ao material. É um dos meios mais encontrados hoje no ramo de impressão 3D. Possui facilidade de manuseio com o equipamento, contudo podem ocorrer alguns problemas como empenamento da peça e mal nivelamento da mesa, que proporciona um descolamento de camadas.

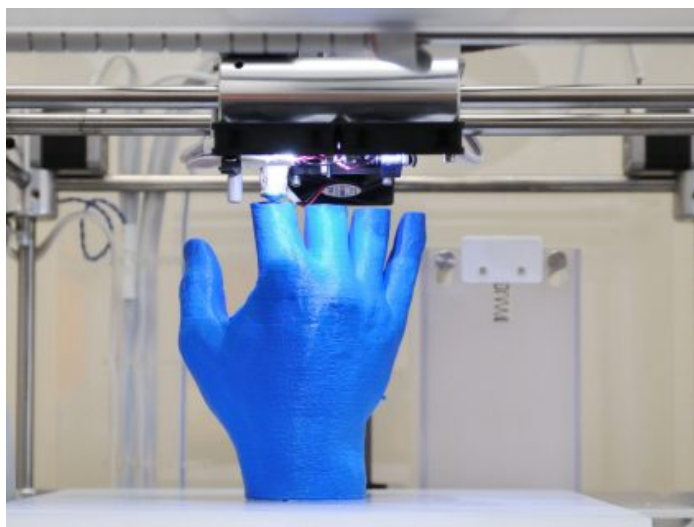
Na Figura 5 é possível visualizar os componentes para a impressão 3D e entender melhor seu funcionamento. O bico extrusor se movimenta nos eixos X, e Z, enquanto a plataforma complementa no eixo Y.

Figura 5: Impressora 3D FDM

Fonte: Electrical e-library.

Mesmo os equipamentos sendo acessíveis, a tecnologia FDM possui desvantagens em relação ao acabamento superficial, onde se formam escadas, por questão de espessura de camada e do bico extrusor. Além de, o material estar exposto a diferenças de temperatura, quando a impressora é aberta, o que pode facilitar para defeitos de retração do material. Na figura 6 é possível visualizar uma peça pronta, fabricada com a tecnologia FDM e sua superfície.

Figura 6: Impressora 3D FDM imprimindo



Fonte: Economista

III. Jateamento de material

Seletivamente, o material é depositado em gotas. Múltiplos jatos vão depositando pequenas gotas de material que forma a peça desejada. Entretanto, a resistência desse material acaba sendo menor do que outras, ocasionado pela cura do polímero.

IV. Jateamento de aglutinante

Aglutinante, ou agente ligante, líquido, é depositado para união do material em pó. Tem denominação no mercado como impressão colorida por jato. Pode imprimir peças de grande volume.

V. Fusão de leito em pó

Seletivamente, energia térmica é direcionada para região de leito em pó, sinterizando assim o material, camada após camada. É adicionado mais material para sinterização, formando assim peças feitas por camadas. As geometrias podem

ser complexas, e pode-se utilizar um leito metálico, também conhecido como SLS, DMLS ou SLM.

VI. Adição de Lâminas

A manufatura de laminados é feita a partir de recortes de material, onde são colados as lâminas para formar o sólido. Também conhecido como SDL.

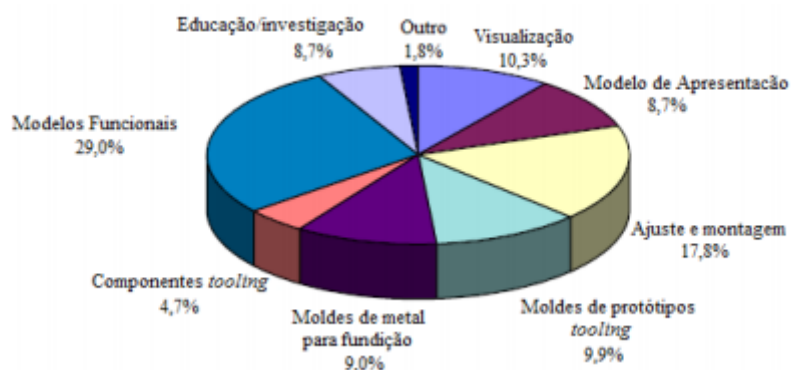
VII. Deposição com energia direcionada

Através da energia térmica gerada por laser, é feita a fundição de material à medida que o mesmo vai sendo depositado, ocorre uma deposição direta do material. Também conhecido como LENS e DMD.

