

Estudo do desempenho de resinas fotossensíveis em moldes de injeção por impressão 3D DLP

Performance evaluation of photosensitive resins for injection molds fabricated via DLP 3D printing

Felício Antônio Almeida Moreira, Mestrando - PPGEM, CEFET-MG.

Felicio701@gmail.com

Lia Paletta Benatti, Doutora - PROAC, IAD - UFJF.

lia.paletta@ufjf.br

Caroline Salvan Pagnan, Doutora - PPGD, UEMG.

Caroline.pagnan@uemg.br

Artur Caron Mottin, Doutor, PPGEM, DEM – CEFET-MG.

artur.mottin@cefetmg.br

[03: Materiais alternativos e inovações tecnológicas]

Resumo

A crescente demanda por tecnologias sustentáveis tem impulsionado a busca por soluções inovadoras na indústria de transformação de polímeros, destacando-se o uso do poli(ácido láctico) (PLA), um biopolímero biodegradável, frente às baixas taxas de reciclagem. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar comparativamente a viabilidade técnica de resinas fotopoliméricas aplicadas à fabricação de moldes poliméricos para moldagem por injeção por meio da manufatura aditiva do tipo processamento digital de luz (DLP), visando à redução do desperdício de material no processo produtivo. Foram produzidos moldes com a mesma geometria utilizando as resinas fotossensíveis BASF Ultracur3D® RG 3280 (Importada) e KED Tough E10 (nacional), empregados na injeção de corpos de prova de PLA puro e de compósitos contendo PEG e urucum. As análises contemplaram validação dimensional, avaliação do estado dos moldes após o uso e ensaios de tração dos corpos de prova obtidos no processo de injeção. Os resultados demonstraram comportamento semelhante entre as resinas avaliadas, com estabilidade dimensional e desempenho mecânico consistentes, evidenciando o potencial do uso de resinas fotopoliméricas na produção sustentável de moldes para aplicações de baixo volume produtivo.

Palavras-chave: Biopolímeros; Injeção; Sustentabilidade; Resina.

Abstract

The growing demand for sustainable technologies has driven the search for innovative solutions in the polymer processing industry, with the use of poly(lactic acid) (PLA), a biodegradable biopolymer, standing out in light of low recycling rates. In this context, the present study aimed to comparatively evaluate the technical feasibility of photopolymer resins applied to the manufacture of polymer molds

for injection molding through additive manufacturing of the digital light processing (DLP) type, aiming to reduce material waste in the production process. Molds with the same geometry were produced using BASF Ultracur3D® RG 3280 (imported) and KED Tough E10 (domestic) photosensitive resins, employed in the injection of pure PLA test specimens and composites containing PEG and annatto. The analyses included dimensional validation, evaluation of the condition of the molds after use, and tensile tests of the test specimens obtained in the injection process. The results showed similar behavior between the resins evaluated, with consistent dimensional stability and mechanical performance, highlighting the potential of using photopolymer resins in the sustainable production of molds for low-volume applications.

Keywords: Biopolymers; Injection; Sustainability; Resin.

1. Introdução

O consumo global de plásticos tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, impulsionado pela expansão econômica e pelo aumento populacional. Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a produção mundial desse material poderá quase triplicar até 2060, passando de aproximadamente 460 milhões de toneladas em 2019 para cerca de 1.231 milhões de toneladas (OCDE, 2022). Esse crescimento intensifica os impactos ambientais associados ao acúmulo de resíduos e evidencia a necessidade de soluções mais sustentáveis ao longo do ciclo de vida dos polímeros (Abiplast, 2022).

Paralelamente, a indústria de transformação de polímeros enfrenta a crescente demanda por componentes com maior complexidade geométrica, precisão dimensional e desempenho mecânico, especialmente no contexto da moldagem por injeção (Farrugia *et al.*, 2024; Harada, 2004). Embora os processos convencionais sejam amplamente utilizados, eles apresentam limitações relacionadas ao desperdício de material e à flexibilidade de projeto. Nesse cenário, a manufatura aditiva (AM) destaca-se por possibilitar a fabricação de componentes por adição de material, camada a camada, com menor geração de resíduos e maior liberdade geométrica (Jayasankar *et al.*, 2025; Souza *et al.*, 2025; Lozano *et al.*, 2022).

Dentre as tecnologias de AM, o processamento digital de luz (*Digital Light Processing – DLP*) apresenta elevado potencial para a fabricação de moldes poliméricos, em função de sua alta precisão dimensional e qualidade superficial. No entanto, a aplicação dessa tecnologia depende do desempenho das resinas fotopoliméricas empregadas, especialmente aquelas disponíveis no mercado nacional, cuja viabilidade técnica e econômica ainda demanda investigação sistemática (Nam; Kim, 2024; Pelin *et al.*, 2024; Coelho, 2016).

