

Aplicações da impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos: uma revisão da literatura

 <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2025.v9.1802>

Ana Clara Souto de Souza¹

Lia Paletta Benatti²

Artur Caron Mottin³

Eduardo Cassiano Santos David⁴

Data de submissão concluída: 17/7/2025. Data de aprovação: 7/10/2025. Data de publicação: 29/10/2025.

Resumo – A manufatura aditiva, especialmente a impressão 3D, tem se destacado como solução inovadora para fabricar moldes de injeção de termoplásticos, permitindo redução de tempo, custos e maior liberdade de design. Este estudo apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com o objetivo de analisar contribuições, limitações e tendências dessa tecnologia no contexto industrial. A metodologia seguiu o protocolo PRISMA 2020, garantindo rigor na seleção e análise dos dados. A busca foi realizada nas bases ResearchGate, Portal de Periódicos CAPES, IBICT, SciELO Brasil, Repositório Institucional da UFSC e ScienceDirect, utilizando palavras-chave como “3D printing”, “rapid tooling” e “injection molding”. Inicialmente, foram identificados 100 estudos; após leitura de resumos, 35 foram pré-selecionados e, seguindo critérios de inclusão que consideraram trabalhos publicados entre 2015 e 2025, em inglês ou português, focados na fabricação de moldes ou cavidades por impressão 3D para injeção de termoplásticos, foram selecionados 10 para análise final, excluindo-se trabalhos fora do escopo, incompletos ou duplicados. Os resultados evidenciam que a impressão 3D viabiliza prototipagem rápida, fabricação de moldes híbridos, integração de canais de refrigeração conformais e uso de materiais reciclados, promovendo ganhos em eficiência, sustentabilidade e flexibilidade de produção. Apesar dos avanços, persistem lacunas em durabilidade, resistência térmica, padronização metodológica e avaliação econômica, indicando que novos estudos são necessários para consolidar a aplicação da manufatura aditiva na ferramentaria em escala industrial.

Palavras-chave: FDM. Injeção plástica. Moldes de injeção. Polímeros. Prototipagem rápida.




Applications of 3D printing in the manufacturing of molds for injection molding of thermoplastics: a literature review




Abstract – Additive manufacturing, especially 3D printing, has emerged as an innovative solution for producing injection molds for thermoplastics, enabling time and cost reduction and greater design flexibility. This study presents a Systematic Literature Review (SLR) aiming to analyze the contributions, limitations, and trends of this technology in the industrial context.

¹ Graduanda em Design pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Bolsista do CNPq. Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.  anaclara.souto@estudante.ufjf.br  <https://orcid.org/0009-0008-2487-418X> 

<http://lattes.cnpq.br/4887084667547343>.

² Doutora em Design pela Universidade Estadual de Minas Gerais. Professora da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.  lia.paletta@ufjf.br  <https://orcid.org/0000-0003-1628-9585> 
<http://lattes.cnpq.br/2222051807397224>.

³ Doutor em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Ouro Preto. Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.  artur.mottin@cefetmg.br 
<https://orcid.org/0000-0001-6793-9926>  <http://lattes.cnpq.br/2859497118825113>.

⁴ Mestrando em Engenharia Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.  eduardocsdavid@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0005-3647-6633> 
<http://lattes.cnpq.br/4395416719004346>.

The methodology followed the PRISMA 2020 protocol, ensuring rigor in the selection and analysis of data. The search was conducted in the ResearchGate, Portal de Periódicos CAPES, IBICT, SciELO Brasil, UFSC Institutional Repository, and ScienceDirect databases, using keywords such as "3D printing", "rapid tooling", and "injection molding". Initially, 100 studies were identified; after abstract screening, 35 were pre-selected and, following inclusion criteria that considered works published between 2015 and 2025 in English or Portuguese focused on the manufacturing of molds or cavities by 3D printing for thermoplastic injection, 10 studies were selected for final analysis, excluding works outside the scope, incomplete, or duplicated. The results show that 3D printing enables rapid prototyping, hybrid mold fabrication, integration of conformal cooling channels, and the use of recycled materials, bringing gains in efficiency, sustainability, and production flexibility. Despite advances, gaps remain in durability, thermal resistance, methodological standardization, and economic evaluation, indicating the need for further studies to consolidate the application of additive manufacturing in tooling on an industrial scale.

Keywords: FDM. Injection molding. Plastic injection. Polymers. Rapid prototyping.

Aplicaciones de la impresión 3D en la fabricación de moldes para inyección de termoplásticos: una revisión de la literatura

Resumen – La manufactura aditiva, especialmente la impresión 3D, se ha destacado como una solución innovadora para la fabricación de moldes de inyección de termoplásticos, permitiendo la reducción del tiempo, los costos y proporcionando una mayor libertad de diseño. Este estudio presenta una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) con el objetivo de analizar las contribuciones, limitaciones y tendencias de esta tecnología en el contexto industrial. La metodología siguió el protocolo PRISMA 2020, garantizando el rigor en la selección y el análisis de los datos. La búsqueda se realizó en las bases ResearchGate, Portal de Periódicos CAPES, IBICT, SciELO Brasil, Repositorio Institucional de la UFSC y ScienceDirect, utilizando palabras clave como “3D printing”, “rapid tooling” e “injection molding”. Inicialmente se identificaron 100 estudios; tras la lectura de los resúmenes, se preseleccionaron 35 y, siguiendo los criterios de inclusión que consideraron trabajos publicados entre 2015 y 2025, en inglés o portugués, centrados en la fabricación de moldes o cavidades mediante impresión 3D para inyección de termoplásticos, se seleccionaron 10 para el análisis final, excluyéndose aquellos trabajos fuera del alcance, incompletos o duplicados. Los resultados evidencian que la impresión 3D posibilita el prototipado rápido, la fabricación de moldes híbridos, la integración de canales de refrigeración conformales y el uso de materiales reciclados, promoviendo mejoras en eficiencia, sostenibilidad y flexibilidad de producción. A pesar de los avances, persisten vacíos en durabilidad, resistencia térmica, estandarización metodológica y evaluación económica, lo que indica la necesidad de nuevos estudios para consolidar la aplicación de la manufactura aditiva en la fabricación de moldes a escala industrial.

