

Gestão de resíduos na manufatura aditiva DLP: desafios do descarte de compósitos fotopoliméricos com carga cerâmica

Waste management in DLP additive manufacturing: challenges in the disposal of ceramic-filled photopolymer composites residues

Thiago Van Petten de Vasconcelos, Mestrando - PPGEM, CEFET – MG.

thiagovpetten@yahoo.com.br

Maria Julia Ribeiro Gomes, Graduanda – IAD, UFJF.

mariajuliagomes31@gmail.com

Caroline Salvan Pagnan, Doutora, PPGD, UEMG.

Caroline.pagnan@uemg.br

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

lia.paletta@ufjf.br

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

artur.mottin@cefetmg.br

[03: Materiais alternativos e inovações tecnológicas]

Resumo

A manufatura aditiva via processamento digital de luz (DLP) tem expandido sua aplicação para componentes de engenharia de alto desempenho, utilizando materiais compósitos como fotopolímeros com carga cerâmica. Este trabalho tem por objetivo analisar as rotas de descarte ambientalmente adequadas para resíduos da resina BASF Ultracur3D RG 3280, um material termofixo com alta rigidez e resistência térmica. Os procedimentos metodológicos consistiram em uma revisão bibliográfica exploratória em bases de dados científicas e análise da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) do material. Os resultados indicam que, diferentemente dos termoplásticos, esta resina não permite reciclagem mecânica tradicional devido à sua natureza reticulada e à carga inorgânica (sílica). Conclui-se que as alternativas viáveis para mitigação de impacto ambiental restringem-se à reciclagem mecânica para uso como carga inerte (*downcycling*) ou ao coprocessamento para recuperação energética, exigindo gestão rigorosa para evitar a ecotoxicidade dos resíduos na forma líquida não curada.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva; Resíduos Sólidos; Fotopolímeros; Compósitos Cerâmicos; Sustentabilidade.

Abstract

Additive manufacturing using Digital Light Processing (DLP) has expanded its application to high-performance engineering components through the use of composite materials, such as ceramic-filled photopolymers. This study aims to analyze environmentally appropriate disposal routes for waste generated from BASF Ultracur3D RG 3280 resin, a thermoset material with high stiffness and thermal resistance. The methodological procedures consisted of an exploratory literature review in scientific databases and an analysis of the material's Safety Data Sheet (SDS). The results indicate that, unlike thermoplastics, this resin does not allow conventional mechanical recycling due to its crosslinked nature and the presence of an inorganic filler (silica). It is concluded that the viable alternatives for mitigating environmental impact are limited to mechanical recycling for use as an inert filler (downcycling) or co-processing for energy recovery, requiring strict management to prevent the ecotoxicity of uncured liquid waste.

Keywords: Additive Manufacturing; Solid Waste; Photopolymers; Ceramic Composites; Sustainability.

1. Introdução

A Manufatura Aditiva (MA), popularmente conhecida como impressão 3D, transcendeu a barreira da prototipagem rápida para se consolidar como uma ferramenta de Manufatura Digital direta. De acordo com Kharat *et al.* (2023), nos últimos anos, a impressão 3D tem ganhado cada vez mais espaço, dominando indústrias e cadeias produtivas com benefícios como a fabricação de estruturas complexas com controle inédito de qualidade, custo, liberdade criativa e potencial de personalização. A ascensão da tecnologia impulsionou a criação de um catálogo mais expansivo de métodos, materiais, equipamentos e logísticas de distribuição, porém em meio à um cenário próspero, Kharat *et al.* (2023) alertam para necessidade de mais estudos científicos e desenvolvimento tecnológico para a dominação efetiva da Manufatura Aditiva no mercado.

Nesse contexto de dualidade entre benefícios e obstáculos a serem superados, a sustentabilidade ganha papel central ao ser imprescindível para a implementação vitoriosa da impressão 3D na cadeia industrial, principalmente frente a uma sociedade contemporânea marcada pela urgência de práticas sustentáveis. Ainda que apresente uma redução de consumo de matéria-prima de 35 a 80% quando comparado a processos tradicionais, Chea *et al.* (2025) expõe a importância de atentar-se aos desafios que a tecnologia traz para a gestão de materiais em fim de vida útil (*end-of-life - EoL*), especialmente no que tange a variedade de composições empregadas no processo, que pode incluir resinas fotocuráveis, plásticos comuns, ligas metálicas, vidro, cerâmicas e compósitos. Este é o caso da impressão 3D por DLP (*Digital Light Processing*), que faz uso de materiais fotocuráveis como base do processo, geralmente presentes na forma de resinas fotopolimerizáveis. O método tem como princípio básico a solidificação de camadas de resina líquida por meio de um sistema óptico que opera por projeções de padrões (Kadry *et al.*, 2019).