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente o desempenho técnico e econômico de resinas fotossensíveis comerciais utilizadas em impressoras 3D do tipo DLP para a fabricação de moldes poliméricos aplicados à moldagem por injeção. Busca-se contribuir para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis, alinhadas à redução de desperdícios, à otimização de processos produtivos e ao fortalecimento da competitividade da indústria nacional.

2. Procedimentos Metodológicos

A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como um estudo experimental de abordagem quantitativa, desenvolvido com o objetivo de avaliar comparativamente o desempenho técnico de resinas fotopoliméricas aplicadas à fabricação de moldes poliméricos por manufatura aditiva do tipo processamento digital de luz (DLP), através da avaliação das peças produzidas no processo de injeção. O delineamento experimental foi estruturado de forma a manter constantes as variáveis de projeto, fabricação e processamento, permitindo a análise isolada da influência do material do molde nos resultados obtidos.

Inicialmente, foi definido o material a ser injetado, adotando-se o poli(ácido láctico) (PLA) em três composições distintas: PLA puro, PLA com adição de 1% em massa de polietilenoglicol (PEG) e PLA contendo 1% de PEG e pigmentação natural à base de urucum. A escolha dessas

formulações teve como objetivo avaliar o comportamento do material em diferentes condições, mantendo o alinhamento com princípios de sustentabilidade. O PEG foi adicionado como plastificante, com a finalidade de reduzir a fragilidade do PLA e melhorar sua processabilidade (Ju *et al.*, 2025). Já o urucum foi utilizado como pigmento natural, permitindo avaliar o comportamento do material na presença de um aditivo de origem vegetal, além de contribuir para a proposta sustentável do estudo ao substituir corantes sintéticos convencionais.

Para a fabricação dos moldes, foi desenvolvido um modelo tridimensional, conforme apresentado na figura 1, padronizado por meio de software de modelagem assistida por computador (CAD), garantindo geometria padronizada para todos os corpos de prova que serão ensaiados. Os moldes foram produzidos por impressão 3D DLP utilizando duas resinas fotopoliméricas comerciais: , de maior valor comercial (BASF RG 3280), enquanto a segunda refere-se à resina nacional KED Tough E10, de menor custo, cuja aplicação em moldes para o processo de injeção é indicada pelo fabricante.

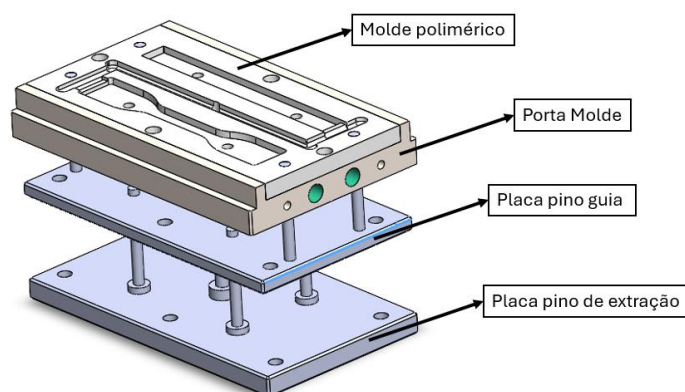


Figura 1: Montagem computacional do conjunto molde e porta molde. Fonte: Os autores (2026).

Para a definição dos parâmetros de impressão e a validação prévia antes da fabricação do molde, foram utilizados modelos de calibração tanto para a resina RG 3280, quanto para a KED TOUGH E10, conforme apresentado na Figura 2.

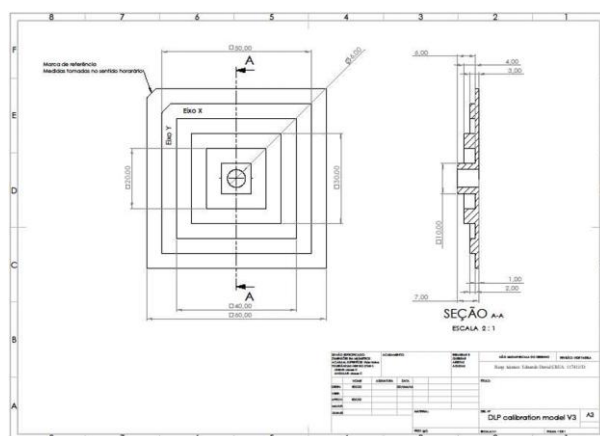


Figura 2: Detalhe do molde de fabricação. Fonte: Os autores (2026).

