

O DESENVOLVIMENTO DE UMA INJETORA PORTÁTIL DE TERMOPLÁSTICOS: contribuindo para economia circular e potencializando pequenos negócios e espaços *makers*

THE DEVELOPMENT OF A PORTABLE THERMOPLASTIC INJECTOR: contributing to the circular economy and empowering small businesses and makerspaces

SOLIZ ENCINAS, RODRIGO; Mestre; Universidade Federal de Santa Catarina

soliz0@lffigueiredo2009@gmail.com

FIGUEIREDO, Luiz Fernando; Doutor; Universidade Federal de Santa Catarina

lffigueiredo2009@gmail.com

Resumo

Este artigo explora o desenvolvimento, em um período de 4 meses, de uma injetora portátil para reciclagem de resíduos plásticos de diversas origens, por meio da óptica do *design* industrial e cultura *maker*, com o objetivo de potencializar pequenos negócios e espaços *maker*, possibilitando a fabricação de objetos com a sustentabilidade como valor agregado. O foco é o desenvolvimento de baixo custo de equipamentos para espaços *maker*, a aplicação de tecnologia de injeção de plástico em pequenos ambientes, o uso da manufatura aditiva (MA) como alternativa para fabricação de moldes personalizados e a compreensão mais aprofundada da reciclagem de termoplásticos como ativos para a criação de produtos, ajudando em uma economia mais circular.

Palavras Chave: *design* industrial; cultura *maker*; fabricação digital.

Abstract

This article explores the development, over a 4-month period, of a portable plastic injector that utilizes plastic waste from various sources, through the lens of industrial design and maker culture. Its aim is to empower small businesses and maker spaces by enabling the production of high-value objects with a focus on sustainability. The focus includes low-cost equipment development for maker spaces, the application of plastic injection technology in small environments, the use of additive manufacturing (AM) as an alternative for producing custom molds, and a deeper understanding of thermoplastic recycling as a resource for creating products, contributing to a more circular economy.

Keywords: *industrial design; maker culture; digital manufacture.*

1 Introdução

A poluição de plásticos causa mais de US\$ 8 bilhões em danos econômicos globais anuais, contabilizado pelo UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

De acordo com dados do Banco Mundial (2019), o Brasil ocupa a quarta posição no *ranking* dos maiores produtores de resíduos plásticos no mundo, com uma produção anual total de 11,3 milhões de toneladas, conforme mostra o Quadro 1. Ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. Embora mais de 10,3 milhões de toneladas desses resíduos sejam coletadas, representando uma taxa de coleta de 91%, apenas 145 mil toneladas, equivalente a 1,28% do total, são efetivamente recicladas. Este índice é considerado um dos mais baixos dentre os países analisados e está significativamente abaixo da média global de reciclagem de plástico, que é de 9%.

Quadro 1 - Visão global da gestão de resíduos sólidos (plásticos)

País	Total de resíduo plástico gerado ¹ (t)	Total incinerado (t)	Total reciclado (t)	Relação produção e reciclagem (%)
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,92%
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73%
Brasil	11.355.220	0	145.043	1,28%
Indonésia	9.885.081	0	362.070	3,66%
Rússia	8.948.132	0	320.088	3,58%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,45%
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,68%
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,25%

¹ Valor total de plástico descartado em resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos de construção, lixo eletrônico e resíduos agrícolas, na fabricação de produtos durante um ano.

Fonte: Formatado pelos autores. Baseado em WWF / Banco Mundial (2019)

Mesmo com a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010 (PNRS - Lei 12.305/2010), o que acontece no Brasil é apenas um encaminhamento parcial dos resíduos plásticos para as usinas de reciclagem, ocorrendo perdas na separação dos tipos de plásticos, devido a contaminação, multicamadas de embalagens ou baixo valor de reciclabilidade. Quase 7,7 milhões de toneladas de plástico terminam em aterros sanitários. Outras 2,4 milhões de toneladas são descartadas de forma irregular, em lixões a céu aberto. O estudo do WWF, com dados do Banco Mundial (BM), analisou a relação com o plástico em mais de 200 países. Revelou que o Brasil produz em média 1 kg de resíduo plástico por habitante a cada semana.

Segundo o relatório *Turning on the tap* (UNEP, 2023), a redução da poluição plástica em cerca de 80% até 2040 é viável se os países e as empresas implementarem mudanças substanciais nas

políticas e no mercado, utilizando as tecnologias existentes. O relatório propõe reduzir drasticamente a geração de resíduos plásticos por meio da adoção de uma abordagem circular, mantendo os plásticos fora dos ecossistemas, reintegrando-os na economia, com possível obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais significativos.

Em 2011, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) definiu a Economia Circular (EC) como um modelo que diminui o consumo de recursos e resíduos, promovendo a reutilização e reciclagem ao longo dos processos de produção, distribuição e consumo.

A EC pode ser aplicada em diferentes níveis, a saber, micro (empresa, ou um único produto), meso (sistemas industriais e redes) e macro (sociedade ou país) (SUCHEK et al., 2021). Embora focada mais em uma perspectiva econômica, ambiental e tecnológica, é impossível separar a EC da sociedade, o que a vincula ao conceito de desenvolvimento sustentável.

A Comissão Europeia ressalta o papel do *design* no plano de ação da União Europeia para o desenvolvimento sustentável, enfatizando que um *design* aprimorado pode tornar produtos mais duráveis e facilitar sua reparação, atualização, reciclagem ou remanufatura (EUROPEAN PARLIAMENT RESEARCH SERVICE, 2017).

O *design* é uma área de atuação voltada para novas interações e interconexões de signos, produtos, ações, ambientes e sistemas visando atender às novas necessidades e valores da humanidade (BUCHANAN, 1992) a partir de sua perspectiva projetual, especialmente no que tange a problemas complexos e multidisciplinares (BONSIEPE, 2015). O *design* é uma disciplina que pode se manifestar em qualquer área do conhecimento e da prática humana, e relaciona-se à inovação e à ação efetiva (BONSIEPE, 2015). A pesquisa em *design* visa gerar conhecimento aplicável tanto a *designers* quanto a não-*designers*, para aprimorar seus processos criativos. Este conhecimento engloba diversas ferramentas, como visões estratégicas, propostas de projeto, desenvolvimento de produtos e reflexões sobre o sentido do *design*. Manzini (2009) destaca que esse conhecimento deve ser explícito, discutível, transferível e acumulável, facilitando sua expressão, debate, aplicação e a produção contínua de novos saberes no campo do *design*.

A cultura *maker*, segundo Smith et al. (2016), é vista como uma inovação de base centrada nas pessoas com estratégias de geração de conhecimento que podem auxiliar no enfrentamento das mudanças climáticas, envolvendo comunidades em soluções sustentáveis que atendem a contextos, interesses e valores locais. Os espaços *maker* possuem tecnologias que facilitam a fabricação rápida de peças para reparo, remanufatura e reciclagem, apoiando atividades da EC. Muitas dessas atividades de extensão da vida útil dos produtos podem ocorrer em espaços *maker*, embora a estrutura física de um *makerspace* ofereça benefícios adicionais, como ferramentas e conhecimentos especializados (PRENDEVILLE et al., 2017).

Desta forma, a pesquisa tem como objetivo geral explorar o desenvolvimento a baixo custo de uma pequena máquina injetora manual para plástico reciclado e moldes fabricados por manufatura aditiva por fotopolimerização em cuba, auxiliando na busca de uma EC. Ainda, a pesquisa tem como objetivos específicos: (I) a utilização de resíduos plásticos oriundos de tampinhas de garrafas PET, embalagens e resíduos plásticos (PLA, ABS, PETG) de impressão 3D, para fabricação de pequenas peças injetadas; (II) validar a qualidade das peças; (III) testar o potencial de reciclagem com foco em uma abordagem circular; e (IV) avaliar a possibilidade de tornar a máquina um equipamento útil nos espaços *maker*.