Dentre as diversas técnicas de impressão, o processamento digital de luz (*DLP - Digital Light Processing*) destaca-se pela alta resolução e velocidade, permitindo a produção de peças finais

com geometrias complexas e propriedades mecânicas avançadas (Huang *et al.*, 2013). Recentemente, a tecnologia DLP encontrou uma aplicação disruptiva na indústria de moldes, conhecida como *Rapid Tooling* (Ferramental Rápido). O uso de resinas compósitas de alto desempenho, como a BASF Ultracur3D RG 3280, permitiu a fabricação de insertos para moldes de injeção capazes de suportar as altas pressões e temperaturas do processo de injeção de termoplásticos. Estudos demonstram que moldes impressos com este material, que possui rigidez de 10 GPa e resistência térmica (HDT) superior a 280°C, representam uma alternativa ágil e econômica à usinagem de metal para produções de pequenos lotes e validação de design (Stratasys, 2025; Alphacam, 2024).

No entanto, essa evolução traz novas complicações ambientais. Diferentemente dos termoplásticos (como PLA e ABS) utilizados na modelagem por deposição fundida (FDM), que permitem refusão, as resinas DLP para engenharia são polímeros termofixos carregados. A presença de cargas inorgânicas misturadas à matriz polimérica inviabiliza métodos tradicionais de reciclagem, exigindo uma análise criteriosa sobre o fim de vida destes componentes (Camacho-Iglesias *et al.*, 2025). Neste contexto, este artigo tem como objetivo analisar as características físico-químicas destes compósitos e identificar, através de revisão bibliográfica, as rotas de disposição final ambientalmente adequadas, propondo uma discussão acerca do impacto da Manufatura Aditiva na construção de um futuro sustentável.

2. Procedimentos Metodológicos

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória de natureza qualitativa, baseada em revisão bibliográfica e análise documental. Para a revisão bibliográfica, adotaram-se os seguintes procedimentos: (i) busca nas bases ScienceDirect, Scopus e Google Scholar utilizando os descritores combinados "*DLP waste management*", "*ceramic filled resin disposal*", "*photopolymer ecotoxicity*" e "*additive manufacturing circular economy*"; (ii) filtragem inicial por artigos publicados entre 2015 e 2025, em inglês ou português; (iii) seleção de trabalhos após leitura de títulos e resumos, priorizando aqueles que abordavam especificamente o fim de vida de fotopolímeros e compósitos poliméricos; (iv) análise aprofundada de 23 artigos que compõem o *corpus* principal da discussão.

Adicionalmente, foi realizada a análise técnica da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ/SDS) do material Ultracur3D RG 3280, fornecida pelo fabricante, para levantamento de dados sobre composição química, riscos ecológicos (Frases H) e recomendações de transporte e descarte. A análise dos dados buscou correlacionar as propriedades intrínsecas do material com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010) e as melhores práticas industriais.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização do Material: Compósitos de Matriz Polimérica

Para compreender as limitações do descarte, é fundamental caracterizar a resina em

estudo não apenas como um "plástico", mas como um Compósito de Matriz Polimérica (PMC - *Polymer Matrix Composite*). Tecnicamente, o material é constituído por duas fases distintas, conforme ilustrado na Figura 1 (Pickering, 2006):

- Matriz Polimérica (Fase Contínua): Composta por fotopolímeros baseados em acrilatos ou uretanos que, após a cura UV, sofrem reticulação (*cross-linking*), formando uma rede tridimensional de ligações covalentes irreversíveis (termofixo).
- Carga Cerâmica (Fase Dispersa): A resina contém uma alta fração volumétrica (aprox. 65%) de partículas cerâmicas, tipicamente sílica, responsáveis por conferir rigidez e resistência térmica.

Esta estrutura híbrida classifica o resíduo como um material heterogêneo de difícil separação, onde a matriz orgânica encapsula rigidamente a carga inorgânica (BASF, 2023).

