

# MANUFATURA ADITIVA DE MOLDES DE BAIXA PRODUÇÃO PARA PRODUTOS EM DESENVOLVIMENTO: UMA ABORDAGEM SISTEMÁTICA PARA A APLICAÇÃO, DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Talyta Silva Prado<sup>1</sup>; Vitor Alberto Nascimento Souza<sup>2</sup>; Edilson Roque C. Junior<sup>3</sup>; Erick Pinto Marques<sup>4</sup>; Valéria Loureiro da Silva<sup>5</sup>; Luciano Pisanu<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Bolsista Área de Polímeros; Projeto PD&I – EMBRAPPII; talyta.prado@fbter.org.br

<sup>2</sup>Mestrando MCTI, Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador – BA; vitor.souza@fieb.org.br

<sup>3</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; edilson.junior@fieb.org.br

<sup>4</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; erick.marques@fieb.org.br

<sup>5</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador – BA; valeria.dasilva@fieb.org.br

<sup>6</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador – BA; lpisanu@fieb.org.br

## RESUMO

Este trabalho apresenta de maneira sistemática a incorporação da manufatura aditiva na fabricação de moldes destinados à baixo volume produção de peças plásticas via moldagem por injeção com otimização do processo e custo de ferramental. Ademais, apresentamos uma técnica para a produção de elementos impressos para incertos em moldes de aço, oferecendo uma alternativa eficiente e econômica para fabricação de protótipos. Este estudo se propõe a avaliar na prática o comportamento de injeção em moldes fabricados pela técnica de impressão 3D por estereolitografia visando produção de testes piloto e escala reduzida. Nesse contexto, a contribuição deste artigo reside na proposta de soluções inovadoras que não apenas otimizam custos, mas também delineiam perspectivas promissoras para o futuro da manufatura de moldes inicialmente em processos de baixa tiragem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manufatura aditiva; moldes; produção; resina polimérica.

## 1. INTRODUÇÃO

A incessante busca por aprimoramento nos processos de fabricação, notadamente em ambientes de produção em baixa escala, tem conduzido a explorações de abordagens inovadoras<sup>1</sup>. No epicentro dessa busca, encontra-se a manufatura aditiva, uma tecnologia emergente com vastas implicações na criação de moldes piloto para avaliação de produtos diversos<sup>2</sup>. O propósito deste estudo é lançar luz sobre as potencialidades dessa revolucionária técnica, particularmente quando empregada na produção de moldes destinados a ensaios de baixa tiragem.

Ao focalizar as instalações do SENAI CIMATEC como palco deste estudo, almejamos não apenas desvendar as nuances técnicas aplicada à manufatura de moldes, mas também discernir sua eficácia na prática, explorando não apenas a viabilidade técnica, mas também a sustentabilidade econômica. Nesse contexto, a resina polimérica utilizada emerge como uma protagonista, delineando um caminho promissor para a materialização de moldes piloto<sup>7</sup>, conferindo uma perspectiva inovadora à tradicional produção de moldes.

Dessa forma, este trabalho não apenas se posiciona como uma contribuição ao corpo de conhecimento sobre manufatura aditiva, mas também como um guia para profissionais e indústrias que anseiam por soluções eficientes na produção de moldes piloto em contextos de baixa tiragem. Em última análise, nossa investigação visa transcender as fronteiras da produção convencional<sup>5</sup>, destacando o papel transformador da impressão 3D na redefinição dos paradigmas da manufatura.

## 2. METODOLOGIA

O método de pesquisa concentrou-se na realização de uma abordagem exploratória e aplicada, buscando investigar a tecnologia LFS (Low force Stereolithograph) em moldes piloto para testes de produção em baixa tiragem de produtos diversos, tendo como referência estudos similares, análise de casos práticos por meio de métodos estatísticos e comparativos; avaliando sua eficiência e viabilidade à aplicação supracitada. Esse estudo compreendeu as instalações do SENAI CIMATEC, cuja fabricação do molde ocorreu na impressora 3D de mesa FORM 3B+, sendo posteriormente testada no Laboratório de Polímeros em uma Injetora ROMI Primax – 100 Toneladas.