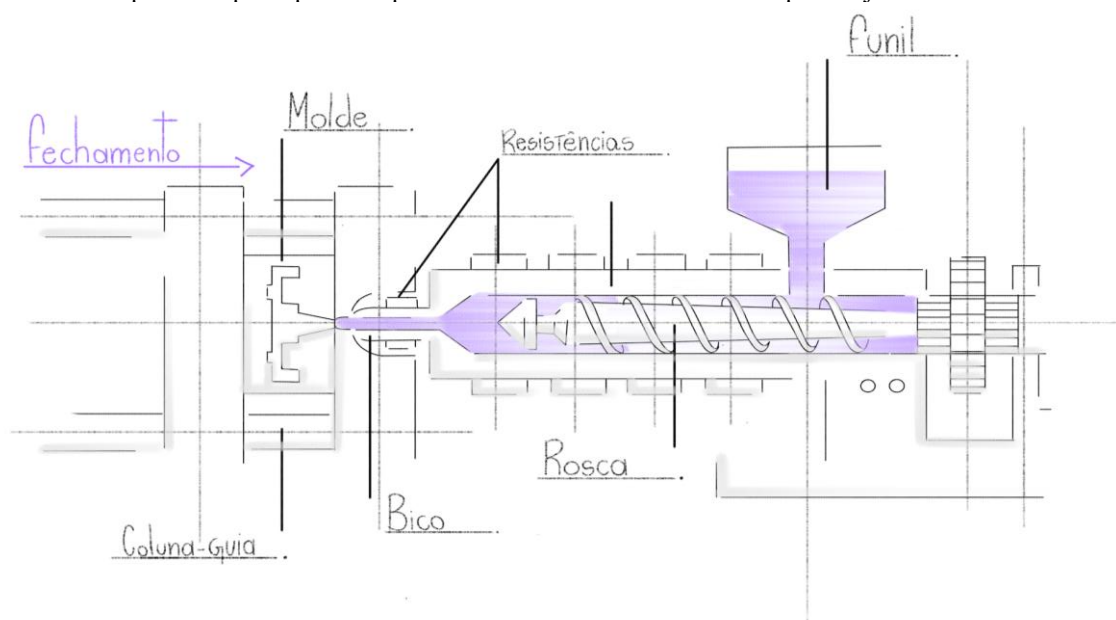
Palabras clave: FDM. Inyección de plástico. Moldes de inyección. Polímeros. Prototipado rápido.

Introdução

Com o aumento da competitividade no setor de processamento de polímeros, observa-se uma busca constante e intensificada por novas tecnologias que aprimorem e otimizem a fabricação de moldes para o processo de injeção. Esses moldes desempenham um papel central no desempenho e na viabilidade econômica da manufatura de peças plásticas, pois seu design

interfere diretamente em variáveis cruciais como o tempo de ciclo, a qualidade dimensional e estética do produto final, além de influenciar nos custos de produção e na eficiência operacional. Assim, os moldes de injeção tornam-se ferramentas estratégicas para a indústria, não apenas no que se refere à produtividade, mas também no atendimento às exigências de um mercado cada vez mais dinâmico e competitivo. A crescente pressão para o lançamento ágil de novos produtos reforça a necessidade de soluções que viabilizem o desenvolvimento e a produção de moldes de injeção de termoplásticos de maneira mais rápida, eficiente e com menor investimento financeiro (Magalhães; Muniz; Azevedo, 2022). Esse processo pode ser visualizado de forma esquemática na Figura 1, que apresenta o funcionamento básico e os componentes principais de uma máquina injetora, em que grânulos de plástico são depositados no funil de alimentação. O material é aquecido e homogeneizado no cilindro de injeção, tornando-se pastoso. O polímero plastificado é injetado sob alta pressão, através da rosca, no molde fechado. Por fim, o material resfria e solidifica dentro do molde, adquirindo a forma desejada, e então é ejetado do molde.

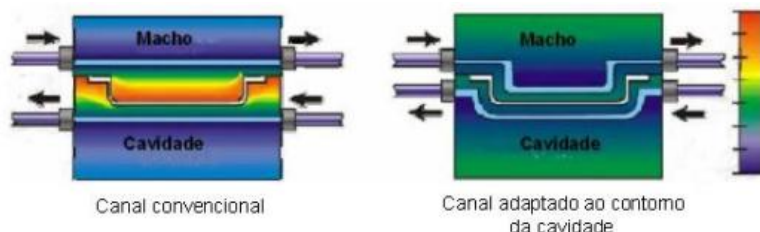
Figura 1 – Componentes principais e esquema de funcionamento de uma máquina injetora.



Fonte: Gomes (2025).

Nesse contexto, a complexidade geométrica dos componentes plásticos moldados constitui um desafio técnico significativo, muitas vezes limitando ou mesmo inviabilizando a aplicação de métodos convencionais de manufatura, especialmente na criação de canais de arrefecimento eficientes e complexos (Lagarto, 2022). Com a utilização da manufatura aditiva, torna-se possível fabricar canais de resfriamento que seguem a geometria da peça, permitindo um controle mais preciso e uniforme da temperatura durante o processo de injeção, o que otimiza significativamente o resfriamento (Figura 2).

Figura 2 – Comparativo entre molde convencional e molde com canais de refrigeração conformais produzidos por manufatura aditiva.