A partir desses modelos, foi possível verificar e ajustar a dimensão final das peças e avaliar a rugosidade superficial, assegurando que o processo estivesse adequado para a produção do molde definitivo.

Após a validação do processo de impressão, foram fabricados os moldes correspondentes a cada resina. Ressalta-se a necessidade da realização das etapas de pós-processamento, de modo que os moldes foram submetidos à limpeza em solvente alcoólico e à cura ultravioleta (UV) controlada, com o objetivo de promover a completa polimerização das resinas e garantir a estabilização dimensional das peças.

Após as validações dimensionais e de rugosidade superficial, iniciou-se o processo de montagem dos moldes poliméricos. Para garantir o correto encaixe no porta-molde, foi necessário realizar um desbaste na superfície lateral, ajustando a largura para 80,5 mm, bem como a adequação dos furos-guia e do sistema de extração. Essa etapa é fundamental, uma vez que qualquer desalinhamento pode resultar em danos ao molde, seja durante o fechamento e a prensagem do conjunto, seja durante a remoção da amostra injetada. A montagem final do conjunto pode ser visualizada na figura 3.



Figura 3: Conjunto ajustado. Fonte: Os autores (2026).

Com o molde ajustado na máquina, antes de iniciar o processo de injeção do material, foi necessário fazer o processo de desumidificação antes de colocar na injetora, do PLA puro, PLA com 1% em peso de PEG e PLA + PEG com 1% do *masterbacht* de urucum 1%, na estufa durante 50 min a 60 °C, sendo misturados manualmente aos 30 minutos, para harmonização do processo.

A configuração da máquina de injeção foi estabelecida com as seguintes condições: Zona 1 a 180 °C, Zona 2 a 190 °C e Zona 3 a 190 °C, além da temperatura do molde ajustada para 30 °C, valores considerados adequados para o processo de injeção de termoplásticos. O tempo de enchimento foi definido em 11,65 segundos.

Após a configuração dos parâmetros e a montagem completa do conjunto, conforme apresentado na figura 4, foi possível realizar o processo de injeção das peças. Com os corpos de prova devidamente produzidos, procedeu-se à execução dos ensaios de tração, permitindo a obtenção dos resultados necessários para a análise do desempenho mecânico dos materiais, ressalta-se que caso a fratura ocorresse em algum tipo de bolha na peça o teste será inválido e não serão armazenados resultados neste caso.



Figura 4: Montagem final. Fonte: Os autores (2026).

Para a avaliação do desempenho mecânico, os corpos de prova produzidos foram submetidos a ensaios de tração, de acordo com a norma *American Society for Testing and Materials* - ASTM D638:14, possibilitando a obtenção de parâmetros como resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura.

Os dados obtidos nos ensaios foram organizados e tratados, permitindo a comparação entre os resultados associados a cada resina fotopolimérica. A análise dos resultados possibilitou avaliar a viabilidade técnica do uso de diferentes resinas na fabricação de moldes poliméricos por manufatura aditiva, considerando aspectos de desempenho, repetibilidade e potencial de aplicação em processos produtivos de baixo volume.

3. Resultados

3.1. Validação Modelo de Calibração

Foram realizadas as medições de rugosidade dos modelos de calibração. As leituras foram efetuadas ao longo da peça de calibração, as medições das rugosidades obtidas são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Teste de Rugosidade dos modelos de calibração.

<i>Medidas</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
KED E10		
Ra (μm)	0,355	0,052
Rq (μm)	0,449	0,062
Rz (μm)	1,829	0,222
RG 3280		
Ra (μm)	0,304	0,077
Rq (μm)	0,381	0,086
Rz (μm)	1,679	0,241

Fonte: Os autores (2026).

Em seguida, foram realizadas as avaliações dimensionais dos modelos de calibração, analisando-se as distâncias internas e externas correspondentes a cada andar da peça padrão. As medições foram efetuadas para os modelos produzidos com ambas as resinas avaliadas, permitindo a comparação do comportamento dimensional de cada material. As médias e os desvios padrão das medições que apresentaram maior variação são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Teste de dimensional dos modelos de calibração.

<i>Medidas</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
KED E10		
Distância externa	50,18	0,09
Distância interna	50,16	0,05
Furo	5,87	0,01
RG 3280		
Distância externa	50,38	0,11
Distância interna	50,41	0,04
Furo	5,45	0,12

Fonte: Os autores (2026).