2.3.3 Usos da tecnologia de impressão 3D

A impressão 3D avançou e hoje faz parte do mercado em diversos setores e áreas, não só da engenharia, mas medicina, construção, moldes, protótipos, apresentações e utensílios domésticos (ABREU, 2015).

Figura 7: Usos e aplicações da tecnologia 3D



Fonte: Abreu, 2015.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

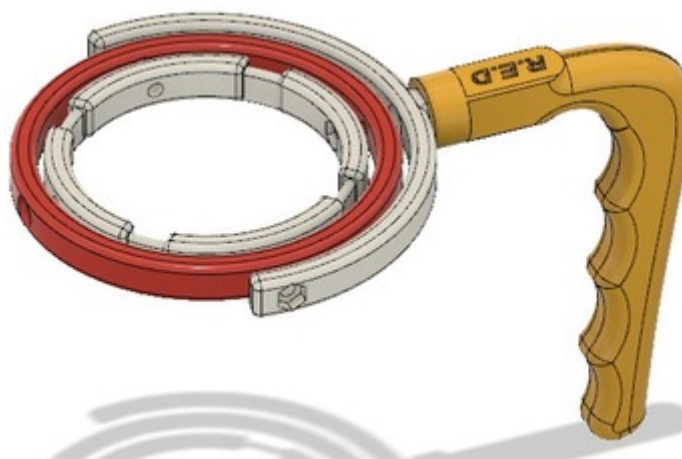
Foram realizadas comparações do custo entre os seguintes meios produtos: injeção (a partir do levantamento de custos para obtenção do molde) e impressão 3D de duas maneiras distintas: FDM convencional e SLA industrial. Ademais, foi avaliada a capacidade produtiva por molde de injeção. A fim de evidenciar o custo por peça produzida, expondo o mais adequado para cada caso.

3.1 Materiais

Foi utilizado o material ABS, comum em ambos os processos de fabricação. Para a impressão 3D foi utilizado em forma de filamento e resina.

No processo de injeção, o molde de análise é em aço 1020, orçado em empresa do segmento, a qual sugeriu fabricação de 4 moldes, sendo um par cada peça do produto com 10 unidades por molde. O molde orçado é para fabricação de um suporte de copo integrado com sistema de giroscópio — o arquivo dessa peça é disponibilizado no em um site de código aberto: “grabCAD”, de propriedade pública, conforme mostra a Figura 4. Posteriormente a mesma peça foi inserida no *software* Ultimaker Cura, para detalhamento e modelamento para impressão 3D com os parâmetros pré estabelecidos.

Figura 4: suporte de copo integrado com giroscópio



Fonte: Grabcad.

A impressão 3D pelo processo produtivo FDM, foi obtida com a impressora modelo Ender Pro 3, fabricada pela Creality e com o processo SLA pela impressora Form3 da Formlabs.

3.2 Métodos

Os parâmetros de impressão estão dispostos na Tabela 5 e 6. Ademais, a utilização de adesivo líquido fixador na mesa é um procedimento de alta importância — foi utilizado um adesivo próprio para a impressora.

Tabela 5: Parâmetros de impressão Ender Pro 3

Temperatura de impressão	235°C
Temperatura de mesa	110°C
Distância retração extrusor	1,5 mm
Velocidade de retração	45 mm/s

Velocidade da ventoinha	30% - 77PWM
Velocidade de impressão	140 mm/s

Fonte: Aatoria Própria

Para a impressora SLA, da Form3, é possível encontrar os parâmetros de impressão na tabela 6, a seguir.