Fonte: Molde injeção plásticos (2025)

Essa abordagem integrada, que envolve a colaboração de equipes multidisciplinares, permite a concepção de soluções mais adequadas às demandas da produção industrial. A prática do uso de protótipos, nesse sentido, tem se consolidado como uma ferramenta indispensável no processo de design e validação de moldes, pois possibilita a análise prévia de aspectos fundamentais como funcionalidade, ergonomia, montagem e eficiência do sistema de resfriamento. Além disso, a constante evolução na qualidade e no desempenho dos protótipos, impulsionada pelas exigências cada vez maiores do mercado, tem gerado benefícios significativos tanto para o aprimoramento do design dos moldes quanto para a otimização dos processos de fabricação (Ribeiro Júnior, 2003).

Entre as tecnologias emergentes nesse cenário, destacam-se os moldes de injeção fabricados por meio da técnica de deposição de material fundido, também conhecida como *Fused Deposition Modeling* (FDM) ou simplesmente impressão 3D (Mobarak *et al.*, 2023). Esses moldes são classificados como *soft tooling* ou ferramentaria leve (Fernandes *et al.*, 2014), e apresentam grande potencial para a produção de séries iniciais de peças injetadas em polímeros como ABS e polipropileno. Considerando o elevado custo e o longo prazo exigido para a fabricação de moldes metálicos, especialmente os moldes de aço, a utilização de moldes produzidos por impressão 3D surge como uma alternativa economicamente viável e com significativa redução no tempo de desenvolvimento. A acessibilidade dessa tecnologia, aliada à sua facilidade de operação e à crescente variedade de materiais disponíveis no mercado, tem consolidado a impressão 3D como uma solução promissora para a criação de moldes rápidos e funcionais. No entanto, apesar de suas vantagens, a aplicação da manufatura aditiva no setor de moldes de injeção ainda se encontra em estágio inicial, com um número limitado de estudos e de casos consolidados na literatura técnica e científica (Foggiatto *et al.*, 2004; Vasconcelos, 2020).

A tecnologia de FDM consiste em um processo de manufatura aditiva no qual filamentos termoplásticos são extrudados e depositados camada por camada para a construção de peças tridimensionais (Jandyal *et al.*, 2022). No contexto da fabricação de moldes de injeção, esse processo inicia-se com a modelagem tridimensional da peça em software de desenho assistido por computador (CAD). Em seguida, o modelo digital é processado por um *software* de fatiamento, que define o trajeto do cabeçote da impressora e orienta a deposição precisa das camadas do material, resultando na fabricação do molde (Martins, 2006). Um dos principais benefícios dessa tecnologia no setor de moldes de injeção está na possibilidade de otimizar o tempo de ciclo e a eficiência do resfriamento das peças moldadas. Como apontam Lopes *et al.* (2022), esses fatores são determinantes para assegurar a qualidade das peças e aumentar a produtividade industrial. A impressão 3D permite, por meio de sua liberdade geométrica, incorporar circuitos de refrigeração conformados diretamente no molde, algo inviável em processos tradicionais de usinagem, contribuindo assim para a melhoria do desempenho térmico e a redução do tempo de fabricação.

Um exemplo concreto da aplicação dessa tecnologia é apresentado por Fernandes *et al.* (2014), ao descrever a parceria entre as empresas Arburg Brasil e Stratasys, que resultou no uso bem-sucedido da impressão 3D para a produção de moldes destinados a séries limitadas de peças. Essa colaboração demonstrou que a impressão 3D pode reduzir drasticamente tanto o

custo quanto o tempo de fabricação dos moldes. Enquanto um molde metálico tradicional pode levar semanas para ser produzido, um molde impresso em 3D pode ser concluído em poucas horas, conferindo agilidade e flexibilidade aos processos de desenvolvimento de produtos. Além disso, caso o projeto necessite de ajustes ou modificações, novas versões do molde podem ser rapidamente impressas, sem grandes impactos no cronograma de produção. Essa capacidade de rápida resposta torna a tecnologia especialmente atraente para setores industriais que demandam agilidade e inovação, como as indústrias automobilística, aeroespacial e de eletrônicos.

Diante desse panorama de transformação tecnológica, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura a respeito da utilização da impressão 3D na produção de moldes e cavidades para a injeção de termoplásticos. Busca-se analisar, de forma crítica, vantagens, limitações e inovações tecnológicas associadas a essa técnica, bem como suas implicações para o aumento da eficiência e da sustentabilidade nos processos de manufatura industrial.

Materiais e métodos

Este estudo caracteriza-se como uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), um método reconhecido por sua abordagem estruturada e criteriosa para a coleta, avaliação e síntese de informações disponíveis sobre determinado tema. Por se tratar de um tema relativamente recente e ainda pouco explorado na literatura científica, a amostra de estudos analisados foi reduzida, o que reforça a relevância de sistematizar e discutir as contribuições existentes até o momento.

A metodologia utilizada neste trabalho foi a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020. Segundo Page et al. (2022), essa diretriz estabelece recomendações para a elaboração de relatos transparentes, completos e padronizados de revisões sistemáticas. Embora originalmente voltada à área da saúde, a PRISMA 2020 tem sido amplamente adotada em diferentes campos do conhecimento, incluindo engenharias, ciências dos materiais e tecnologias de manufatura, devido à sua capacidade de garantir rigor metodológico e reprodutibilidade em todas as etapas da pesquisa.

No presente estudo, a aplicação da PRISMA 2020 envolveu a definição clara da pergunta de pesquisa, o estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão dos artigos, a busca sistemática em bases de dados científicas e a análise criteriosa dos estudos selecionados. Esse procedimento permitiu a organização e documentação transparente do processo de seleção dos trabalhos, assegurando que os resultados obtidos fossem consistentes, comparáveis e verificáveis. Dessa forma, o uso da PRISMA 2020 contribuiu para fortalecer a confiabilidade da revisão e para garantir uma síntese abrangente e fundamentada.