Os resultados indicam que as medições atenderam aos requisitos do modelo computacional, com variações dentro das tolerâncias admissíveis, evidenciando estabilidade dimensional ao longo da peça. Dessa forma, as configurações de impressão adotadas mostraram-se adequadas para a produção do molde, garantindo precisão compatível com a aplicação proposta.

3.2. Validação da Rugosidade do molde

A tabela 3 apresenta os valores médios e os desvios padrão obtidos nos ensaios de rugosidade superficial dos moldes fabricados com as resinas avaliadas:

Tabela 3: Teste de rugosidade dos moldes.

<i>Medidas</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
KED E10		
Ra (μm)	1,022	0,122
Rq (μm)	1,271	0,159
Rz (μm)	4,453	0,374
RG 3280		
Ra (μm)	0,348	0,071
Rq (μm)	0,440	0,084
Rz (μm)	1,741	0,186

Fonte: Os autores (2026).

A avaliação da viscosidade indicou que, mesmo com parâmetros de impressão semelhantes, a resina importada apresentou menor rugosidade superficial. Esse comportamento sugere maior capacidade de nivelamento do material durante a impressão, influenciando diretamente o acabamento superficial das peças injetadas, no entanto no teste realizado não prejudicou na vida útil do molde e das peças obtidas.

3.3. Resina Molde ULTRACUR3D® RG 3280

Foram produzidas aproximadamente 92 peças utilizando o molde fabricado com a resina ULTRACUR3D® RG 3280. Após sucessivos ciclos de injeção, observou-se a formação de uma trinca na região central do molde, conforme apresentado na Figura 5.

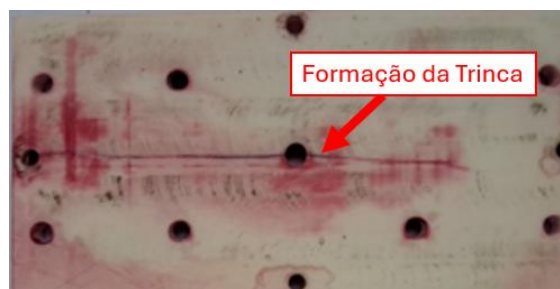


Figura 5: Molde BASF RG3280 após ser efetuadas as injeções. Fonte: Os autores (2026).

A análise da falha indicou que sua origem está associada ao ajuste dimensional aplicado durante a etapa de montagem. O aperto excessivo nos pontos de fixação restringiu a dilatação térmica natural do material polimérico, impedindo a adequada acomodação das tensões geradas durante o processo de injeção. Como consequência dessa restrição mecânica, as tensões concentradas ultrapassaram o limite de deformação admissível do material,

resultando na formação da trinca.

Apesar da ocorrência da avaria no molde, as peças injetadas apresentaram estabilidade dimensional e mantiveram o padrão geométrico esperado, evidenciando a conformidade do processo de injeção e a estabilidade do conjunto ao longo da produção.

Com as peças produzidas e validadas dimensionalmente, deu-se início à etapa de ensaios de tração, realizados individualmente para cada material. Foram avaliados os corpos de prova confeccionados em PLA, PLA-PEG 1% e PLA-PEGU 1%+urucum , respectivamente, permitindo a comparação do comportamento mecânico entre as diferentes composições, ressalta-se que caso a fratura ocorresse em algum tipo de bolha na peça o teste era inválido e não foram armazenados resultados neste caso, portanto a tabela 4 indica as médias, desvio padrão e medianas de todas as peças produzidas resultado do ensaio de tração:

Tabela 4: Resultados Ensaio de tração produzido pelo molde ULTRACUR3D® RG 3280.

<i>Amostra</i>	<i>Largura (mm)</i>	<i>Esp. (mm)</i>	<i>Força Máx. (N)</i>	<i>Força Rup. (N)</i>	<i>Tensão Máx. (MPa)</i>	<i>Tensão Rup. (MPa)</i>	<i>Mód. Elástico. (MPa)</i>	<i>Deform. %</i>
PLA 100%								
Média	9,64	3,33	1771,79	1626,31	56,20	50,94	1248,37	2,21
Mediana	9,58	3,33	1777,72	1587,59	56,46	50,22	1245,79	2,22
Desv. P.	0,13	0,03	73,68	100,66	1,07	2,88	19,37	0,13
PLA + PEG 1%								
Média	9,54	3,29	1684,20	1590,08	53,76	50,78	1175,54	2,56
Mediana	9,52	3,28	1685,17	1588,63	53,66	50,85	1161,37	2,59
Desv. P.	0,05	0,05	20,20	49,92	0,62	1,23	35,24	0,14
PLA + PEG 1%+Urucum								
Média	9,59	3,34	1649,87	1588,73	51,65	49,72	1164,89	2,54
Mediana	9,57	3,35	1655,13	1581,33	52,25	49,39	1166,31	2,54
Desv. P.	0,08	0,04	50,32	84,57	1,97	2,48	31,82	0,25

Fonte: Os autores (2026).