Tabela 6: Parâmetros de impressão Form3

Camada padrão	25um
Velocidade de impressão	10s/camada

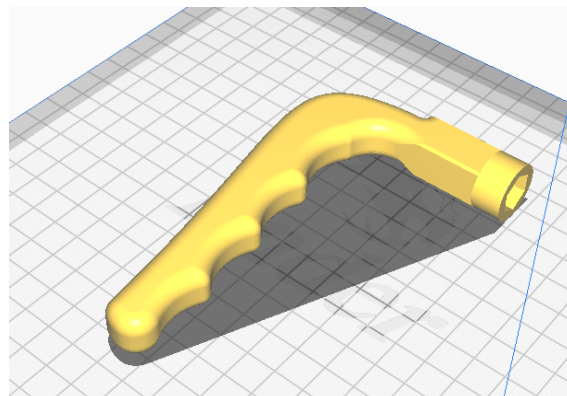
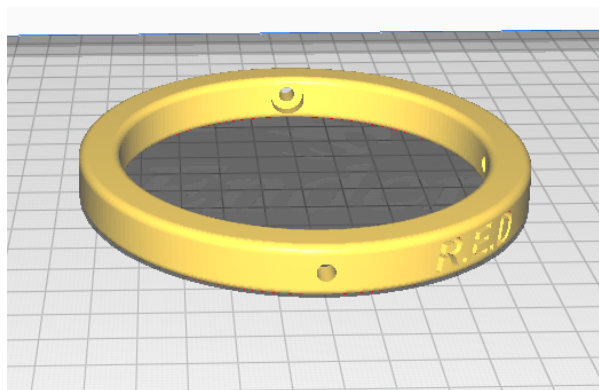
Fonte: Aatoria Própria

De acordo com o *software* Ultimaker Cura para fatiamento 3D, foi possível levantar o volume, massa e tempo de produção que estão de acordo com as figuras 5 a 8.

O produto final utilizado para os testes é um suporte de copo integrado com sistema de giroscópio, na Figura 4 observa-se o produto montado.

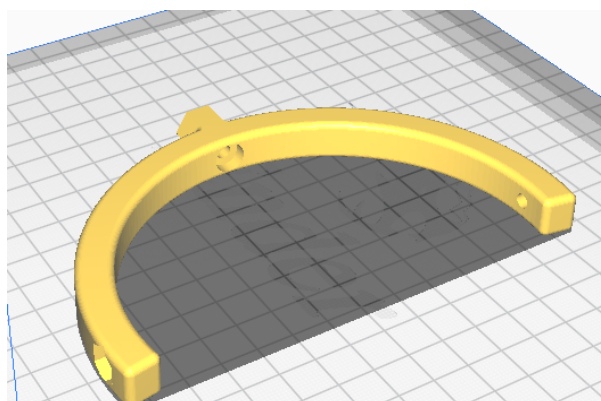
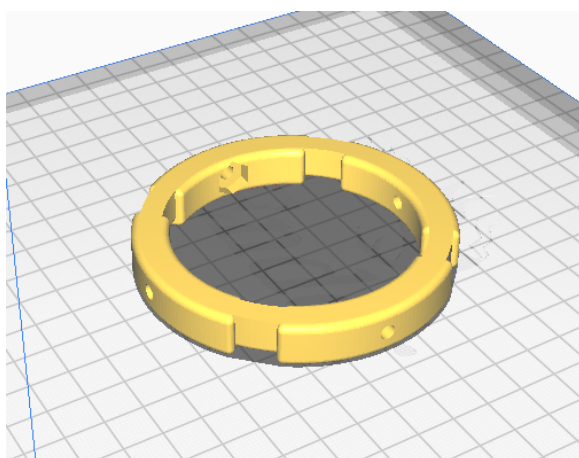
Para a impressão ele é dividido em 4 peças avulsas. As Figuras 5, 7 e 8 fazem parte do sistema de giroscópio em si e a Figura 6 é a peça referente ao pegador.

Figura 5: Peça 1 - sistema giroscópio e Figura 6: Peça 2 - pegador.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 7: Peça 2 - sistema giroscópio e Figura 8: Peça 2 - sistema giroscópio



Fonte: Autoria Própria.

Os dados para o protótipo foram detalhados na Tabela 7. O volume total da peça contém 574.704,44 mm³, sendo a peça com maior predominância a Peça 2 — Figura 6. O material é o mesmo para todas as peças: ABS. O modo de impressão

selecionado produz as peças com preenchimento de 20% e o tempo total para produção é de 9h22m.