A busca dos estudos foi realizada nas bases de dados ResearchGate, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), SciELO Brasil, Repositório Institucional da UFSC e ScienceDirect. A escolha dessas bases deve-se à sua ampla cobertura de produções científicas nacionais e internacionais, bem como à presença de artigos técnicos, dissertações e teses relacionadas às áreas de engenharia, design e manufatura aditiva, garantindo a diversidade e a relevância das fontes consultadas. Para a pesquisa, foram utilizadas as palavras-chave “3D printing”, “rapid tooling”, “injection molding”, “impressão 3D”, “molde de injeção” e “injeção de termoplásticos”. Inicialmente, foram identificados 100 estudos científicos. Após a leitura dos resumos, 35 estudos foram selecionados por atenderem parcialmente aos critérios de inclusão, e, após a leitura completa, resultou-se em uma seleção final de 10 estudos para compor a amostra analisada.

Os critérios de inclusão consideraram estudos que abordassem a fabricação de moldes ou cavidades por impressão 3D, com aplicações voltadas à injeção de termoplásticos, incluindo

estudos experimentais, revisões sistemáticas, estudos de caso ou artigos técnicos publicados entre 2015 e 2025, nos idiomas inglês ou português, e disponíveis em periódicos científicos, anais de congressos ou teses e dissertações. Foram excluídos trabalhos que i) não tratassem da aplicação de moldes impressos em 3D para injeção de termoplásticos; ii) abordassem exclusivamente a impressão 3D de peças finais e não de moldes; iii) envolvessem polímeros termofixos ou outros processos, como sopro ou extrusão; iv) não estivessem disponíveis na íntegra; ou v) apresentassem dados duplicados ou inconclusivos.

Durante a leitura completa dos artigos, cada estudo foi avaliado com base em cinco questões orientadoras: i) objetivo claramente definido; ii) metodologia adequada ao propósito; iii) resultados claros e confiáveis; iv) conclusões fundamentadas nos dados apresentados; e v) relevância do estudo para a aplicação de moldes ou cavidades em processos de injeção de termoplásticos. Esses critérios garantiram qualidade, coerência e pertinência dos estudos incluídos, permitindo uma análise consistente das principais tendências, limitações e perspectivas da aplicação da impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos.

Para a sistematização e a análise das informações, foram elaborados fichamentos analíticos de cada estudo incluído, os quais sintetizaram principais objetivos, metodologias, resultados e conclusões dos trabalhos analisados, possibilitando a construção de uma visão ampla e integrada sobre o uso da tecnologia de impressão 3D na fabricação de moldes e cavidades para o processo de injeção de termoplásticos.

Além disso, a análise crítica dos estudos permitiu identificar padrões, vantagens recorrentes e limitações comuns associadas à utilização da impressão 3D nesse contexto. Essa abordagem favorece não apenas a organização dos dados, mas também a elaboração de considerações e reflexões relevantes para o avanço do conhecimento na área de ferramentaria leve e manufatura aditiva.

Resultados e discussões

Com base nos estudos analisados, é evidente a existência de uma diversidade de abordagens e aplicações quanto à utilização da impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos, revelando o caráter dinâmico e em constante evolução dessa tecnologia no cenário industrial. Para ilustrar essa diversidade, foram elaborados gráficos que apresentam a distribuição dos estudos incluídos na revisão de literatura, considerando o idioma das publicações e o número de trabalhos publicados por ano. Esses dados permitem visualizar a evolução temporal das pesquisas e o predomínio de determinadas línguas na produção científica sobre o tema.

A Figura 3 evidencia a predominância de publicações em língua inglesa, o que reflete a centralidade da produção científica internacional sobre o tema. No entanto, observa-se também a presença de estudos em português, indicando o crescente interesse nacional e de países lusófonos na aplicação da manufatura aditiva à ferramentaria leve e à injeção de termoplásticos.

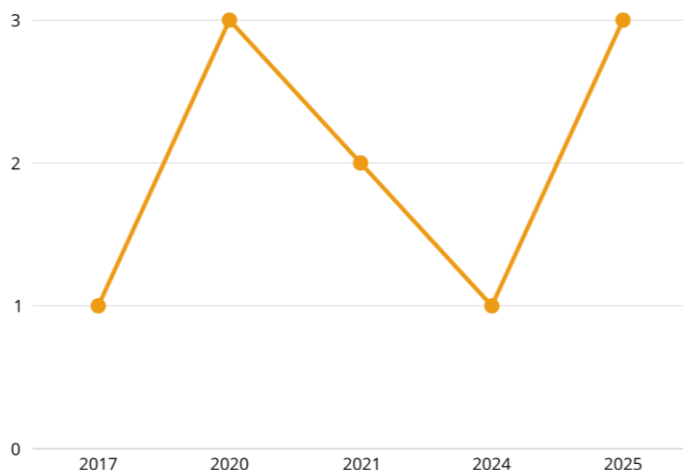
Figura 3 – Distribuição dos estudos por idiomas



Fonte: Os autores (2025)

A Figura 4 revela que as publicações sobre o tema apresentam uma distribuição irregular ao longo dos anos, indicando que as pesquisas nessa área ainda estão em processo de consolidação. Observa-se um crescimento pontual em alguns períodos, seguido por quedas em outros, o que demonstra que o interesse pela utilização da impressão 3D na fabricação de moldes para injeção ocorre de forma inconstante. Essa variação reforça a necessidade de aprofundar os estudos sobre o tema, de modo a ampliar o conhecimento e fortalecer a aplicação da manufatura aditiva no contexto da inovação tecnológica e do desenvolvimento sustentável.