Além disso a figura 6 a seguir indica os gráficos da curva de tensão x deformação dos ensaios, do corpo de prova com a mediada da força máxima obtida, a fim de visualizar o comportamento durante o a aplicação da força.

BASF ULTRACUR3D®
RG 3280

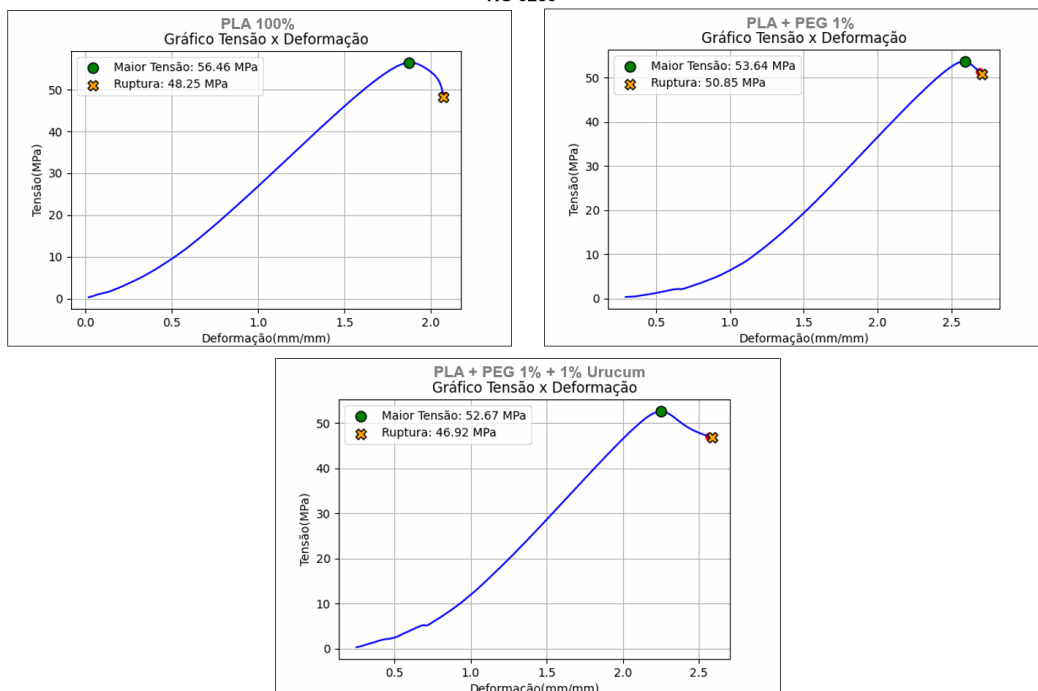


Figura 6: Comportamento da curva de tensão deformação resina BASF. Fonte: Os autores (2026).

3.4. Resina Molde KED TOUGH E10

No primeiro ciclo de injeção, foram obtidas 9 amostras injetadas, contudo, devido à geometria reduzida da parede na região próxima ao ponto de fixação, ocorreu uma falha no processo de injeção, conforme apresentado na figura 7

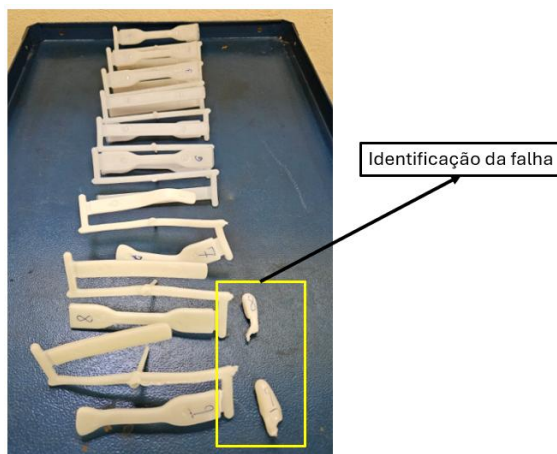


Figura 7: Amostras injetadas primeiro molde. Fonte: Os autores (2026).

Diante da falha observada, foi realizada uma modificação no projeto do molde, alterando a geometria da região de falha, com o objetivo de aumentar a resistência estrutural na região de falha e evitar novas rupturas durante o processo de injeção, conforme apresentado na Figura 8. Após essa alteração, o molde apresentou desempenho significativamente superior, tornando-se estruturalmente eficiente.