Tabela 7: Dados protótipo

	Volume mm ³	Massa	Material	Preenchimento	Tempo
Peça 1	145.068	17g	ABS	20%	2h32m
Peça 2	201.414,2	19g	ABS	20%	2h54m
Peça 3	88.752	14g	ABS	20%	1h57m
Peça 4	139.470,24	14g	ABS	20%	1h59m
Total	574.704,44	64g			9h22m

Fonte: Autoria Própria.

O lote que pode ser produzido com uma única impressora é de 60 unidades mensais, visto o tempo de produção para uma peça, isso é devido a velocidade de impressão ser mais baixa quando comparada com a injeção.

Para o processo de injeção, o orçamento coletado em empresa especialista no setor, indicou a necessidade de maquinário e 4 moldes de aço 1020, capazes de produzir 5000 peças em uma jornada de 8 horas diárias, além dos parâmetros de injeção, dispostos na Tabela 9.

Tabela 9: Parâmetros de injeção

Temperatura de injeção	220°C
Tempo de ciclo por peça	40s

Fonte: Manual de Injeção UVA

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizado o levantamento dos custos totais da impressão 3D, nos métodos mencionados, e o custo relativo ao projeto e fabricação do molde em aço 1020. Os itens para levantamento de valores relativos a cada etapa, estão de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10: Custos dos moldes para a injeção

Item	Descrição	Qtd	Custo Unitário	Custo Total
1	Projeto	4	R\$ 2.200,00	R\$ 8.800,00
2	Aço 1020		R\$ 830,00	R\$ 3.320,00
3	Aço Ind. VC 131		R\$ 930,00	R\$ 3.720,00
4	Têmpera	4	R\$ 220,00	R\$ 880,00
5	Fresa	4	R\$ 1.800,00	R\$ 7.200,00
6	Torno	4	R\$ 360,00	R\$ 1.440,00
7	CNC	4	R\$ 3.000,00	R\$ 12.000,00
8	Bancada	4	R\$ 1.200,00	R\$ 4.800,00
9	Eletroerosão	4	R\$ 3.800,00	R\$ 15.200,00
10	Parafusos e pinos	4	R\$ 180,00	R\$ 720,00
11	Colunas e buchas	4	R\$ 360,00	R\$ 1.440,00
12	Molas	4	R\$ 230,00	R\$ 920,00
13	Nota fiscal (imposto)	1	R\$ 1.418,00	R\$ 1.418,00
	Total			R\$ 61.858,00

Fonte: Tornearia e ferramentaria Abreu

A estimativa de vida útil do molde, de acordo com o fabricante, é relativa aos cuidados com o mesmo, podendo um único molde, se bem conservado, realizar

injeção de milhões de peças. Todavia, para um comparativo realista, será feita uma análise por tempo de produção, e a quantidade na menor capacidade produtiva dos equipamentos, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11: Custos com a Injetora

Item	Descrição	Qtd	Custo Unitário	Custo Total
1	Injetora UVA - 150ton	1	R\$350.000,00	R\$ 350.000,00
2	Instalação	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
3	Manutenção Trimestral	1	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00
4	Torre de resfriamento	1	R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00
5	Geladeira para moldes	1	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00
	Total			R\$ 397.200,00

Fonte: Tornearia e ferramentaria Abreu

O fabricante da injetora especifica uma potência de 177kWh, entretanto é necessário uma rede trifásica para o correto funcionamento do equipamento, o que gera encargos energéticos diferentes quando comparado com uma rede doméstica.

Para injeção, o fabricante do molde especifica que o ciclo seja de 40 segundos e massa de árvore, que são as rebarbas, sendo de 100 gramas. Para a montagem completa do produto final é necessário 2,66 minutos líquidos.

A impressora FDM possui baixo consumo de energia, considerando que o material ABS exige a máxima potência do equipamento, o gasto energético tem um valor de 0.27kWh. O valor em reais varia de acordo com o local de produção, pois existem companhias energéticas com diferentes tarifas. Entretanto, para produção não é necessário nenhum outro equipamento além da impressora, o que facilita sua utilização. Os custos referentes a impressão FDM estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12: Custos Impressora FDM

Item	Descrição	Qtd	Custo Unitário	Custo Total
1	Impressora 3D	1	R\$2.200,00	R\$ 2.200,00
2	Calibragem	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
3	Manutenção Trimestral	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
	Total			R\$ 2.460,00

Fonte: 3D touch revenda

Para os equipamentos, também é necessário contabilizar a depreciação anual, cerca de 10% ao ano, segundo a Receita Federal, dentre outros. Na Tabela 13 é levantado os custos de uma impressora SLA modelo industrial..