Figura 4 – Distribuição dos estudos por ano de publicação



Fonte: Os autores (2025)

A literatura revisada demonstra que a impressão 3D aplicada à ferramentaria leve tem sido explorada tanto em contextos acadêmicos quanto industriais, sendo reconhecida como uma alternativa promissora para otimizar processos, reduzir custos e acelerar o desenvolvimento de produtos. Embora ainda existam limitações associadas a aspectos como a resistência térmica e mecânica dos moldes impressos, a flexibilidade no design, a redução do tempo de fabricação e a viabilidade para a produção de pequenos lotes surgem como benefícios significativos que têm despertado o interesse de diferentes setores produtivos. Os estudos também reforçam que o uso da impressão 3D na fabricação de moldes está diretamente associado à busca por soluções mais sustentáveis, eficientes e acessíveis, especialmente em comparação com métodos tradicionais

que envolvem moldes metálicos, cuja produção demanda mais investimento de tempo e de recursos.

A seguir, apresenta-se uma síntese detalhada dos fichamentos dos principais artigos revisados, organizada cronologicamente, destacando as metodologias adotadas, os objetivos específicos de cada pesquisa e os principais resultados alcançados. Essa organização permite visualizar de forma clara e estruturada a evolução das investigações e o avanço do conhecimento sobre o uso da manufatura aditiva na produção de moldes para injeção.

Além da análise dos estudos, é abordado também o desempenho dos filamentos de polímeros alternativos, com ênfase nas propriedades térmicas que influenciam diretamente a eficiência e a viabilidade dos moldes. Essas propriedades são fundamentais para determinar a capacidade dos moldes em suportar as condições do processo de injeção, impactando diretamente sua durabilidade, precisão dimensional e qualidade das peças produzidas.

Síntese dos fichamentos da revisão sistemática da literatura

A partir da análise dos estudos selecionados na Revisão Sistemática da Literatura, foi possível identificar uma diversidade de investigações e aplicações relacionadas à utilização da impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. Os estudos revisados permitiram traçar um panorama abrangente sobre o tema, destacando não apenas as vantagens já consolidadas da tecnologia, mas também os desafios que ainda precisam ser superados para viabilizar sua adoção em larga escala.

Dentre as vantagens observadas, destacam-se: agilidade na confecção de moldes; redução de custos; e possibilidade de fabricação de geometrias complexas que seriam inviáveis por métodos convencionais. Por outro lado, questões relacionadas à durabilidade, à resistência térmica e à precisão dimensional dos moldes permanecem como barreiras técnicas que limitam a aplicação da impressão 3D em determinados contextos industriais.

Com o objetivo de facilitar a compreensão e permitir a comparação entre os trabalhos analisados, os estudos foram sistematizados e apresentados no Quadro 1, baseado no modelo proposto por Coelho *et al.* (2022), onde constam informações relevantes como títulos dos trabalhos, autores, instituições de ensino ou periódicos de publicação, bem como objetivos e principais resultados de cada pesquisa. Essa compilação fornece uma visão organizada e abrangente sobre o desenvolvimento do conhecimento científico relacionado ao uso da manufatura aditiva na ferramentaria leve, ao longo das últimas duas décadas, servindo como referência para estudos futuros e para a aplicação prática da tecnologia.

Quadro 1 – Trabalhos analisados com respectivos resultados principais

Título	Autoria	Objetivo	Principais resultados
Fast and iterative prototyping for injection molding – a case study of rapidly prototyping	Kriesi <i>et al.</i> (2017) Procedia Manufacturing	Explorar o uso de prototipagem rápida em moldagem por injeção, desenvolvendo uma máquina de bancada para testar moldes.	Mostrou que é possível aplicar ciclos rápidos de prototipagem e iteração para otimizar materiais e interação do usuário em peças produzidas por injeção.
Feasibility and Process capability of polymer additive injection molds with slide technology	Schuh <i>et al.</i> (2020) Procedia CIRP	Testar a viabilidade técnica de moldes de injeção de poliméricos aditivos com tecnologia de gaveta (slide).	Foi comprovada a viabilidade de moldes aditivos com integração de slides, possibilitando geometrias complexas e redução de custos e

			tempo em comparação ao ferramental convencional.
3D Printed Injection Molds Using Various 3D Printing Technologies	Dizon <i>et al.</i> (2020) Materials Science Forum	Investigar o uso de diferentes tecnologias e materiais de impressão 3D, como SLA, PolyJet e FFF, na produção de moldes poliméricos para moldagem por injeção e avaliar a qualidade dimensional das peças injetadas com PLA e observar possíveis danos nos moldes.	Moldes impressos em Estereolitografia (SLA) e PolyJet apresentaram bom acabamento, enquanto o molde em Fabricação com Filamento Fundido (FFF) teve delaminação. A injeção de ácido polilático (PLA) resultou em peças com precisão dimensional satisfatória, com variação média abaixo de 5%. Os resultados demonstram a viabilidade das tecnologias de impressão 3D para moldes de alta qualidade e precisão.
Desempenho de insertos de PLA em moldes híbridos na injeção de peças em polipropileno	Vasconcelos (2020) Trabalho de conclusão de curso (TCC) em Engenharia Automotiva, Universidade Federal de Santa Catarina.	Analisar o desempenho de moldes híbridos com inserto de PLA e PLA com 20% de fibra de carbono, fabricados pelo processo FDM para injeção de polipropileno (PP).	Os insertos de PLA tiveram melhor desempenho que os com fibra de carbono, que apresentaram maior contração. A precisão dimensional das peças moldadas depende da contração do material e da deformação do inserto. Moldes híbridos por FDM são viáveis para pequenos lotes, mas exigem cuidado no projeto e seleção de materiais.
Rapid tooling for injection molding inserts	Farioli <i>et al.</i> (2021) ESAFORM Conference	Investigar o uso de manufatura aditiva para produção rápida de insertos em moldes de injeção.	Validou a manufatura aditiva como alternativa de baixo custo e tempo reduzido, com boas propriedades mecânicas para