Os inserts, Figura 1A, tiveram formatos retangulares com dimensões de 100 mm (C) x 80 mm (L) x 45 mm (A) e foram manufaturados com uma resina polimérica, alojados em um porta molde convencional com um sistema de alimentação projetado para injeção direta de Ø3 mm com ângulo de 2º graus. Para a

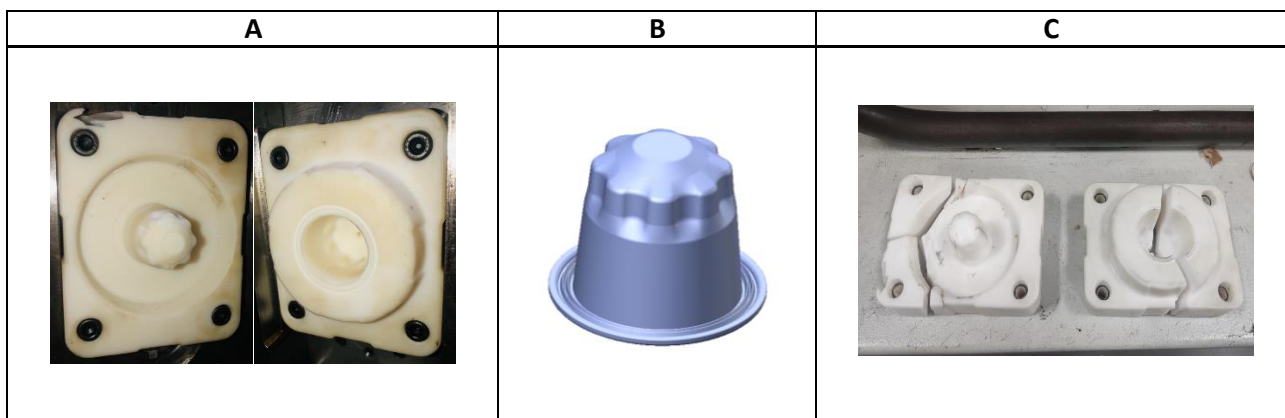
parametrização utilizou-se um compósito com fibra vegetal, iniciando com uma pressão de injeção a 300 bar e fixando-a em 200 bar.

Em síntese, a metodologia adotada neste trabalho buscou uma abordagem extensiva, abrangendo desde a escolha do tipo de estudo até a análise ética e técnica dos dados coletados, proporcionando uma base robusta para a investigação proposta.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O molde de injeção é uma unidade com estrutura completa para produção de peças moldadas<sup>7</sup>, cuja cavidades são calculadas conforme o produto almejado<sup>8</sup>. Ao fazer uma projeção de molde as especificações dimensionais e forma da peça são elementares, tais como, peso, tamanho, número de cavidades, regiões de fechamento, e o local mais adequado para o sistema de alimentação. O produto em questão tem dimensões iguais a 37,2 mm (C) x 37,2 mm (L) x 32 mm (A) e, massa média estimada em 2 gramas, Figura 1B.

**Figura 1.** Etapas do processo. A) Inserto/Cavidade Superior e Inferior; B) Produto a ser moldado; C) Insertos após ruptura.



Assumindo que o processo de manufatura tem limitações dimensionais na impressão<sup>7</sup>, adotou-se uma cavidade com sistema de alimentação direta; cunha para centralização para alinhamento entre as cavidades garantindo espessura constante durante o processo; regiões de alívio na cunha e no contorno externo; definição da fixação dos inserts via parafuso M6 com rosca feita nas placas de alojamento em aço para maior rigidez no aperto.

A partir desse inserto, conseguiu-se extrair, inicialmente, algumas peças com preenchimento incompleto e outras de forma completa, mas com rebarbas em seu contorno devido ao fechamento entre os inserts de resina, Figura 2.

**Figura 2.** Peças extraídas ao longo da injeção.



Entretanto, durante o processo de injeção houve a ruptura dos inserts, Figura 1C, cujas causas ainda são incertas, mas sugere-se a possibilidade de falha devido à resistência mecânica da resina após vários fechamentos ou obstrução do canal de injeção após adição de fibra na matéria prima.

Dentre as hipóteses, um dos fatores cruciais para a quebra, concentra-se na resistência mecânica do próprio material do inserto que demonstrou ser propício a fadiga após ser aplicada força de fechamento de 40 toneladas que fez o material expandir durante o processo causando abertura na face plana entre o alojamento e o inserto.