Tabela 13: Custos Impressora industrial

Item	Descrição	Qtd	Custo Unitário	Custo Total
1	Impressora 3D	1	R\$55.000,00	R\$55.000,00
2	Calibragem	1	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00
3	Manutenção Trimestral	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
4	Instalação		R\$ 2.300,00	R\$ 2.300,00
	Total			R\$ 62.000,00

Fonte: FormLabs

Outro ponto importante é o custo operacional com funcionário para realizar a operação, a média salarial do cargo de operador de injetora é de R\$1.605,00 para uma jornada de 8h diárias. Entretanto, para empresa há um custo com encargos sociais no montante de 37% do valor salarial, além do valor de 13º salário, considerados em divisão mensal — os custos mencionados estão dispostos na Tabela 14.

Tabela 14: Custos operacionais em jornada de 8h/dia

Item	Descrição	Qtd	Custo Unitário	Custo Total
1	Funcionário	1	R\$1.605,00	R\$1.605,00
2	Encargos sociais	37%	R\$ 593,85	R\$ 593,85
3	13ºSalário mensal	1	R\$ 133,75	R\$ 133,75
	Total			R\$ 2.332,6

Fonte: Tornearia e ferramentaria Abreu

Para a realização da produção em ABS, é necessário contabilizar os canais de entrada, e para a impressão 3D os suportes de sustentação em ângulos maiores que 45°, pois se trata de material de não utilização final — a Tabela 15 expõe os custos com matéria prima.

Tabela 15: Custos de matéria prima

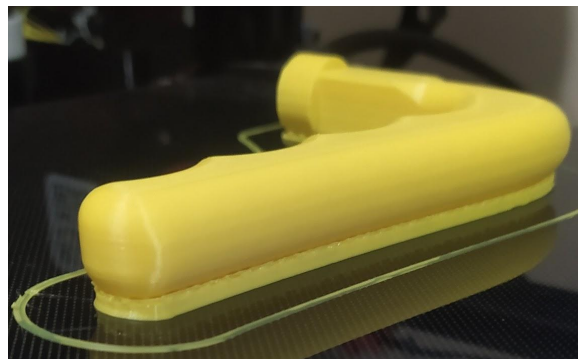
Item	Descrição	Qtd	Custo Unitário	Custo Total
1	ABS filamento	1 Kg	R\$120,00	R\$120,00
2	ABS granulado	1 Kg	R\$ 25,00	R\$ 25,00
3	ABS resina	1Kg	R\$ 500	R\$ 500

Fonte: 3D Touch revenda

A impressão foi possível na impressora 3D com tecnologia FDM da Creality, porém, em comparativo com injeção e impressão industrial, temos um acabamento inferior, devido se tratar de uma impressora doméstica. Todavia, o protótipo se mostrou resistente e usual.

O arranjo foi dividido em duas partes: Figura 9 relativo ao primeiro arranjo e Figura 10 em relação ao segundo arranjo. Essa disposição é necessária para melhor posicionamento na mesa de impressão.

Figura 9: Impressão do primeiro arranjo e Figura 10: Segundo arranjo impresso



Fonte: Autoria própria

O primeiro arranjo teve um tempo de produção de 6h, 6m e 43 s, na prática quando realizada a impressão. É possível verificar na base do segundo arranjo suportes de apoio, gerados para suporte da produção da peça.

Para o segundo arranjo foi aferido, que o tempo de produção foi de 2h, 40m e 53s.