Espera-se que em um futuro próximo esta tecnologia esteja presente no espaço de fabricação do NAS Design, para auxiliar na promoção do ensinamento sustentável da comunidade nas

atividades que o laboratório se faz presente. Além de estar integrada a espaços *maker*, estúdios de *design*, escritórios de engenharia e pequenos negócios de bijuteria e artesanato, impulsionando o conhecimento, a economia criativa e auxiliando na busca do desenvolvimento sustentável.

Assim, este estudo insere-se no contexto do eixo 3 - *Design* e tecnologia, do Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em *Design* (P&D *Design*), onde são abordadas as práticas contemporâneas do *design*.

O artigo em questão é parte integrante de uma pesquisa maior, a tese de doutorado intitulada: *Circular-Driven-Design: um framework para reciclagem de polímeros*, com o objetivo de desenvolver uma rede de negócios utilizando o resíduo plástico como ativo, a partir da abordagem sistêmica do *design*.

Nos próximos capítulos serão abordados: (I) a revisão de literatura - com seus autores e conceitos; (II) a metodologia - que guiou os autores deste artigo nas etapas para o desenvolvimento do estudo; (III) os resultados do experimento; (IV) a discussão dos resultados; e (V) a conclusão.

2 Revisão de Literatura

2.1 O plástico e o seu potencial de reciclagem

Desde sua introdução, o plástico revolucionou a sociedade com sua flexibilidade, leveza e durabilidade, especialmente em embalagens alimentícias que reduzem desperdícios e prolongam a vida útil dos produtos (SOBOLEV et al., 2019). No setor automobilístico, construção civil e agronegócio, o plástico otimiza recursos e reduz custos. Nas casas, os eletrodomésticos e brinquedos de plástico oferecem praticidade (ANDRADY & THOMPSON, 2005). No entanto, a produção mundial de plástico aumentou drasticamente, de 1,5 milhão de toneladas em 1950 para 335 milhões em 2016 (GEYER et al., 2017). Apenas 9% é reciclado e 12% incinerado, o restante vai para aterros ou depositados no meio ambiente (KAZA et al., 2018).

O plástico, pertencente à família dos polímeros, é amplamente utilizado devido às suas propriedades e custo baixo. Polímeros são materiais formados por macromoléculas, compostas por unidades básicas chamadas meros, que formam longas cadeias. Os polímeros, geralmente derivados de petróleo ou gás natural, também podem ser obtidos de madeira, carvão, álcool e CO₂, embora a custos mais altos, tornando-os menos competitivos (GORNÍ, 2003). Polímeros são classificados em termoplásticos, termorrígidos (termofixos) e elastômeros (borrachas) (GORNÍ, 2003).

Termoplásticos, os polímeros comerciais mais comuns, podem ser fundidos e dissolvidos repetidamente, permitindo a reciclagem, uma característica essencial atualmente. Exemplos de termoplásticos incluem polietileno (PE), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), policloreto de vinila (PVC), poliestireno (PS), polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), poliamidas (náilon) e policarbonato (PC) (GORNÍ, 2003). Já os polímeros termorrígidos são rígidos, frágeis e muito resistentes às variações de temperatura, o que não possibilita que se fundam mais depois de prontos. O aquecimento destes polímeros prontos em altas temperaturas, promove decomposição do material antes de sua fusão, por isso sua reciclagem é complicada (GORNÍ, 2003). São exemplos: (a) baquelite; (b) poliuretanos (PU); (c) poliacetato de etileno vinil (EVA); (d) poliésteres e (e) resinas fenólicas. Já os elastômeros são as borrachas que estão classificadas em uma categoria intermediária entre os termoplásticos e os

termofixos: não são factíveis de fusão, apresentam bastante elasticidade e não são rígidos como os termofixos. Pela sua incapacidade de fusão, sua reciclagem é bastante complicada (GORNI, 2003).

Os polímeros são mais leves que metais ou cerâmica, como o PE, que chega a ser três vezes mais leve que o alumínio e oito vezes mais leve que o aço. Por isso, são usados nas indústrias de transporte, embalagens e equipamentos esportivos. Os polímeros possuem alta flexibilidade e resistência ao impacto, podendo substituir vidro em aplicações como lentes de óculos e faróis de automóveis. Eles requerem aquecimento de 25°C a 400°C para conformação, consumindo menos energia e utilizando equipamentos mais simples que metais ou cerâmica (GORNI, 2003).

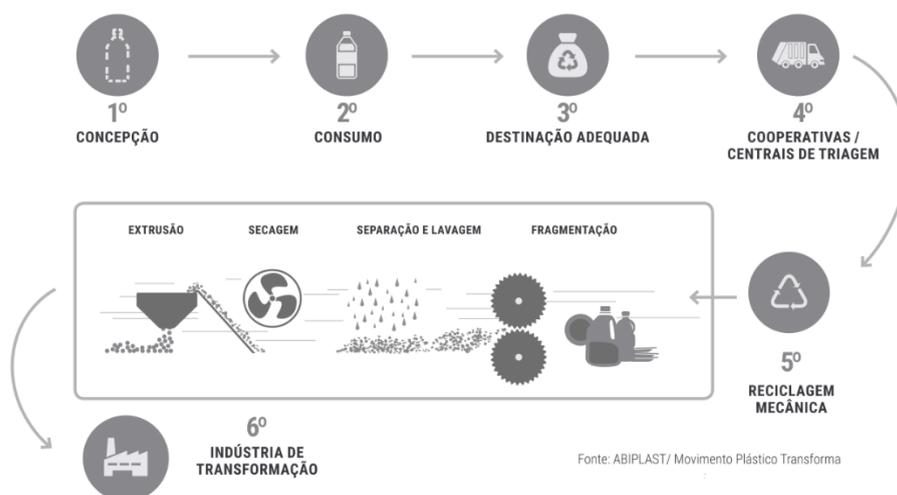
2.1.1 O processo de reciclagem dos termoplásticos

A reciclagem contribui para a redução da poluição ambiental, preservando a água, o ar e o solo, além de prolongar a vida útil dos aterros sanitários e diminuir a quantidade de resíduos sólidos. Também minimiza a exploração de recursos não renováveis, como o petróleo, e cria oportunidades de emprego e renda. Produtos reciclados competem no mercado com aqueles feitos de matérias-primas virgens, estimulando a concorrência. Além disso, reduz os custos com limpeza urbana e poluição ambiental (SCARLATO e PONTIN, 1992).

Romão et al. (2009), explica que existem diversos tipos de processos de reciclagem para os termoplásticos: (a) reciclagem primária ou pré-consumo - converte-se os resíduos plásticos em produtos com desempenho semelhante aos feitos com resinas virgens; (b) reciclagem secundária ou pós-consumo - materiais dos mais diversos tipos, provenientes de lixões ou coleta seletiva, necessitam de triagem e preparação para reutilização; (c) reciclagem terciária - por meio de processos termoquímicos (pirólise, quimólise, conversão catalítica) converte resíduos plásticos em produtos químicos, combustíveis ou até mesmo podem originar as resinas virgens novamente; e (d) reciclagem quaternária - ocorre por incineração, gerando dióxido de carbono, água e calor.

Segundo a Associação Brasileira de Indústrias do Plástico (ABIPLAST) os processos de reciclagem mais utilizados são as reciclagem primária e secundária. A Figura 1 abaixo demonstra de maneira resumida as etapas deste processo de reciclagem secundária:

Figura 1 - Esquema das etapas do processo de reciclagem secundário



Fonte: Formatado pelos autores. Baseado em ABIPLAST (2019)

O sistema de identificação de plásticos, introduzido em 1988 pela Sociedade das Indústrias de Plásticos (SPI) nos EUA, visa facilitar a identificação e reciclagem adequada dos plásticos (ROMÃO et al., 2009). O código SPI identifica o tipo de resina em embalagens plásticas, ajudando na separação de materiais nos recicladores. A norma brasileira ABNT NBR 13230, inspirada no sistema SPI, ainda não foi totalmente padronizada. O código varia de 1 a 7 dentro de um triângulo de setas, indicando o tipo de plástico para facilitar a reciclagem (ROMÃO et al., 2009).