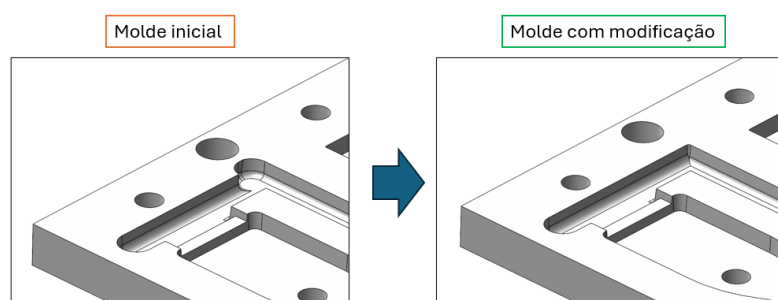


Figura 8: Modificação no molde KED. Fonte: Os autores (2026).

Com essa modificação, foi possível realizar as injeções de aproximadamente 100 amostras subsequentes com sucesso, obtendo peças em conformidade dimensional e com o mesmo padrão de qualidade observado nos demais moldes avaliados. Portanto a tabela 5 apresenta os resultados consolidados dos ensaios de tração válidos para as três composições analisadas: PLA 100%, PLA + 1% PEG e PLA + 1% PEG + Urucum.

Tabela 5: Resultados Ensaio de tração produzido pelo molde KED TOUGH E10.

<i>Amostra</i>	<i>Largura (mm)</i>	<i>Esp. (mm)</i>	<i>Força Máx. (N)</i>	<i>Força Rup. (N)</i>	<i>Tensão Máx. (Mpa)</i>	<i>Tensão Rup. (Mpa)</i>	<i>Mód. Elástico. (MPa)</i>	<i>Defor. %</i>
PLA 100%								
Média	8,53	3,18	1679,84	1553,73	61,94	57,29	1514,68	2,44
Mediana	8,50	3,18	1685,17	1564,84	62,34	56,56	1504,71	2,35
Desv. P.	0,08	0,00	56,52	65,20	1,93	2,43	36,03	0,41
PLA + PEG 1%								
Média	8,61	3,18	1651,78	1480,77	60,26	54,04	1526,15	2,50
Mediana	8,55	3,18	1647,32	1477,84	60,24	53,42	1539,35	2,59
Desv. P.	0,11	0,00	39,78	84,56	1,68	3,54	28,19	0,21
PLA + PEG 1%+Urucum								
Média	8,50	3,18	1586,57	1388,02	58,70	51,35	1530,27	2,55
Mediana	8,50	3,18	1585,59	1412,21	58,66	52,25	1541,74	2,59
Desv. P.	0,00	0,00	20,56	50,67	0,76	1,87	36,60	0,32

Fonte: Os autores (2026).

Além disso a figura 9 a seguir indica os gráficos da curva de tensão x deformação dos ensaios, do corpo de prova com a mediada da força máxima obtida, a fim de visualizar o comportamento durante o a aplicação da força.