			produção em pequena escala.
Aplicações da manufatura aditiva e impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos	Feriotti <i>et al.</i> (2021) Brazilian Journal of Production Engineering	Investigar o uso da impressão 3D para criação de moldes e padrões de fundição na indústria.	Demonstrou que a impressão 3D pode reduzir custos e tempo, permitindo maior complexidade geométrica em moldes e padrões de fundição.
Expendable Mold Manufacturing for Injection Molding – A Case Study of a Hybrid Additive Manufacturing	Eyercioglu <i>et al.</i> (2024) Conference Paper	Avaliar o uso de moldes descartáveis impressos em 3D para injeção de peças plásticas.	Mostrou que moldes descartáveis via DLP 3D permitem fabricar peças complexas em poucas horas, sendo promissores para produção de baixo volume.
Integrating 3D Printing with Injection Molding for Improved Manufacturing Efficiency	Chval <i>et al.</i> (2025) Polymers (MDPI)	Investigar manufatura híbrida combinando impressão 3D e moldagem por injeção.	Constatou que o processo híbrido reduz custos, amplia a liberdade de design e garante propriedades mecânicas superiores em comparação à impressão 3D isolada.
Customised production of injection moulded parts from recycled materials using rapid tooling approach and coupled injection moulding–thermal and mechanical simulation	Krizsma <i>et al.</i> (2025) Results in Engineering	Desenvolver um método de produção personalizada de peças injetadas a partir de materiais reciclados, utilizando moldes prototipados por manufatura aditiva e simulação acoplada térmico-mecânica do processo.	Todos os materiais reciclados testados (PP, mistura PP-HDPE e PA6) foram moldados com sucesso e boa qualidade. O estudo demonstrou que moldes poliméricos fabricados por impressão 3D podem processar materiais reciclados de forma eficiente. O modelo de simulação acoplada previu com precisão temperaturas, pressões e deformações, comprovando a viabilidade e sustentabilidade da técnica.
Rapid tooling: comparative analysis of mechanical properties and energy	Gülçür <i>et al.</i> (2025) Manufacturing Letters	Comparar o desempenho mecânico e a eficiência energética de micro	Moldes poliméricos apresentaram resistência à tração até 6,4 % inferior aos

efficiency in micro-injection mouldings using polymer and metal moulds		peças moldadas por injeção utilizando moldes de ferramentaria rápida polimérica e moldes metálicos.	metálicos, mas proporcionaram 17,6 % de economia de energia por ciclo devido à ausência de aquecimento. As peças moldadas mostraram menores tensões residuais e menor propensão à deformação, indicando boa aplicabilidade em produtos microfluídicos e dispositivos médicos.
--	--	---	---

Fonte: Os autores (2025)

De modo geral, os estudos analisados demonstram que a aplicação da manufatura aditiva na fabricação de moldes para injeção tem se consolidado como uma alternativa inovadora, ágil e economicamente viável, principalmente em contextos que exigem rapidez no desenvolvimento de protótipos e produção em pequena escala. Pesquisas como as de Kriesi *et al.* (2017) e Farioli *et al.* (2021) evidenciam que prototipagem e ferramentaria rápidas permitem reduzir significativamente o tempo e o custo de desenvolvimento, além de oferecer maior liberdade de design e possibilidade de integração de geometrias complexas.

Os estudos mais recentes ampliam esse entendimento ao explorar diferentes tecnologias e materiais. Dizon *et al.* (2020) demonstraram que moldes impressos por estereolitografia (SLA) e tecnologia PolyJet oferecem excelente qualidade superficial e precisão dimensional, enquanto os produzidos por modelagem por deposição de material fundido (FDM) exigem maior cuidado quanto à delaminação e resistência térmica. Vasconcelos (2020) reforçou essa observação ao analisar insertos de ácido polilático (PLA) em moldes híbridos, apontando a importância da seleção adequada de materiais para minimizar contrações e deformações.

A evolução da área também tem sido marcada por soluções mais avançadas, como a integração de componentes móveis e novas abordagens de fabricação. Schuh *et al.* (2020) comprovaram a viabilidade técnica de moldes poliméricos com tecnologia de gaveta, enquanto Eyercioglu *et al.* (2024) exploraram o uso de moldes descartáveis produzidos por impressão 3D em resina digital (DLP 3D), mostrando sua aplicabilidade em geometrias complexas e produções de baixo volume.

No contexto industrial, Feriotti *et al.* (2021) destacaram a redução de custos e tempo obtidos com a impressão tridimensional na fabricação de moldes e padrões de fundição, enquanto Chval *et al.* (2025) demonstraram que a combinação entre impressão 3D e moldagem por injeção pode aumentar a eficiência produtiva e melhorar o desempenho mecânico das peças em comparação com a impressão isolada.

Em uma perspectiva mais tecnológica e sustentável, Krizsma *et al.* (2025) propuseram o uso de moldes impressos por manufatura aditiva para injeção de materiais reciclados, comprovando a viabilidade de processar polímeros como polipropileno (PP), mistura de polipropileno e polietileno de alta densidade (PP-HDPE) e poliamida 6 (PA6) com excelente qualidade e precisão dimensional. Da mesma forma, Gülçür *et al.* (2025) compararam moldes metálicos e moldes poliméricos e verificaram que, apesar de uma resistência ligeiramente inferior, os moldes impressos proporcionam economia de energia por ciclo, além de menores tensões residuais e boa estabilidade dimensional.

A revisão sistemática da literatura evidencia, portanto, que a manufatura aditiva aplicada à ferramentaria de injeção tem avançado significativamente em aspectos técnicos, econômicos e sustentáveis. A análise comparativa dos estudos demonstra uma tendência clara de consolidação dessa tecnologia como ferramenta estratégica para o desenvolvimento ágil e personalizado de produtos plásticos. Além disso, a RSL contribui ao identificar lacunas de pesquisa relacionadas à durabilidade dos moldes, à melhoria da condutividade térmica dos materiais e à integração de métodos híbridos de produção, fornecendo subsídios para o direcionamento de futuras investigações e para o aprimoramento das práticas industriais nesse campo.