Quadro 2 - Classificação dos termoplásticos

Resinas	Aplicação	Reciclagem
 PET - polietileno tereftalato	Garrafas para refrigerante, água, óleo comestível, molho para salada, higiene pessoal e xampu	Fibra para carpete, tecido, vassoura, embalagem de produtos de limpeza, materiais diversos
 PEAD - polietileno de alta densidade	Garrafas para iogurte, suco, leite produtos de limpeza; potes para sorvete e frascos xampu	Frascos para produtos de limpeza, óleo para motor, tubulação de esgoto, conduíte
 PVC - policloreto de vinila	Filmes estiráveis; frascos higiene bucal, xampu; produtos higiene pessoal	Mangueira para jardim, tubulação de esgoto, cones de trânsito, cabos
 PEBD - polietileno de baixa densidade	Filmes encolhível, embalagem flexível para leite, iogurte, sacos de compras, frascos	Envelopes, filmes, sacos, tubulação para irrigação
 PP - polipropileno	Potes para margarina, sorvete, tampas, rótulos, copos descartáveis, embalagens para xampu	Caixas e cabos para bateria de carro, vassouras, escovas, funil para óleo, caixas bandejas
 PS - poliestireno	Copos e pratos descartáveis, pote para iogurte, bandejas, embalagens para ovos, acolchoamento	Placas para isolamento térmico, acessórios para escritório e bandejas
 Outros	Embalagens multicamadas, mamadeiras, CD, DVD, utilitários domésticos	Madeira plástica e reciclagem energética

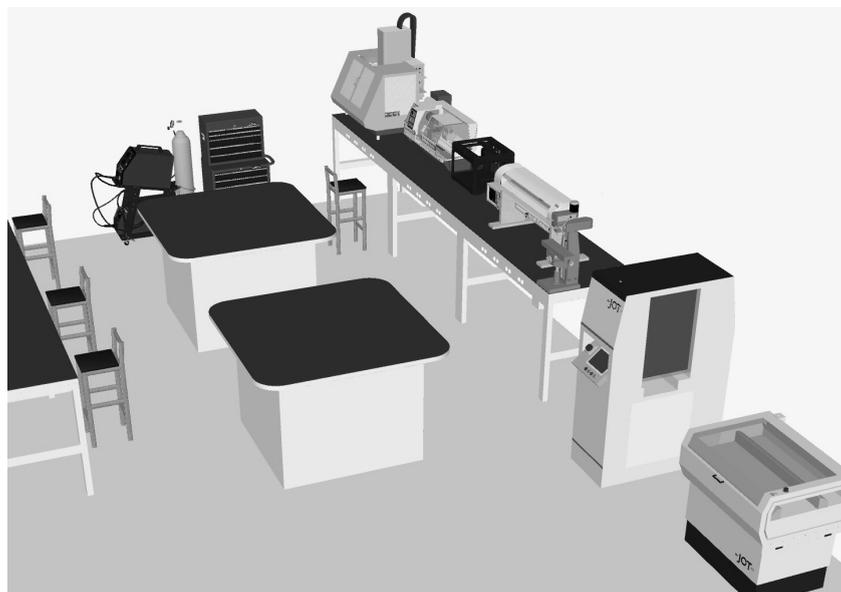
Fonte: Elaborado pelos autores (2023). Com base na ABNT NBR 13230

A compreensão do potencial dos resíduos de termoplásticos e o conhecimento sobre suas características são fundamentais para enxergá-lo como um ativo. Ao investir em pesquisa e educação sobre plásticos, pode-se identificar oportunidades para a reciclagem e o reaproveitamento desses materiais, transformando-os em recursos valiosos. Essa abordagem não apenas contribui para a redução do desperdício e da poluição, mas também abre caminho para a geração de renda e o crescimento de negócios circulares. Ao entender a importância dos plásticos e seu potencial para a reciclagem, pode-se criar uma cadeia sustentável que beneficie tanto o meio ambiente quanto a economia.

2.2 Cultura e espaços *maker*

A cultura *maker* valoriza o indivíduo como criador, promovendo localismo, abertura, compartilhamento e colaboração (KOHTALA e HYYSALO, 2015). Essa cultura empodera cidadãos por meio da fabricação, desafiando o *status quo* e incentivando inovação e desenvolvimento de habilidades. Os laboratórios de *design* e fabricação, como espaços *maker*, *fablabs* e *hackerspaces*, oferecem acesso ao conhecimento e processos de manufatura para criações pessoais ou coletivas (SMITH et al., 2015). Esses espaços estão munidos de equipamentos e tecnologias como impressoras 3D, CNC de corte e gravação a *laser* e CNC fresadora para prototipagem e produção de objetos (FLEISCHMANN et al., 2015), conforme Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de configuração de um espaço *maker* com seus principais equipamentos



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A viabilização financeira destes espaços varia entre iniciativas voluntárias, apoio governamental, institucional e empreendimentos comerciais. Os espaços *makers* abrigam diversas atividades, estruturas de governança, ambições e participação, que podem estar presentes em variados contextos locais (HIELSCHER, SMITH e FRESSOLI, 2015).

A cultura *maker* de forma indireta auxilia para um desenvolvimento sustentável propondo reestruturar o sistema industrial para promover a eficiência de recursos, estendendo a vida útil dos produtos através de manutenção, reparo, reforma, remanufatura e reciclagem, criando um fluxo circular de recursos (STAHEL, 2010; BRAUNGART, MCDONOUGH e BOLLINGER, 2007). Smith et al. (2015) caracterizam o movimento *maker* como inovação de base centrado nas pessoas, enfrentando questões climáticas com soluções sustentáveis e locais. Assim estes espaços facilitam a fabricação rápida de peças apoiando a EC.

2.2.1 *Do open source à fabricação digital*

O conceito de *open source* surgiu nos anos 80 com Richard Stallman, que defendeu o *software* livre no sentido de livre utilização, promovendo a partilha e melhoria contínua. Segundo VALLANCE et al. (2011), o *software* livre deve garantir as liberdades de uso, modificação e redistribuição,

gratuitamente ou pelo pagamento de uma taxa. IGOE e MOTA (2011) afirmam que o *open source* facilita a inovação, e que o futuro será dominado pelo compartilhamento descentralizado de informações e processos. THACKARA (2011) destaca que a abertura é essencial para a sobrevivência e competitividade global, trazendo desafios e oportunidades para pequenos e grandes fabricantes. O *open design*, derivado do *open source*, permite que qualquer pessoa possa conceber projetos em casa, promovendo um método alternativo ao tradicional de fabricação (MARLEEN, Open Design Now, 2011). A cultura *open surge* como consequência dos movimentos de *open source* e *open design*, disponibilizando meios de produção ao público em geral, permitindo que qualquer pessoa se beneficie.

O criador do conceito de *Fab lab*, Gershenfeld (2005) acreditava que a próxima revolução digital seria no âmbito da fabricação de bens físicos, com a emergência da fabricação digital pessoal. Criando assim uma tendência para a democratização dos meios de produção.

Autores como Mikhak et al. (2002) acreditam que as tecnologias computacionais mais apropriadas para o desenvolvimento são aquelas que permitem que as pessoas aprendam não apenas a desenhar e a manipular as suas criações nos computadores mas também a usar ferramentas de manufatura controladas por computadores para construir e realizar os seus projetos. Assim sendo, na vanguarda de uma nova ciência e de uma nova era a que chamam alfabetização pós-digital, autores como Troxler e Schweikert (2010) consideram que a sociedade estará familiarizada com a fabricação digital, tal como hoje está com o processamento da informação.