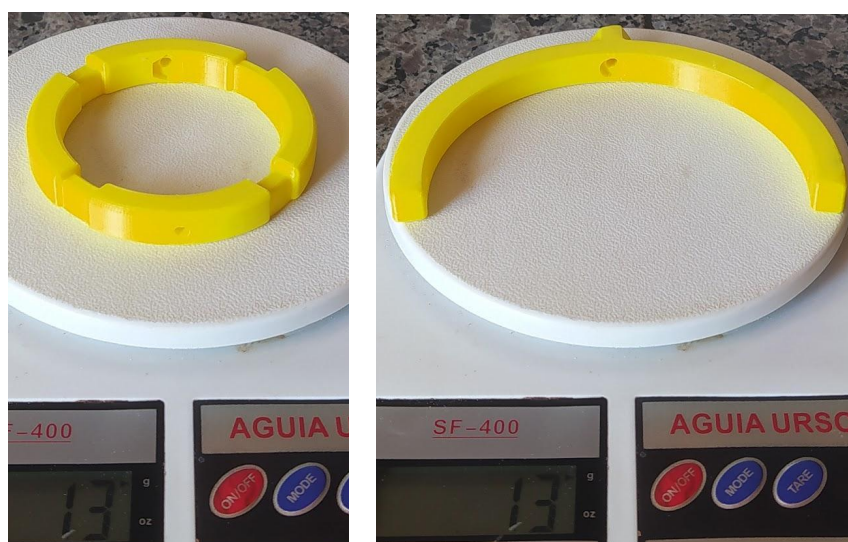
Para referenciar os parâmetros de custo com material, foi realizada a aferição de massa das peças individualmente e as devidas sobras, exibidas nas Figuras 11 a 15 a seguir, a balança estava medindo em gramas.

Figura 11: Massa da peça 1 e Figura 12: Massa da Peça 12



Fonte: Autoria própria

Figura 13 : Massa da peça 3 e Figura 14: Massa da peça 4



Fonte: Autoria Própria

Imagem 9: Massa de rebarba



Fonte: Autoria Própria.

É possível quantificar a massa e os custos relativos gastos com material na impressão 3D FDM feita na impressora Creality, de acordo com a Tabela 16 indicando a previsão de material e tempo em comparação com a massa e o tempo realmente necessários.

Tabela 16: Dados protótipo reais e simulados na impressão 3D FDM

	Massa simulada	Massa Real	Tempo simulado	Tempo Real	Custo Real material
Peça 1	17g	17g	2h32m	2h30m	R\$2,04
Peça 2	19g	18g	2h54m	2h40m	R\$2,16
Peça 3	14g	13g	1h57m	1h50m	R\$1,56
Peça 4	14g	13g	1h59m	1h47m	R\$1,56
Rebarbas		3g			R\$0,36

Total	64g	64g	9h22m	8h47m	R\$7,68
-------	-----	-----	-------	-------	---------

Fonte: Autoria Própria.

A diferença no tempo de produção se deve ao cálculo ser uma estimativa pelo *software*, sofrendo assim algumas variações. Para a fabricação da peça foi gasto o total de R\$15,88 em energia e material.

Tabela 17: custos energéticos impressão 3D FDM

Item	Tempo	Custo energético
Arranjo 1	06:06:43h	R\$ 1,65
Arranjo 2	02:40:53h	R\$ 0,72
Total	08:47:36h	R\$ 2,37

Fonte: Autoria Própria.

O custo da energia foi levado em consideração a concessionária COPEL, com um valor de R\$1,00/kWh.

A impressora SLA também fabrica a peça em camadas, porém são camadas mais finas, o que proporciona um acabamento muito melhor a peça, tornando a estética algo de extrema diferença quando comparada com a tecnologia a FDM. Sendo assim, é possível comparar com a injeção de um modo mais igual. Na Tabela 18 é abordado a simulação de produção do produto e seus custos relativos a material.

Tabela 18: Dados protótipo simulados na impressão 3D SLA

	Massa simulada	Tempo simulado	Custo Real material
Peça 1	17g	2h32m	R\$8,5
Peça 2	19g	2h54m	R\$9,5
Peça 3	14g	1h57m	R\$7,00

Peça 4	14g	1h59m	R\$7,00
Total	64g	9h22m	R\$32,00

Fonte: Autorial própria

A potência do equipamento é semelhante à da tecnologia FDM, sendo o cálculo energético o mesmo, conforme Tabela 19.

Tabela 19: custos energéticos impressão 3D SLA

Item	Tempo	Custo energético
Arranjo	9h22m	R\$ 2,52
Total		R\$ 2,52

Fonte: Autorial Própria.