Desempenho e viabilidade dos filamentos de polímeros alternativos

Além da análise das abordagens de fabricação, foi possível identificar nos estudos revisados uma ênfase crescente na necessidade de explorar e compreender o desempenho dos materiais poliméricos alternativos utilizados na impressão dos moldes. A escolha do material adequado é fator determinante para garantir não apenas a viabilidade do processo de injeção, mas também qualidade, durabilidade e precisão dimensional das peças produzidas.

As informações sobre as propriedades térmicas e mecânicas dos principais filamentos poliméricos utilizados para a fabricação de moldes foram sistematizadas na Tabela 1, a seguir e que reúne dados como o ponto de fusão, a temperatura de transição vítrea (T_g) e a temperatura de distorção térmica (HDT) dos materiais mais comumente empregados, tais como PLA, ABS, PETG, Nylon, TPU, Polipropileno, Policarbonato e PEEK.

Tabela 1 – Análise térmica dos filamentos do mercado atual

Material	Ponto de fusão (°C)	Transição vítrea (°C)	HDT @1.8 MPa (°C)
PLA (Ácido Polilático)	180-220	60-65	~65
ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno)	210-250	105-110	88-110
PETG (Polietileno Tereftalato Glicol)	230-250	80-85	~63
Nylon (Poliamida 6)	220-260	70-90	60-80
TPU (Polímero Termoplástico de Uretano)	200-230	-50 a 0	35-45
Tritan™ (Copolíéster)	230-250	80-90	75-95
PP (Polipropileno)	160-170	-10 a 0	50-60
PC (Policarbonato)	220-230	150-155	10-150
PEEK	340	151	150-160

Fonte: Os autores (2025)

A partir da análise desses dados, foi possível observar que materiais como o PLA, embora amplamente utilizado devido à sua facilidade de impressão e baixo custo, apresentam desempenho térmico limitado, o que restringe sua aplicação como material para moldes expostos a temperaturas mais elevadas. Por outro lado, materiais de engenharia como o Policarbonato (PC) e o PEEK demonstraram propriedades superiores de resistência térmica e mecânica, tornando-se mais adequados para aplicações que exigem maior robustez, ainda que com custos e requisitos técnicos mais elevados.

A Tabela 1 serve, portanto, como ferramenta de apoio para a tomada de decisão na seleção do material mais apropriado, permitindo alinhar as características técnicas do polímero às necessidades específicas de cada aplicação. Ao considerar parâmetros como HDT e T_g , o

projetista pode antecipar o comportamento do molde durante o processo de injeção e, assim, minimizar riscos de deformação, falhas ou perda dimensional.

Os resultados desta análise confirmam que a evolução e a diversificação dos filamentos poliméricos disponíveis são essenciais para expandir as aplicações da impressão 3D na fabricação de moldes. Investimentos contínuos no desenvolvimento de novos materiais e na melhoria das propriedades dos polímeros atuais têm potencial para consolidar a ferramentaria leve como uma solução cada vez mais eficiente e competitiva no cenário industrial.

Considerações finais

A análise sistemática da literatura evidenciou que a manufatura aditiva, especialmente por meio da impressão 3D, constitui uma abordagem inovadora e promissora para a fabricação de moldes de injeção de termoplásticos. Conforme demonstrado nos estudos analisados, essa tecnologia possibilita redução significativa de tempo e custo de produção (Kriesi *et al.*, 2017; Farioli *et al.*, 2021; Chval *et al.*, 2025), amplia a liberdade geométrica no design de moldes (Schuh *et al.*, 2020; Dizon *et al.*, 2020) e contribui para avanços em sustentabilidade ao permitir o uso de materiais reciclados (Krizsma *et al.*, 2025) e reduzir o consumo energético em processos produtivos (Gülçür *et al.*, 2025). A incorporação de canais de refrigeração conformais, como apontado por Lagarto (2022), reforça o potencial da impressão 3D em otimizar o controle térmico e a qualidade dimensional das peças moldadas.

Os resultados apontam tendências claras na evolução da área, como a expansão do uso de moldes híbridos (Vasconcelos, 2020; Schuh *et al.*, 2020), a aplicação de filamentos de engenharia com maior resistência térmica e mecânica e a crescente integração da manufatura aditiva em processos industriais para produção de séries pequenas e customizadas. Observa-se também um crescente interesse em conectar a impressão 3D a práticas sustentáveis, tanto na escolha de materiais quanto na redução de etapas produtivas, sinalizando uma nova fronteira para a ferramentaria leve.

Apesar dos avanços, a revisão revelou lacunas importantes que demandam investigação. Há carência de estudos aprofundados sobre a durabilidade e estabilidade térmica de moldes impressos em diferentes materiais, bem como sobre o comportamento de longo prazo desses moldes em ciclos contínuos de produção. Também se verifica a necessidade de padronização metodológica para avaliação de desempenho e de diretrizes técnicas que suportem a integração dessa tecnologia em escala industrial. Lacunas adicionais incluem análises econômicas detalhadas e estudos sobre o impacto ambiental da aplicação da impressão 3D em ferramentaria.

Assim, este estudo contribui para consolidar a impressão 3D como uma solução estratégica no contexto da inovação industrial, destacando seu papel não apenas como alternativa técnica, mas como catalisadora de novas práticas de produção. Avançar nas pesquisas indicadas, particularmente no desenvolvimento de materiais avançados, métodos híbridos, avaliação padronizada e estudos de viabilidade econômica e ambiental, será essencial para que a manufatura aditiva se estabeleça como ferramenta robusta e competitiva no setor de processamento de polímeros, atendendo às demandas de produtividade, sustentabilidade e inovação apontadas ao longo desta revisão.