No documento ***A strategist's guide to digital fabrication***, os seus autores, Igoe e Mota (2011), explorando a temática da fabricação digital, entendem o papel mais ativo do usuário no processo produtivo, libertando a capacidade criativa e concretizadora dos cidadãos, produzindo exatamente aquilo que pretendem, sem dependerem de fabricantes. Além disso, enfatizam que não precisam desenvolver tudo o que necessitam e podem se beneficiar de inovações criadas e compartilhadas por outros, seguindo a tendência emergente do *open design*. Os mesmos autores classificam a fabricação digital como inovação disruptiva sendo que, provavelmente, o elemento mais disruptivo desta tecnologia não são as ferramentas em si, mas sim, a cultura de fabricação – a comunidade de pessoas que vende, utiliza e adapta as ferramentas da fabricação digital. Podendo publicar os projetos que desenvolvem, normalmente num contexto de *open design*, permitindo a outros copiar, adaptar e aprender com esses trabalhos. Os autores reconhecem atualmente uma mudança quanto ao modo como a produção e utilização de bens começa a ser entendida pelas pessoas em geral. Sendo assim, a expressão *open production* surge como resultado da disponibilização dos meios de produção ao público em geral. A fabricação digital não depende mais de economias de escala, e a produção de modelos e protótipos pode envolver o consumidor-produtor alterando com práticas convencionais de fabricação (IGOE e MOTA, 2011), desta maneira fornecendo todos os instrumentos para o cidadão se tornar um *one man factory* (tradução literal - homem fabrica único), um ator a nível mundial fabricando em sua casa (MARLEEN, Open Design Now, 2011). Ou seja, qualquer pessoa tem a possibilidade de imaginar, projetar, fabricar e vender os seus trabalhos de sua casa.

2.3 Processos de manufatura

2.3.1 ***Manufatura aditiva e injeção de plástico em molde***

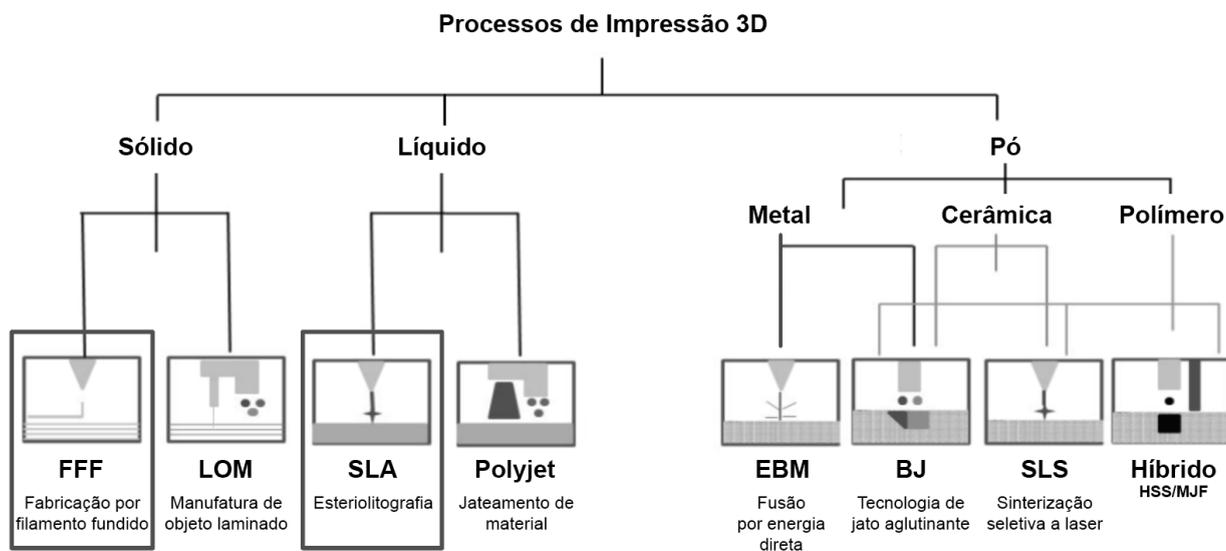
A manufatura aditiva (MA) existe há mais de 30 anos, mas somente recentemente essa tecnologia tem ganhado popularidade e despertado o interesse tanto de especialistas em tecnologia quanto do público em geral. Após a expiração da última grande patente para a

fabricação por filamento fundido (FFF) em 2009, as impressoras que adotam esta tecnologia puderam ser produzidas sem infringir propriedade intelectual, o que gerou um renovado interesse e investimento nas demais tecnologias de MA (VAN LANCKER, 2015). Essa mudança abriu caminho para o avanço e a disseminação mais ampla da MA, impulsionando sua adoção em diversos setores.

As tecnologias MA tem a capacidade de construir objetos de geometrias mais complexas camada por camada utilizando materiais como polímeros, metais e cerâmica, com redução do gasto energético e do desperdício destes materiais, torna a MA uma opção viável para diversos setores da indústria, se comparado com os métodos tradicionais de usinagem subtrativa (STEENHUIS e PRETORIUS, 2017).

Os processos de MA são categorizados de acordo com o estado dos materiais utilizados e os processos de transformação desses mesmos materiais. Conforme ilustrado na Figura 3 abaixo, existem oito tipos de processos de MA baseado em materiais sólidos, líquidos e em pó (A.C.F., 2012), são elas: (1) MA por extrusão de material; (2) fotopolimerização em cuba; (3) fusão em leito de pó; (4) jateamento de material; (5) jateamento de aglutinante; (6) deposição com energia direcionada; (7) laminação de folhas; e o (8) processo híbrido. Este artigo se limita exclusivamente a relatar os dois primeiros processos de MA citados acima, devido à sua importância de utilização no projeto.

Figura 3 - Classificação dos processos de MA



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A fabricação por filamento fundido (FFF, do inglês *fused filament fabrication*) é um método de fabricação baseado em extrusão de material. Essa tecnologia é amplamente utilizada devido à sua relação custo-efetividade. Polímeros termoplásticos como PLA, ABS, PET-G e TPU são extrudados por um bico aquecido a mais de 200°C, e depositados camada por camada (MÜLLER e KAREVSKA, 2016).

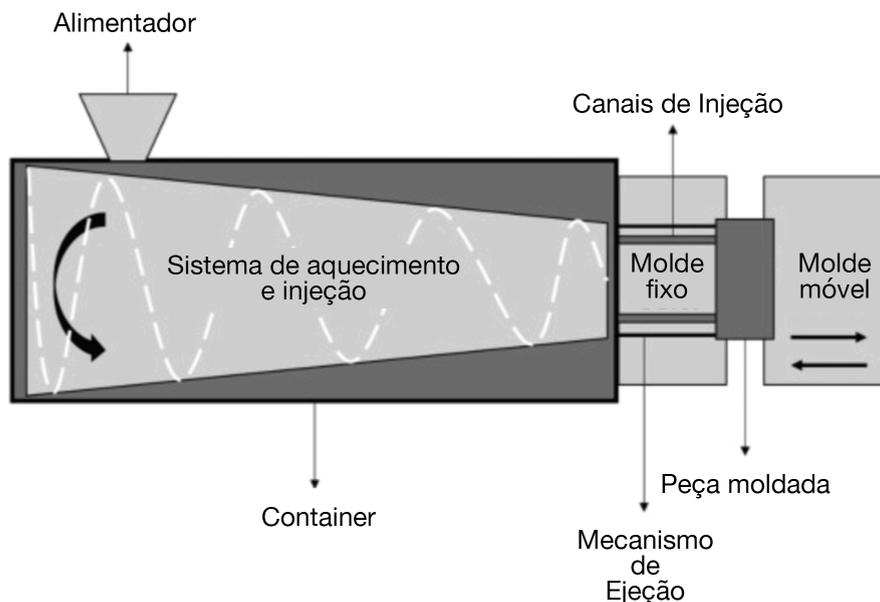
A fotopolimerização em cuba emprega diferentes tecnologias e uma delas é a estereolitografia (SLA), mas existem outras como o processamento digital de luz (DLP), que utilizam o processo de fotopolimerização de materiais para criar peças sólidas. Fotopolímeros (resinas sensíveis à luz) líquidos são dispostos em um tanque e, por meio da irradiação com fontes de luz na faixa de

300-400nm, são sucessivamente solidificados em camadas, resultando em padrões em três dimensões (LOW et al., 2017). A fotopolimerização SLA é realizada por uma abordagem, onde o *laser* está na parte inferior, iniciando a formação da camada de baixo para cima, com a plataforma subindo para concluir o processo (SCHMIDLEITHNER e KALASKAR, 2018.). O processo DLP utiliza fotopolimerização em tanque com projetor de máscara de luz, localizado na parte inferior, curando a resina fotossensível em camadas quando exposta à luz UV (ABDULHAMEED et al., 2019). Alguns dos principais parâmetros na fotopolimerização em cuba são o tempo de exposição e a potência fornecida. Dentre os processos de MA, a polimerização em tanque é considerada um método escalável, permitindo sua aplicação na micro-manufatura (VAEZI, 2013).