Para fabricação das peças injetadas, o fabricante especificou no projeto, a massa da árvore, que é o preenchimento do canal até a chegada no interior do molde, onde está com o formato da peça. Todavia, essa massa é retornada para o ciclo, sendo reutilizada. Na tabela 20, é possível encontrar as massas de cada peça, assim como os tempos e custos.

Tabela 20: Dados protótipo injetado fornecido pelo fabricante do molde

	Massa simulada	Massa Árvore	Tempo simulado	Custo Real material
Peça 1	17g	100g	40s	R\$ 0,425
Peça 2	19g	100g	40s	R\$ 0,475
Peça 3	14g	100g	40s	R\$ 0,35
Peça 4	14g	100g	40s	R\$ 0,35
Total	64g	400g	160s	R\$ 1,60

Fonte: Autorial Própria.

O custo energético é um fator importante, visto que a injetora é um equipamento com motores maiores, mais potência de funcionamento. Todavia, os custos são relativos a tarifação normal, não industrial, como abordado na Tabela 20.

Tabela 21: custos energéticos Injeção

Item	Tempo	Custo energético
Arranjo	160s	R\$ 7,86
Total		R\$ 7,86

Fonte: Autoria própria

A energia é um valor comum em todos os meios produtivos, sendo um fator de alto custo, entretanto, alguns locais possuem benefícios e isenções em impostos. Quando falamos de alto consumo, a energia é contratada por demanda, não sendo o mesmo valor que o comercial ou residencial, incidindo faixa industrial que possui um custo inferior. Todavia, analisou-se de forma igual a tarifa energética, para fins de estudo. Entretanto, para o custo por peça, com energia, no método de injeção, o valor é dividido por 10, que é o número de unidades fabricadas em um mesmo ciclo de injeção, diluindo assim o custo energético por peça.

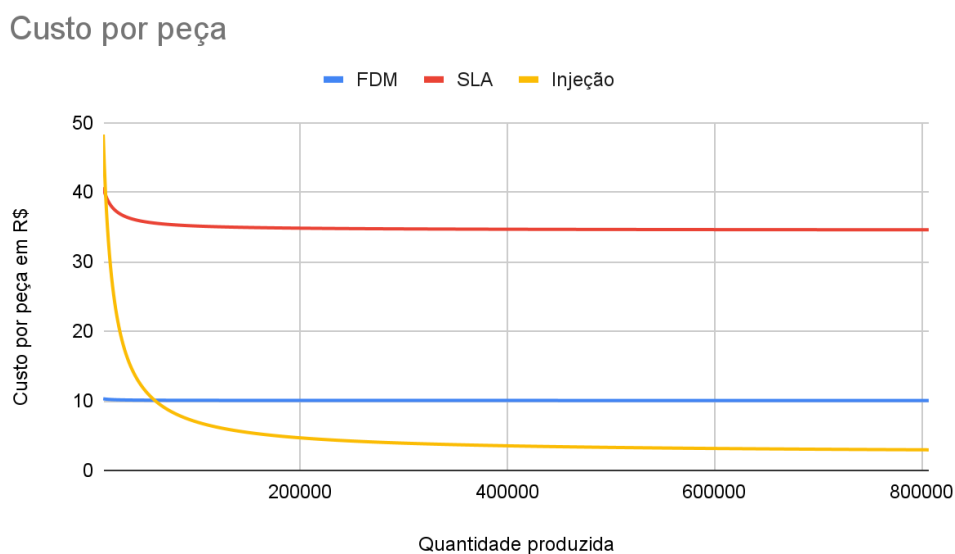
Tabela 22: Custo unitário por peça produzida

Item	Custo Inicial	Custo energético por peça	Capacidade mensal de produção	Custo de material por peça
Impressão 3D FDM	R\$2.460,00	R\$ 2,37	80 peças/mês	R\$7,68
Impressão 3D SLA	R\$62.000,00	R\$ 2,52	70 peças/mês	R\$32,00
Injeção	R\$459.058,00	R\$ 0,786	160.000 peças/mês	R\$1,60

Fonte: Autoria própria

Considerando o investimento total, em maquinários, matéria prima, energia, obtém-se a Figura 10 — comparação entre os três meios produtivos, comparando assim, a quantidade de peças e seu devido retorno financeiro.