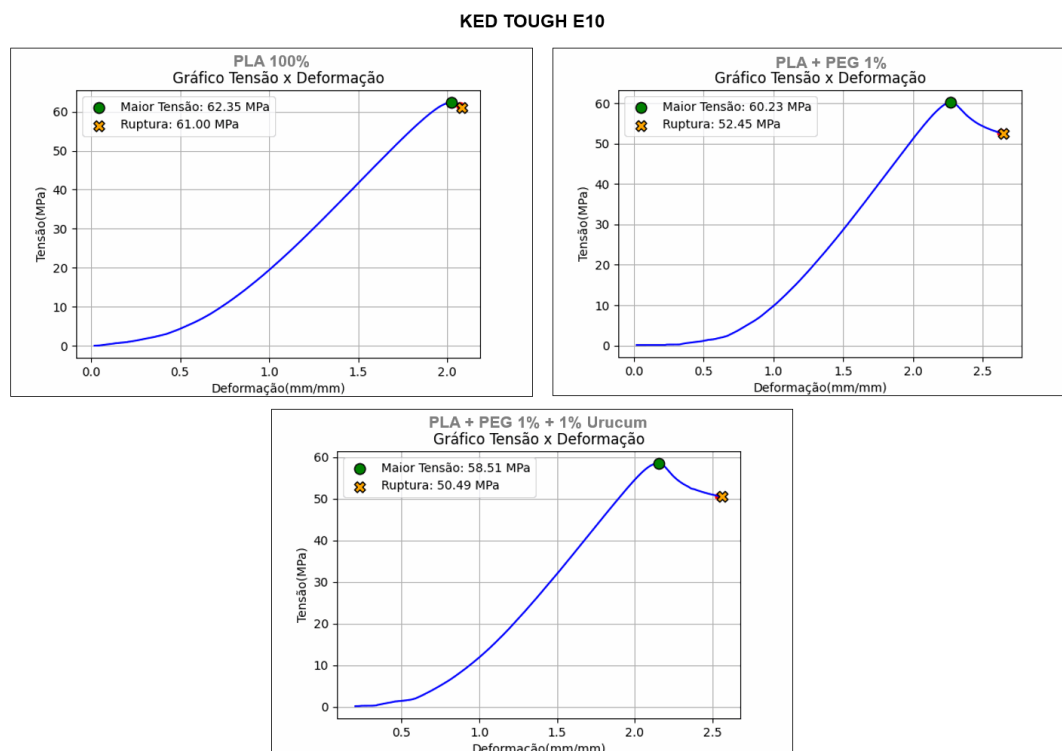


Figura 9: Comportamento da curva de tensão deformação resina KED. Fonte: Os autores (2026)

4. Análises dos Resultados e Discussões

Com o objetivo de sintetizar e facilitar a análise dos resultados experimentais, foi elaborado um resumo comparativo das principais propriedades mecânicas obtidas a partir das peças injetadas utilizando moldes fabricados com diferentes resinas fotopoliméricas. A tabela 6 apresenta os valores médios de tensão máxima, tensão de ruptura, módulo elástico e deformação para as amostras de PLA puro e compósitos, possibilitando a avaliação direta do desempenho associado a cada material de molde.

Tabela 6: Resultados Ensaio de tração produzido pelo molde KED TOUGH E10.

<i>Amostra</i>	<i>Tensão Máx. (Mpa)</i>	<i>Tensão Rup.(Mpa)</i>	<i>Mód. Elástico.(MPa)</i>	<i>Deform.(%)</i>
<i>PLA 100%</i>				
Molde BASF RG 3280	56,20	50,94	1248,37	2,21
Molde KED E10	61,94	57,29	1514,68	2,44
Desvio Padrão	4,06	4,49	188,31	0,16
<i>PLA + PEG 1%</i>				
Molde BASF RG 3280	53,76	50,78	1175,54	2,56

Molde KED E10	60,26	54,04	1526,15	2,50
Desvio Padrão	4,60	2,31	247,92	0,04
<i>PLA + PEG 1% + Urucum 1%</i>				
Molde BASF RG 3280	51,65	49,72	1164,89	2,54
Molde KED E10	58,70	51,35	1530,27	2,55
Desvio Padrão	4,99	1,15	258,36	0,01

Fonte: Os autores (2026).

A análise dos resultados indica que as peças produzidas com os moldes fabricados a partir das resinas BASF Ultracur3D® RG 3280 e KED Tough E10 apresentaram comportamento mecânico semelhante para todas as composições avaliadas. As variações observadas entre os valores médios das propriedades foram pouco significativas, não sendo identificadas diferenças expressivas que comprometessem o desempenho das peças injetadas.

Os baixos valores de desvio padrão reforçam a boa repetibilidade do processo de moldagem por injeção associado à manufatura aditiva, evidenciando a estabilidade dimensional dos moldes e a consistência dos resultados mecânicos obtidos. Esses resultados indicam que ambas as resinas fotopoliméricas avaliadas são tecnicamente viáveis para a fabricação de moldes destinados a aplicações de baixo volume, contribuindo para a redução de custos, desperdício de material e impacto ambiental.

5. Conclusão ou Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo avaliar comparativamente o desempenho técnico de resinas fotossensíveis comerciais aplicadas à fabricação de moldes poliméricos por manufatura aditiva do tipo processamento digital de luz (DLP), voltados à moldagem por injeção de PLA e seus compósitos. Os resultados obtidos demonstraram que ambas as resinas avaliadas apresentaram desempenho semelhante, permitindo a produção de peças com estabilidade dimensional e comportamento mecânico consistente em aplicações de baixo volume.

A análise comparativa indicou que a resina nacional KED Tough E10 apresentou desempenho técnico compatível ao da resina importada BASF Ultracur3D® RG 3280, mesmo sem a presença de cargas cerâmicas em sua formulação. Destaca-se, ainda, a diferença expressiva de custo entre os materiais, sendo a resina nacional comercializada por aproximadamente R\$ 480,00/kg, enquanto a resina importada apresenta custo em torno de R\$ 3.500,00/kg. Apesar de apresentar rugosidade superficial ligeiramente superior, essa característica não comprometeu o acabamento nem as propriedades mecânicas das peças produzidas, evidenciando sua viabilidade para a fabricação de moldes poliméricos destinados à produção de pequenos lotes.