2.3.2 Injeção de plástico em molde

A injeção de plástico em molde (IPM) é um processo de alta precisão que é utilizado para a produção em massa de peças plásticas para atender indústrias como as de consumo, eletrônicas, automotiva e médica. Um plástico finamente granulado é forçado, em temperatura elevada e sob pressão, a fluir, preencher e adotar a forma de uma cavidade de molde conforme ilustrado na Figura 4 (OKTEM et al., 2007). A IPM possui muitas vantagens, como ciclos curtos de produção, superfícies de peças de alta qualidade, boas propriedades mecânicas, baixo custo e peso leve, tornando-se significativo nas indústrias de produção de plástico de hoje. Os custos podem ser reduzidos ainda mais pela integração de componentes e aditivos, proporcionando redução de peso em comparação com peças metálicas. No entanto, são necessários investimentos significativos em ferramentas e máquinas neste processo de fabricação. Devido aos muitos ajustes delicados necessários, é um processo bastante complexo. A qualidade do produto depende do *design* do molde, da seleção do material e da configuração dos parâmetros do processo. Segundo Seaman (1994), a plastificação, compactação, injeção e resfriamento são as fases do processo de moldagem por injeção. A configuração incorreta dos parâmetros de entrada pode causar baixa qualidade e rugosidade da superfície, diminuição na precisão dimensional, empenamento, desperdício e geração de resíduo inaceitável, aumento no tempo de produção e aumento do custo (ROSATO e ROSATO, 2000).

Figura 4 - Esquemático de um sistema de injeção de polímeros em molde de alumínio



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

2.4 O Núcleo de Abordagem Sistêmica do *Design* (NAS *Design*)

O NAS *Design*, da Universidade Federal de Santa Catarina, é um laboratório de pesquisa, ensino e extensão. Certificado pelo CNPq, desde 2006, realiza investigações, promovendo discussões e implementando ações comunitárias, abordando o design de forma sistêmica para aplicar e disseminar conhecimento prático e teórico (NAS DESIGN, 2017). O laboratório também faz parte da rede DESIS *Internacional* (*Design for Social Innovation and Sustainability*), que reúne 43 laboratórios em universidades renomadas distribuídas nos cinco continentes: América, África, Europa, Ásia e Oceania.

Os integrantes do laboratório incluem alunos de graduação e pós-graduação do Programa de Pós-Graduação em *Design* e Expressão Gráfica da UFSC, além de atores externos como agentes de desenvolvimento e comunidades criativas. Estas comunidades, descritas por Manzini (2008), colaboram localmente para solucionar problemas, usando recursos ambientais, conhecimento e tradição.

O Núcleo de Abordagem Sistêmica do *Design* possui um espaço *maker*, que conta com impressoras 3D, máquina de corte laser, equipamentos para sublimação e trituradora de plástico. Atualmente em fase de certificação pela *Fab Foundation*, auxilia a comunidade acadêmica e local. Nesse ambiente, os acadêmicos resolvem problemas reais da comunidade por meio de experimentos de design. Eles definem e compreendem os problemas para, em seguida, investigar e desenvolver soluções de *design*. Esse processo contribui para a disseminação do design e de seus benefícios à sociedade e à economia local.

Este artigo apresenta atividades relacionadas ao *design* e contribuem para o desenvolvimento sustentável, conforme descrito por Ezio Manzini (2015). As atividades de pesquisa aplicada estão alinhadas com as tendências contemporâneas de criação de significado, produção de sentido e disseminação de informações para a sociedade.

3 Metodologia

O universo deste trabalho limita-se em relação ao objeto de estudo, que é desenvolver uma injetora portátil para uso em espaços *maker* e escritórios de *design* e engenharia utilizando resíduos de termoplásticos e moldes fabricados por MA de fotopolimerização em cuba.

Esta pesquisa foi conduzida pelo autor e pelo seu orientador e co-autor, coordenador do NAS *Design*. Este estudo é também delimitado por um espaço de tempo, iniciado de novembro de 2023 e finalizado em fevereiro de 2024.

A metodologia adotada para este estudo, visa aprofundar o embasamento teórico sobre o processo de reciclagem e explorar alternativas possíveis através do *design*. Este estudo é exploratório e prático, que busca não apenas coletar dados, mas também oferecer uma compreensão significativa do problema por meio de visão próxima e direta. A metodologia empregada foi dividida em três fases: (I) revisão bibliográfica; (II) desenvolvimento do projeto; (III) reciclagem de materiais poliméricos; e (IV) teste.

A primeira fase envolveu uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), focando em estudos publicados para observar padrões sobre características de pesquisa ou limitações nos campos de estudos (CARVALHO et al., 2013). Através dessa revisão, identificou-se iniciativas e ferramentas frequentemente utilizadas em processo de reciclagem e fabricação de produtos, incluindo o uso recorrente de métodos de *design* industrial. Posteriormente na segunda fase adotou-se um processo de desenvolvimento de produto convencional, porém enxuto, utilizando como base a literatura de Baxter (2007). Esta fase subdividiu-se em etapas menores: (I) levantamento de requisitos; (II) projeto mecânico; (III) usinagem de peças de alumínio; e (IV) montagem; e (V) preparação de polímeros. Na fase final foi realizado o teste de injeção propriamente dito e analisados os resultados de maneira qualitativa.

Após elucidada a metodologia aplicada no projeto, os capítulos seguintes são destinados a apresentar e analisar os resultados obtidos. Além de discutir os principais impactos e benefícios observados, destacando a combinação entre práticas tradicionais de manufatura e inovações tecnológicas e a importância para os pequenos negócios.

4 Desenvolvimento e discussões

Utilizou-se a base de dados SCOPUS (ELSEVIER) para a RSL a fim de buscar artigos relevantes, empregando inicialmente três grupos de palavras-chave distintas. São eles (a) contexto dos polímeros: "*plastic**" OR "*synthetic polymer**" AND "*recycled plastic*" OR "*recycled polymer*"; (b) contexto do processo de fabricação: "*additive manufacture*" OR "*3D print*" OR "*FFF print*" OR "*stereolithography*" AND "*injection molding*" AND "*recycling process*" e (c) contexto do ambiente de fabricação: "*fablab**" OR "*makerspace**" AND "*sustainable development*" OR "*circular economy*".

Foram definidos com filtros artigos completos e revisões publicados em periódicos revisados por pares em inglês, usando palavras-chave relacionadas, áreas do conhecimento e tipo de publicação e ano entre 2014 - 2022, resultando inicialmente em 98 artigos. Duplicatas foram removidas, o título e resumo de cada publicação foram revisados para determinar sua relevância. Quando a relevância não estava clara, os artigos foram lidos na íntegra. Além disso, as listas de referências foram consultadas para identificar estudos relevantes adicionais, não encontrados na busca automática. Ao total foram excluídos 79 artigos, resultando em 19 artigos importantes para estudo. Os artigos foram categorizados e analisados de acordo com o tipo de estudo: (a) Estudos que observaram características dos polímeros e poder de reciclagem; (b) Estudos que classificaram

processos de MA; (c) Estudos que caracterizaram tecnologias de manufatura por injeção de plástico em moldes; e (d) Estudos que analisaram tecnologias presentes em espaços maker.

Essa abordagem permitiu uma compilação de evidências sobre o tema em questão, possibilitando um estudo aprofundado para o desenvolvimento da injetora portátil de bancada, além de conhecimento para a estruturação de partes da tese de doutorado.