Referências

CHVAL; RAZ, K.; AMARO, P. Integrating 3D Printing with Injection Molding for Improved Manufacturing Efficiency. **Polymers**, v. 17, n. 14, p. 1935–1935, 14 jul. 2025.

DIZON, J. R. C. *et al.* 3D printed injection molds using various 3D printing technologies.

Materials Science Forum, v. 1005, p. 150–156, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1005.150>. Acesso em: 20 mar. 2025.

EYERCIOGLU, O. *et al.* EXPENDABLE MOLD MANUFACTURING FOR INJECTION MOLDING -A CASE STUDY OF A HYBRID ADDITIVE MANUFACTURING. **The 5 th International Conference of Materials and Engineering Technology**, 25 set. 2024.

FARIOLI, D. *et al.* Rapid tooling for injection molding inserts. **ESAFORM 2021**, 1 abr. 2021.

FERIOTTI, M. A. *et al.* APLICAÇÕES DA MANUFATURA ADITIVA E IMPRESSÃO 3D NA FABRICAÇÃO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS. **Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE**, p. 199–218, 22 set. 2021.

FERNANDES, A. D. F. *et al.* Supply chain and the impact of 3D printing. São Paulo, SP, 2014.

FOGGIATTO, J. A. *et al.* ABS molds built by the fused deposition modeling process for injection of PP and LDPE. **Polímeros**, v. 14, n. 5, p. 349–353, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282004000500013>. Acesso em: 20 mar. 2025.

GOMES, M. J. R. **Esquema ilustrativo de molde para injeção de polímeros**. 2025. Ilustração não publicada.

GÜLÇÜR *et al.* Rapid tooling: Comparative analysis of mechanical properties and energy efficiency in micro-injection mouldings using polymer and metal moulds. **Manufacturing Letters**, 1 jun. 2025.

JANDYAL, A. *et al.* 3D printing – A review of processes, materials, and applications in Industry 4.0. **Sustainable Operations and Computers**, v. 3, p. 33–42, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.004>. Acesso em: 20 mar. 2025.

KRIESI, C.; BJELLAND, Ø.; STEINERT, M. Fast and iterative prototyping for injection molding – a case study of rapidly prototyping. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 205–212, 2017.

KRIZSMA, S.; SUPLICZ, A.; GERE, D. Customised production of injection moulded parts from recycled materials using rapid tooling approach and coupled injection moulding-thermal and mechanical simulation. **Results in Engineering**, v. 26, p. 105272, 15 maio 2025.

LAGARTO, D. C. S. Study on the feasibility of implementing a cooling system with conformal channels in a plastic injection mold. 2022. Dissertação (Mestrado) — FEUP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/145139>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LOPES, M. *et al.* The importance of simulations in additive manufacturing of mechanical molds. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v. 7, n. 1, p. 396-01–396-24, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21575/25254782rmetg2022vol7n11782>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MAGALHÃES, L. C. dos S.; MUNIZ, F. R.; AZEVEDO, A. A. de. Analysis of the causes affecting the availability of plastic injection molds: A case study. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 8, n. 6, p. 44–57, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i6.38876>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MARTINS, J. R. Rapid manufacturing - evaluation of 3D printing and FDM technologies in the production of rapid molds. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/d.18.2006.tde-18072006-101938>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MOBARAK, H. *et al.* Recent advances of additive manufacturing in implant fabrication – A review. **Applied Surface Science Advances**, v. 18, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100462>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MOLDE INJEÇÃO PLÁSTICOS. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS – Molde Injeção Plásticos. Disponível em: <https://moldesinjecao plasticos.com.br/sistemas-de-refrigeracao-para-moldes-de-injecao-de-termoplasticos/>. Acesso em: 2 out. 2025.

PAGE, M. J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 46, p. 1, 30 dez. 2022.

PUGLIERO COELHO, C. *et al.* Gamification and inclusive special education: A systematic literature review. **Revista Pedagógica**, v. 24, n. 1, p. 1–23, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22196/rp.v24i1.6971>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RIBEIRO JUNIOR, A. S. Proposal for the use of CAE tools in the planning of the thermoplastic injection molding process in stereolithography molds. 2003. Tese (Doutorado) — Federal University of Santa Catarina. UFSC Repository. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84785>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SCHUH, G. *et al.* Feasibility and Process capability of polymer additive injection molds with slide technology. **Procedia CIRP**, v. 93, p. 102–107, 2020.

VASCONCELOS, L. Performance of PLA inserts in hybrid molds for the injection of polypropylene parts. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/248346>. Acesso em: 20 mar. 2025.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Agradecemos a essas instituições pela confiança e pelo incentivo, que foram fundamentais para a realização deste estudo.

Informações complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		Os conteúdos subjacentes ao texto do manuscrito estarão disponíveis no momento da publicação do artigo.
CrediT	Ana Clara Souto de Souza	Funções: curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita – rascunho original, escrita –

		revisão e edição.
	Lia Paletta Benatti	Funções: conceitualização, aquisição de financiamento, administração do projeto, supervisão, validação, visualização, escrita – rascunho original, escrita – revisão e edição.
	Artur Caron Mottin	Funções: escrita – rascunho original, escrita – revisão e edição
	Eduardo Cassiano Santos David	Funções: escrita – rascunho original, escrita – revisão e edição.

Avaliadores: Dra. Angela Favaretto (Universidade Federal da Fronteira Sul, Santa Catarina, Brasil). Os avaliadores “A”, “C” e “D” optaram pela avaliação fechada e pelo anonimato.*

Revisora do texto em português: Marilene Barbosa Pinheiro.

Revisora do texto em inglês: Patrícia Luciano de Farias Teixeira Vidal.

Revisora do texto em espanhol: Graziani França Claudino de Anicézio.

* Optou pela avaliação fechada e autorizou a divulgação da identidade no trabalho publicado e do parecer na página da Revista.