Figura 10: Custo por peça comparando as tecnologias



Fonte: Autoria própria

A Figura 10 inicia em 10.000 unidades de peças e aumenta gradualmente ao passo de 1000 unidades. É possível notar que o ponto de intersecção entre as tecnologias SLA e injeção, são bem próximos do início, devido ao alto custo. É notável que os custos são diluídos ao longo do número de peças e se torna constante a medida que aumentam as quantidades. Entretanto para a injeção, é exigido um número muito maior de peças para atingir o equilíbrio, quando comparado com os métodos de produção 3D.

Os pontos de intersecção entre as tecnologias 3D e a injeção, em questão produtiva, é de 60.000 peças para que a injeção seja mais vantajosa financeiramente, em comparação com a impressão FDM e de 13.500 peças, para interceptar os custos produtivos da impressão SLA.

Todavia, para realizar o processo de impressão de uma amostragem tão grande de peças, seriam necessários anos de impressão da comparação entre impressão FDM e injeção, aproximadamente, 62 anos.. E para o processo de impressão SLA e injeção, um tempo para a intersecção em cerca de 16 anos. Enquanto o processo de injeção sozinho, tem capacidade de produção diária de cerca de 5000 peças.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo verificar os custos referentes de um produto plástico, pelos meios produtivos como injeção, impressão 3D FDM e impressão 3D SLA. Tendo em vista a elaboração de um gráfico para análise de custo em relação a quantidade de peças produzidas.

Portanto, analisando os resultados foi possível identificar que a impressão 3D em um comparativo de custos com o processo de injeção, se torna algo viável para uma escala produtiva baixa. Entretanto, para que haja competitividade, o tempo de produção ainda é um empecilho que inviabiliza o processo em maiores quantidades. Dessa forma, para processos rápidos de prototipagem, impressão de peças únicas ou personalizadas, a impressão 3D se torna extremamente atrativa.

Através do gráfico obtido, nota-se o comparativo entre os diferentes tipos de impressão: FDM e SLA, foi possível analisar que os pontos de custos nunca se interceptam, sendo o processo por FDM mais atrativo financeiramente. Porém, quando analisado esteticamente, a impressão por SLA, se torna algo mais vantajoso, devido a qualidade final do produto.

Tendo em vista essa análise gráfica, o fator tempo é algo que atrapalha o desenvolvimento produtivo da impressão 3D, na comparação encontrou-se uma grande diferença para equiparar os custos por peça da injeção.

Todavia, a substituição da produção injetada por impressão 3D está distante, levando como principal fator a velocidade de construção da peça, já que em questões estéticas a impressora industrial atende os requisitos necessários.

Para trabalhos futuros, se torna interessante a análise de resistência dos diferentes métodos produtivos, ou até mesmo o estudo de um aumento de velocidade de impressão, para que as tecnologias continuem avançando.

6. REFERÊNCIAS

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. **Artiliber editora, São Paulo**, p. 110-115, 2002.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; DE PAOLI, Marco Aurelio. **A tecnologia da reciclagem de polímeros. Química nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

SCHLICKMANN, Paulo Henrique. A PRODUÇÃO DE PRODUTOS PLÁSTICOS NO BRASIL: UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA E GEOECONÔMICA. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 13, n. 2, p. 57-76, 2015.

PIATTI, Tania Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. **Maceió: Edufal**, p. 51, 2005.

PEREIRA, Felipe Caixeta. **Caracterização do comportamento em fadiga do plástico ABS produzido por extrusão e manufatura aditiva**. 2019.

GALDAMEZ, Edwin V. Cardoza; CARPINETTI, Luiz C. Ribeiro. Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica. **Gestão & Produção**, v. 11, p. 121-134, 2004.

SARAIVA, Paula Alexandra da Cruz. **Projeto de um molde de injeção**. 2016. Tese de Doutorado.

FERREIRA, Cristiano Vasconcellos et al. **Metodologia para as fases de projeto informacional e conceitual de componentes de plástico injetados integrando os processos de projeto e estimativa de custos.** 2002.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D.** Editora Blucher, 2017.

ABREU, Sofia Alexandra Chaves. **Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo.** 2015.