Como principal aplicação, destaca-se o uso dessas resinas na prototipagem funcional e na produção de moldes para séries limitadas, com redução de custos, tempo de desenvolvimento e desperdício de material, contribuindo para práticas mais sustentáveis na indústria de transformação de polímeros. Entre as limitações do estudo, ressalta-se a avaliação restrita a um número limitado de ciclos de injeção e a uma geometria específica de molde, não

contemplando análises de durabilidade em longo prazo.

Como contribuição ao conhecimento, este estudo reforça o potencial da manufatura aditiva associada à moldagem por injeção como alternativa tecnicamente viável e sustentável, além de evidenciar a competitividade de resinas nacionais frente a materiais importados, ampliando as possibilidades de aplicação dessas tecnologias no contexto industrial brasileiro.

Referências

- ABIPLAST** - Associação Brasileira da Indústria do Plástico. ÍNDICE DE RECICLAGEM MECÂNICA DE PLÁSTICOS ATINGE MAIOR PATAMAR DESDE 2018 Disponível em: <<https://www.abiplast.org.br/noticias/indice-de-reciclagem-mecanica-de-plasticos-atinge-maior-patamar-desde-2018/>>. Acesso em: 10 set. 2025.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638:14 – Standard test methods for tensile properties of plastics** – Elaboração – Referências. International, 2022
- BASF. **Ultracur3d® Rg 3280 – Rigid | Hdt 280 | Ceramic-Filled: Extended Tds – Complete Technical Documentation and Testing Summary**. Basf Forward Am, [s.d.]. Disponível em: BASF – Estados Unidos. Acesso em: 10 nov. 2025.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução; tradução Sergio Murilo Stamile Soares**. - 9. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- COELHO, Arthur Wilson Fonseca. **Estudo do Processo e da Qualidade de Peças Fabricadas por Estereolitografia**. UFRJ/ Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2016.
- Data sheet 3D Factory mx**. Disponível em: < <https://3dfactory.mx/>>. Acesso em: 03 Jan. 2025.
- FARRUGIA, J., VELLA, P., & ROCHMAN, A. Combining 3D printing and injection moulding for the fabrication of polymer micro-components with internal hollow features. **Progress in Additive Manufacturing**, 9, 1353 – 1364, 2024. <https://doi.org/10.1007/s40964-024-00616-x>.
- HARADA, J.A. **Moldes para Injeção de Termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 308p, 2004.
- JAYASANKAR, D.; TRÖSTER, T.; MARTEN, T. Optimizing Injection Molding Tool Design with Additive Manufacturing: A Focus on Thermal Performance and Process Efficiency. **Materials**, 18, 2025. <https://doi.org/10.3390/ma18030571>.
- JU, Zehui; BROSSE, Nicolas; HOPPE, Sandrine; WANG, Zhiqiang; ZIEGLER-DEVIN, Isabelle; ZHANG, Haiyang; SHU, Biqing. Thermal and mechanical properties of polyethylene glycol (PEG)-modified lignin/polylactic acid (PLA) biocomposites. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 262, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129997>.
- LOZANO, A.; ÁLVAREZ, S.; ISAZA, C.; MONTEALEGRE-RUBIO, W. Analysis and Advances in Additive Manufacturing as a New Technology to Make Polymer Injection Molds for World-Class Production Systems. **Polymers**, 14, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14091646>.

NAM, J., & KIM, M. Advances in materials and technologies for digital light processing 3D printing. **Nano Convergence**, 11, 2024. <https://doi.org/10.1186/s40580-024-00452-3>.

OECD (2022), **Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060**, OECD Publishing, Paris., 2022.

PELIN, G., SONMEZ, M., & PELIN, C. The Use of Additive Manufacturing Techniques in the Development of Polymeric Molds: A Review. **Polymers**, 16, 2024.
<https://doi.org/10.3390/polym16081055>.

SOUZA, Ana Clara Souto de; BENATTI, Lia Paletta; MOTTIN, Artur Caron; DAVID, Eduardo Cassiano Santos. **Aplicações da impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos: uma revisão da literatura**. 2025. DOI: Data de publicação: 29 out. 2025.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido para execução das atividades de pesquisa das instituições: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (APQ-02274-23 / APQ-08595-25), Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.