A vazão externa à cavidade, por sua vez, pode ter sido consequência da elevada pressão de injeção aplicada que provocou uma descentralização do canal de alimentação ou possível obstrução do mesmo, possibilitando o espalhamento do polímero, devido a sua alta fluidez, para locais que apresentassem qualquer sobra dimensional. Consequentemente, houve uma multiplicação da pressão sobre a peça, pois uma força manifestou-se para o lado contrário da fixação do inserto, provocando a ruptura deste.

Uma outra suposição, concentra-se em uma possível flexão do molde exatamente na região de entrada do material e outra na região de menor espessura caminhando em direção aos parafusos, gerando a ruptura nesses exatos pontos do molde. Isto configura um sinal claro de flexão em um lado e surgimento do momento fletor na região de fixação.

Além disso, destaca-se que o molde por não possuir sistema de refrigeração, torna-se uma barreira visto que, o polímero utilizado na manufatura do inserto possui baixa condutividade térmica o que gera ciclos elevados de injeção, além de uma maior dificuldade na extração da peça. Para o sistema de dosagem, normalmente é utilizado neste processo, uma bucha aquecida para garantir que o material injetado consiga chegar com boa fluidez na cavidade e realize a completa moldagem. Entretanto, adotou-se uma bucha fria que, por possuir um canal relativamente menor que o habitual devido as limitações no produto (geometria e espessura), o processo de fluidez no canal de injeção até a cavidade não foi eficiente. Houve acúmulo de material no canal, que esfriou antes do próximo ciclo, gerando entupimento do *gate*, e não permitindo o preenchimento adequado do produto, Figura 2.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da resina polimérica demonstrou ser uma escolha estratégica<sup>2</sup> que reforça a efetividade da técnica, destacando-se por sua versatilidade, desempenho e viabilidade econômica quando relacionado à manufatura de peças piloto para moldes em aço, abrindo portas para uma abordagem mais eficiente na produção de moldes para baixa tiragem.

As implicações práticas deste estudo transcendem a esfera acadêmica, apresentando-se como um guia prático para profissionais e indústrias que enfrentam desafios na produção em baixa escala. A implementação bem-sucedida da manufatura aditiva na criação de moldes piloto oferece não apenas vantagens econômicas, mas também destaca o papel transformador desta tecnologia na redefinição dos métodos tradicionais de manufatura.

Contudo, é crucial reconhecer que, embora tenhamos avançado significativamente, ainda há desafios a serem superados. A contínua pesquisa e desenvolvimento nesta área são necessárias para aprimorar as técnicas existentes, otimizar processos e enfrentar questões específicas relacionadas à qualidade e durabilidade dos moldes produzidos.

#### Agradecimentos

Ao SENAI CIMATEC por fornecer as instalações, recursos e tecnologias, para a realização deste estudo.

#### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup>ANDERSON, Chris. **Makers: The New Industrial Revolution**. Nova Iorque: Crown Business, 2012.
- <sup>2</sup>GIBSON, Ian. **The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications**. Londres: 3D Hubs, 2017.
- <sup>3</sup>WOHLERS, Terry. **Wohlers Report 2021: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report**. Fort Collins: Wohlers Associates, Inc., 2021.
- <sup>4</sup>CAMPBELL, T. A.; IVANOVA, O. S.; WILLIAMS, C. B. **3D Printing of Personalized Nasal Sprays for Improved Therapeutic Efficacy and Compliance**. In: "3D Printing and Additive Manufacturing", 2017.
- <sup>5</sup>GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2018.
- <sup>6</sup>CHUA, Chee Kai; LEONG, Kah Fai; LIM, Chu Sing. **Rapid Prototyping: Principles and Applications**. Cingapura: World Scientific Publishing, 2010.
- <sup>7</sup>SUN, Qixian; RICKER, Mark; MIELAUS, Stefan; et al. **Mold Design and Manufacturing Considerations for PolyJet Additive Manufacturing**. In: "International Journal of Advanced Manufacturing Technology", 2016.
- <sup>8</sup>HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos – Projetos e Princípios Básicos**. Ed. São Paulo: Artiber, 2004.