4.1 Projeto da injetora portátil manual de termoplásticos

4.1.1 Levantamento de requisitos e funcionalidades

Com base na revisão sistemática da literatura dos temas abordados sobre o processos de injeção de plástico e manufaturas aditiva por fotopolimerização em cuba e FFF para o projeto da injetora manual foram estabelecidos requisitos e funcionalidades levando em consideração: (I) estrutura da injetora; (II) sistema de injeção; (III) sistema de aquecimento e controle; (IV) sistema de alimentação; (V) sistema do molde. O Quadro 2 abaixo descreve os itens que foram considerados para execução dos próximos passos:

Quadro 2 - Modelagem CAD da injetora

Sistemas	Requisitos	Funcionalidades	Processo fabricação	Material
Estrutura	Robusta Baixo custo De bancada Fácil montagem Fácil manutenção	Alavanca Fixação sist. controle Fixação sist. aquecim. Fixação sist. injeção Ajuste altura injeção Ajuste altura molde	Montagem manual Reutilizado	Alumínio, aço carbono,
Sistema de injeção	Injetar até 20ml Manual	Troca de bico Regulagem altura Regulagem pressão	Usinagem	Alumínio e aço inox
Sistema de controle e aquecimento	Controle temperat. Sistema alarme Aquecer até 300 °C	Abraçadeiras Medir temperatura Controlar temp. Evitar sobreaquecim.	Usinagem Componentes adquirido	PID, cabos elétricos, resistência
Sistema de alimentação	Max. 30ml Manual	Armazenagem	Usinagem	Alumínio
Sistema do molde	Suportar temp. 250°C Dimensão acurada Baixo custo	Sistema de injeção Sistema montagem Sistema de respiro	Impressão 3D por fotopolimerização em cuba	Like PP e aço inox

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

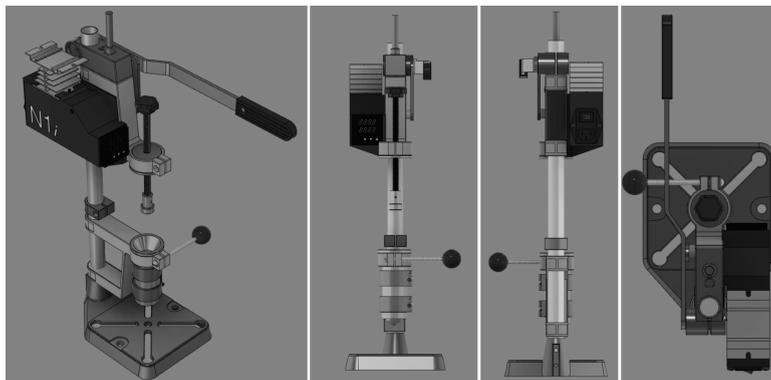
Diferentes processos de manufatura foram necessários para o desenvolvimento da máquina, além da validação de diferentes fornecedores.

4.1.2 Projeto mecânico CAD

Seguindo um processo de desenvolvimento de produto tradicional, após o levantamento de requisitos, criou-se um modelo CAD da injetora utilizando o *software* de *design* industrial e

engenharia mecânica Autodesk® Fusion360®. Conforme a Figura 5, o projeto mecânico possibilitou uma visualização volumétrica e dimensional do equipamento, além de auxiliar na seleção de materiais e processos que foram utilizados para fabricá-la a um baixo custo, porém garantindo os requisitos de qualidade dos componentes adquiridos e a segurança de utilização pelas pessoas.

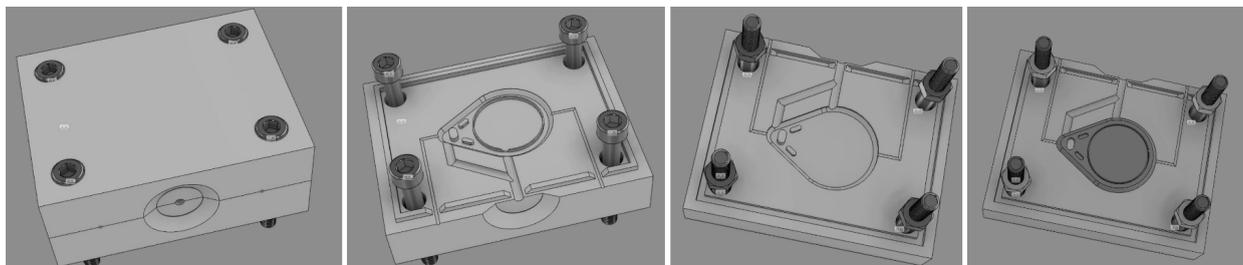
Figura 5 - Modelagem CAD da injetora



Fonte: Projetado pelos autores (2023)

Os moldes de injeção também foram desenvolvidos utilizando o mesmo *software* CAD, segundo Figura 6. Com o objetivo de economizar material, na realização dos testes, buscou-se desenvolver a menor dimensão possível do molde compatível com a injetora. A geometria da peça escolhida foi uma *tag* RFID para controle de acesso de portões.

Figura 6 - Modelagem CAD do molde de injeção



Fonte: Projetado pelos autores (2023)

4.1.3 **Fabricação do sistema de injeção e moldes**

Nesta etapa, ilustrada na Figura 7, foram realizadas as usinagens em uma máquina de torno manual das peças de alumínio responsáveis pelo sistema de injeção e aquecimento de material. O alumínio utilizado para criação das peças foi adquirido em um perfil circular com diâmetro muito próximo da peça maior, garantindo assim a máxima eficiência na fabricação para garantir a mínima geração de resíduos.

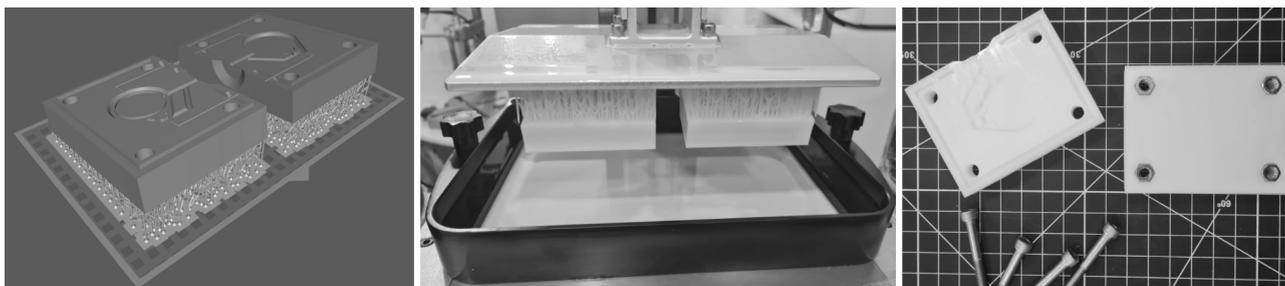
Figura 7 - Usinagem do sistema de injeção e aquecimento da injetora de bancada manual



Fonte: Projetado pelos autores (2024)

A Figura 8 mostra, os moldes que foram fabricados por manufatura aditiva por fotopolimerização em cuba, onde a resina selecionada foi *Like-PP*, por possuir as suas propriedades mecânicas e físicas elevadas (temperaturas acima de 260 °C). Os parâmetros definidos de impressão 3D garantiram a acurácia dimensional do molde e um perfeito encaixe entre as duas partes.

Figura 8 - Fabricação do molde: manufatura aditiva por fotopolimerização em cuba

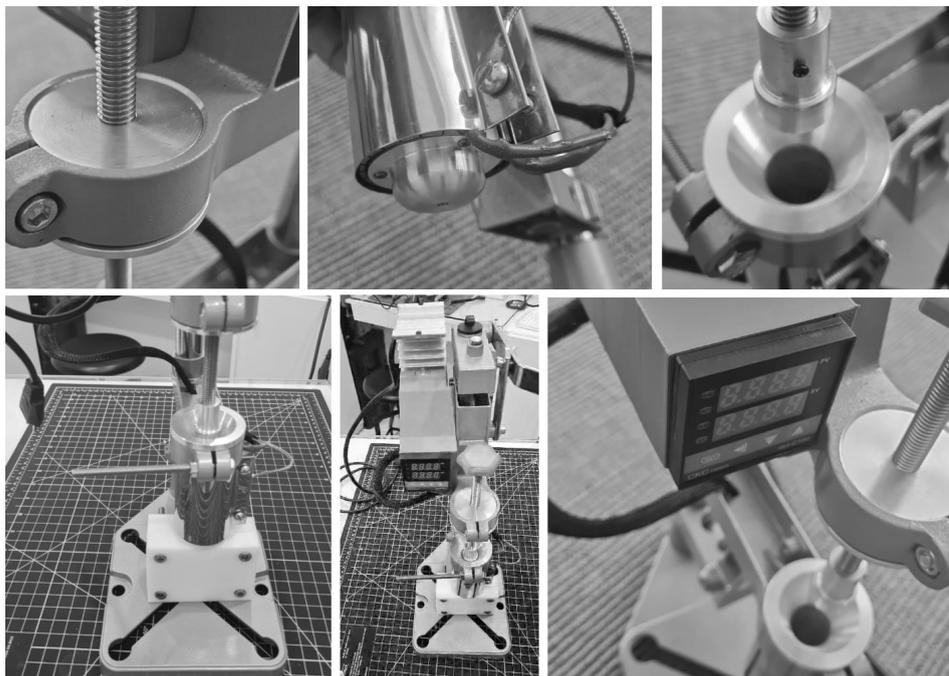


Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

4.1.4 Montagem do equipamento

A montagem da máquina foi dividida em 3 etapas: (I) suporte e acoplagem de componentes; (II) sistema de injeção; (III) sistema de aquecimento; e (IV) sistema de controle. Foi utilizado um suporte de furadeira de bancada convencional. À estrutura acoplou-se os componentes usinados responsáveis pela injeção, aquecimento, armazenamento do plástico triturado. Assim como todo sistema de controle de temperatura que foi configurado para fundir o material a uma temperatura de 250°C. Foram instalados sensores de temperatura e alarme de sobretemperatura para garantir a segurança do usuário. As Figura 9 abaixo ilustra algumas partes e etapas da montagem da injetora:

Figura 9 - Fabricação do molde: manufatura aditiva por fotopolimerização em cuba



Fonte: Projetado pelos autores (2024)

4.2 *Reciclagem de resíduos termoplásticos*

O processo de reciclagem dos resíduos plásticos passou por um processo de triagem. Foram separados por cores os resíduos de impressão 3D FFF e restos de filamentos. Classificados por tipo de material: (I) PLA; (II) ABS; e (III) PETG. Para a realização dos testes utilizou-se o material PLA na cor preta, pois o material tem um ponto de fusão cerca dos 190°C. Este material foi triturado com o auxílio de uma trituradora, resultando em grânulos, que foram secados por 3h a uma temperatura de 50 °C, conforme Figura 10 abaixo:

Figura 10 - Processo de reciclagem de resíduos poliméricos de manufatura aditiva FFF



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

4.3 Testes e análise de parâmetros

Foram realizados inúmeros testes para averiguar os parâmetros ideais de injeção e assim garantir qualidade das peças resultantes. Buscou-se controlar a temperatura adequada para injetar o plástico, a altura de injeção para realizar a pressão necessária dentro do molde, a definição do tamanho ideal dos grânulos termoplásticos reciclados, a abertura do canal de injeção do molde e tamanho da peça injetada. Dito isso, gerou-se o Quadro 3 com os resultados dos testes:

Quadro 3 - Resultados dos testes de parâmetros de injeção da máquina

Itens	Descrição
Ciclos	30 unid/h
Temperatura	Inicialmente 220°C para fusão e 200°C para injeção de PLA
Altura injeção	Para o PLA altura do pistão 70mm e altura do molde 62mm
Grânulos PLA	Aproximadamente 1mm x 2,5mm
Canal de injeção	3mm
Peça injetada	Tamanho de 70mm x 40mm x 5mm

Fonte: Projetado pelos autores (2024)

Por fim as peças injetadas, após serem filetadas como na Figura 11, obtiveram resultados satisfatórios. Em relação a estética se assemelham muito a peças injetadas de maneira industrial em larga escala. As peças injetadas, após correções nos moldes e temperaturas não apresentaram falhas e parecem resistentes. Levando em conta as características da máquina de baixo custo e seu acionamento manual, possibilita a fabricação de peças que podem ser facilmente comercializadas.

Figura 11 - Resultado: qualidade das peças injetadas com a injetora portátil de plástico



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

5 Conclusões

O desenvolvimento de uma injetora portátil de termoplásticos representa um avanço significativo para espaços *makers*, com benefícios abrangentes em níveis sociais, econômicos e ambientais. Este artigo discute os resultados desse desenvolvimento e abre portas para implicações positivas para a sociedade, o design de produto e a personalização.

Em termos sociais, a injetora portátil oferece uma ferramenta prática para a capacitação de indivíduos em espaços *makers*. Ao transformar resíduos plásticos em novos produtos, a máquina não só promove a sustentabilidade, mas também oferece uma oportunidade educacional valiosa. Pessoas de diversas comunidades, especialmente aquelas em situação de vulnerabilidade, podem ser treinadas para operar a injetora, adquirindo habilidades técnicas que aumentam suas chances de empregabilidade e permitindo a geração de uma renda extra. Essa capacitação contribui para a inclusão social e para o empoderamento das comunidades, promovendo a autossuficiência e melhorando a qualidade de vida (MANZINI, 2015).

Economicamente, a injetora portátil de resíduos termoplásticos pode ser um catalisador para a economia circular dentro dos espaços *makers*. A reutilização de resíduos plásticos reduz a necessidade de matéria-prima nova, diminuindo os custos de produção. Além disso, a possibilidade de produzir itens customizados e de pequeno porte, como peças de reposição, brinquedos e acessórios, abre novas oportunidades de mercado para os espaços *makers* e seus usuários. Pequenos empreendedores e startups podem se beneficiar da tecnologia, criando produtos inovadores com custos reduzidos, aumentando a competitividade e estimulando a economia local.

Do ponto de vista ambiental, o equipamento desempenha um papel crucial na redução do desperdício de plástico. Tampinhas de plásticos, resíduos de impressões 3D e termoplásticos em geral que, de outra forma, poderiam acabar em aterros sanitários ou poluindo o meio ambiente, são reprocessados e reutilizados. Esse processo não apenas diminui a quantidade de lixo plástico, mas também reduz a pegada de carbono associada à produção de novos plásticos. A máquina incentiva práticas sustentáveis dentro dos espaços *makers*, alinhando-se aos princípios da economia circular e promovendo um ciclo de vida mais responsável para os produtos plásticos.

Para o *design* de produto, a investigação possibilita uma maior experimentação e inovação. *Designers* podem criar moldes específicos utilizando impressão 3D por fotopolimerização em cuba, permitindo a produção de peças personalizadas e adaptadas a necessidades específicas dos usuários (ABDULHAMEED et al., 2019). Esta capacidade de personalização é um grande diferencial, pois possibilita a criação de produtos únicos, ajustados às preferências e demandas individuais. Além disso, a rapidez na prototipagem e produção com a injetora portátil permite que *designers* testem e aprimorem seus produtos com maior agilidade, respondendo mais rapidamente às tendências do mercado.

Em conclusão, a injetora portátil é uma inovação que traz benefícios significativos para a sociedade, a economia, o meio ambiente e o *design* de produto. Sua implementação em espaços *makers* pode transformar resíduos em recursos, capacitar indivíduos, estimular a economia local, promover a sustentabilidade ambiental e fomentar a inovação no *design* de produtos personalizados. Esses resultados destacam a importância de investir em tecnologias que não só atendem às necessidades atuais, mas também contribuem para um futuro mais sustentável, inclusivo e criativo.

6 Referências

- ABDULHAMEED, O., AL-AHMARI, A., AMEEN, W., MIAN, S.H. **Additive manufacturing: challenges, trends, and applications.** Adv. Mech. Eng. v. 11, n. 2. 2019. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814018822880>. Acesso: Julho 2023.
- ABIPLAST. **Reciclabilidade de materiais plásticos pós-consumo.** chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/cartilha_reciclabilidade_abiplast_web.pdf
- ALCAIDE, E.; WILTGEN, F. **ESTUDO DAS TECNOLOGIAS EM PROTOTIPAGEM RÁPIDA: PASSADO, PRESENTE E FUTURO.** Revista Ciências Exatas, v. 24, n. 2, p. 12–20, 20 dez. 2018.
- ANDRADY, A., THOMPSON, R., MOORE, C., GREGORY, M., TAKADA, H. & WEISBERG, S. **New directions in plastic.** Science 310, 1117. 2005.
- AROS, Kammiri Corinaldesi. **Elicitação do processo projetual do Núcleo de Abordagem Sistemática do Design da Universidade Federal de Santa Catarina.** - Florianópolis, SC, 2016.
- BELA CARDOSO PALHAIS, C. **PROTOTIPAGEM: Uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto.** Dissertação—Universidade de Lisboa: [s.n.].
- BONANNI, L.; PARKES, A.; ISHII, H. **Future craft: how digital media is transforming product design.** MIT Media Lab, p. 1-12, abr. 2008. Disponível em: <https://www.media.mit.edu/publications/futurecraft-how-digital-media-is-transforming-product-design/>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- BONSIEPE, Gui. **Do Material Ao Digital.** São Paulo: Editora Blucher, 2015.
- BRAUNGART, M., MCDONOUGH W., e BOLLINGER A.. **Cradle-to-Cradle Design: Creating Healthy Emissions – A Strategy for Eco-effective Product and System Design.** Journal of Cleaner Production. 2007. 15 (13–14): 1337–1348. doi:10.1016/j.jclepro.2006.08.003.
- BUCHANAN, Richard. **Wicked problems in design thinking.** Design issues, Cambridge, v. 8, n. 2, p. 5-21, Spring 1992. Disponível em: http://web.mit.edu/jrankin/www/engin_as_lib_art/Design_thinking.pdf Acesso em junho de 2022.
- CAMPBELL, T.; WILLIAMS, C.; IVANOVA, O.; GARRETT, B. **Could 3D printing change the world?** Technologies, potential, and implications of additive manufacturing. Strategic Foresight Report, p. 1-17, out. 2011. Disponível em: <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research/report/ddd>.
- EUROPEAN PARLIAMENT RESEARCH SERVICE. **The Ecodesign Directive: European Implementation Assessment;** Ex-Post Evaluation Unit of the Directorate for Impact Assessment and European Added Value: Brussels, Belgium, 2017.
- FLEISCHMANN, K.; HIELSCHER, S.; MERRITT, T. **Making Things in Fab Labs: A Case Study on Sustainability and Co-creation.** Digital Creativity 27 (2): 113–131. doi:10.1080/14626268.2015.1135809. 2016.
- FORTY, A. **Objetos de desejo: design e sociedade desde 1750.** São Paulo: Cosac Naify, 2007.
- GERSHENFELD, N. **Fab: Personal Fabrication, Fab Labs and the Factory in Your Computer.** New York: Basic Books Inc. 2005.

- GEYER, R. et al. **Production, use, and fate of all plastics ever made.** Sci. Adv. 2017
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.
- GORNI, A. A. **Introdução aos Plásticos.** Revista plástico industrial, 2003. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/intropol.html> Acesso em setembro de 2022.
- HATCH, M. **The maker movement manifesto : rules for innovation in the new world of crafters, hackers, and tinkerers.** New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- IGOE, T.; MOTA, C. **A Strategist`s Guide to Digital Fabrication.** Strategy+Business, Issue 64-Autumn. 2011.
- KAZA, S. et al. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.** Washington DC: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0> . 2018.
- KOHTALA, C., AND HYYSALO S. **Anticipated Environmental Sustainability of Personal Fabrication.** Journal of Cleaner Production 99: 333–344. doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.093. 2015.
- LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Management information systems: new approaches to organization & technology.** 5 th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- LASSE SKOVGAARD JENSEN; ALI GÜRCAN ÖZKIL; NIELS HENRIK MORTENSEN. **Prototypes in engineering design: Definitions and strategies.** DS 84: Proceedings of the DESIGN 2016 14th International Design Conference, p. 821–830, 1 jan. 2016.
- MANZINI, Ezio. **Políticas do Cotidiano.** São Paulo: Blucher, 2023. 132 p. Tradução de Gabriel Patrocínio.
- MIKHAK, BAKHTIAR et al. **FAB LAB: an Alternate Model of ICT for development.** 2002.
- MÜLLER, A., KAREVSKA, S. **How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain.** EY's Glob. 3D Print. Rep. 2016.
- OKTEM Hasan, ERZURUMLU Tuncay and UZMAN Ibrahim. **Application of Taguchi Optimization Technique in Determining Plastic Injection Molding Process Parameters for a Thin Shell Part.** Journal of Material & Design. 2007.
- POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS). Lei 12.305/2010. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12305&ano=2010&ato=e3dgXUq1k eVpWT0f1>
- PRENDEVILLE, S., E. CHERIM, e N. BOCKEN. **Circular Cities: Mapping Six Cities in Transition. Environmental Innovation and Societal Transitions.** 2017. doi:10.1016/j.eist. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210422416300788>.
- OPEN DESIGN NOW. 2011 <http://opendesignnow.org/index.html>
- ROMÃO, W.; et al. **Poli (Tereftalato de Etileno), PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, n. 2, p. 121-132, 2009.
- ROSATO, D.V., ROSATO, M.G. **Injection molding handbook.** Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2000.

- SEAMAN, C.M. **Multiobjective optimization of a plastic injection molding process.** IEEE Transactions on Control System Technology, 1994.
- SCHMIDLEITHNER, C., KALASKAR, D.M. **Stereolithography.** IntechOpen, 2018.
- SMITH, A. e LIGHT, A. **How to Cultivate Sustainable Developments in Makerspaces.** Report of workshop, Brighton. http://steps-centre.org/wp-content/uploads/MC-report_final.pdf . 2015.
- SCARLATO, Francisco Capuano. PONTIN, Joel Arnaldo. **Do nicho ao lixo.** Consultoria Sérgio de Almeida Rodrigues. São Paulo: Atual, 1992.
- STAHEL, W. **The performance economy.** Springer. 2010.
- STEENHUIS, H.J., PRETORIUS, L. **The additive manufacturing innovation: a range of implications.** Journal of Manufacturing Technology Management, vl. 28, n.. 1, p. 122-143, 2017.
- SOBOLEV, S.V., BROWN, M. **Surface erosion events controlled the evolution of plate tectonics on Earth.** Nature 570, 52–57 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1258-4>
- SUCHEK, N., FERNANDES, C. I., KRAUS, S., FILSER, M., & SJÖGRÉN, H. **Innovation and the circular economy: A systematic literature review.** Business Strategy and the Environment, 30(8), 3686-3702. 2021.
- THACKARA, J. **Into the Open.** In **Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive**, editado por Bas van Abel, Roel Klaassen, Lucas Evers, Lucas, and Peter Troxler, 42–45. Amsterdam: BIS Publishers. 2011.
- TROXLER, P.; SCHWEIKERT, S. **Developing a business model for concurrent enterprising at the Fab Lab.** pp. 1-8. 2010.
- TROXLER, P. **Commons-based peer-production of physical goods.** Is there for a hybrid innovation ecology? . pp. 1-23. 2010.
- UNEP, United Nations Environment Programme. **Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth.** (2011). Disponível em: <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9816> . Acesso em julho de 2023.
- VAEZI, M., SEITZ, H., YANG, S. **A review on 3D micro-additive manufacturing technologies.** Int. J. Adv. Manuf. Technol. v. 67, n. 5–8, p. 1721–1754, 2013.
- VALLANCE, R. et al. **Open design of manufacturing equipment.** pp. 1-12. 2011.
- VANDERLINDE BROCKVELD, M. V.; STEFANI TEIXEIRA, C.; DA SILVA, M. **A Cultura Maker em prol da inovação: boas práticas voltadas a sistemas educacionais.** In: ANPROTEC. 2017.
- VAN LANCKER, P. **The influence of IP on the 3D printing evolution.** CREAX. 2015. Disponível em: <https://www.creax.com/en/our-work/the-3-D-printing-evolution-insightson-the-influence-of-ip-on-technology-dev>. Acesso: Julho de 2023.
- WWF: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>