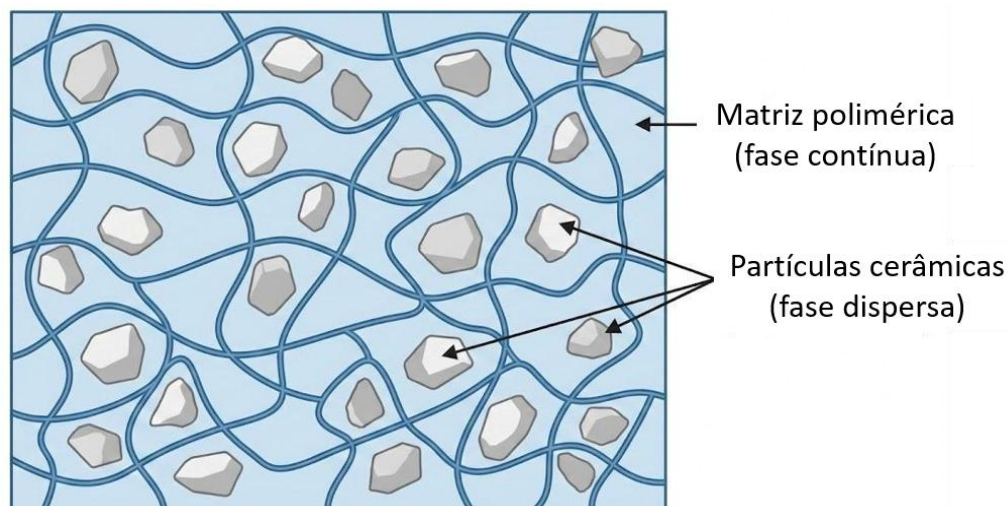


Figura 1: Representação esquemática da estrutura de um Compósito de Matriz Polimérica (PMC) com carga cerâmica. Fonte: adaptado de Callister e Rethwisch (2020).

3.2 Riscos Ambientais Associados

A análise de segurança revela uma dualidade de risco baseada no estado físico da matéria, conforme representado na Figura 2 (Oskui *et al.*, 2016):

1. Estado Líquido (Resíduo Perigoso): A resina não curada é classificada com o pictograma GHS09 e a fase de risco H411 (tóxico para organismos aquáticos com efeitos duradouros). O descarte de sobras de tanque ou solventes de lavagem (álcool isopropílico contaminado) exige tratamento como resíduo químico classe I.
2. Estado Sólido (Resíduo Inerte não Biodegradável): Após a pós-cura, o material torna-se quimicamente estável e não lixiviável. Contudo, devido à matriz sintética e à carga mineral, não sofre biodegradação, persistindo no ambiente se descartado incorretamente.

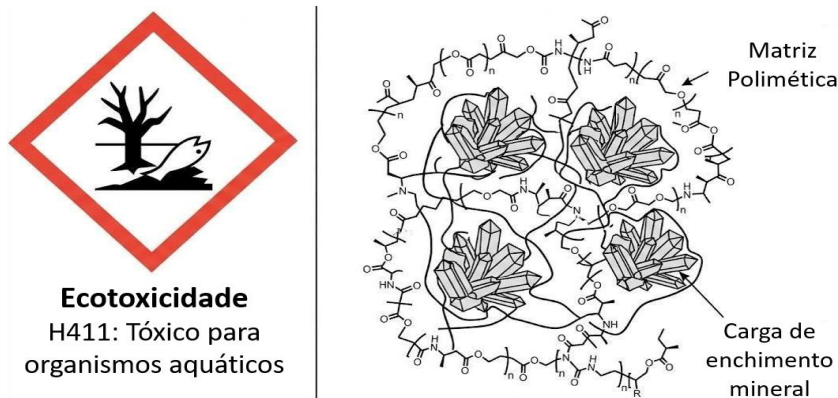


Figura 2: Pictograma de perigo H411 (ecotoxicidade) e representação molecular da matriz polimérica envolvendo a carga mineral. Fonte: adaptado de Oskui *et al.* (2016).

3.3 Reciclagem Mecânica e Recuperação de Resina

A gestão de resíduos sólidos para este material enfrenta a barreira da natureza termofixa. Diferentemente dos termoplásticos, o aquecimento não provoca fusão, mas degradação térmica. Dessa forma, estabelece-se a necessidade de processos de reciclagem diferenciados, em que limitações e ganhos são ponderados a fim de encontrar a opção mais adequada para cada cenário da indústria atual.

3.3.1 Reciclagem Mecânica (*Downcycling*)

A rota tecnológica mais madura atualmente é a reciclagem mecânica via moagem, ilustrada na Figura 3. O processo consiste na trituração das peças curadas em moinhos de alta energia para obtenção de um pó fino. Estudos indicam que este pó, rico em cerâmica, pode ser reintroduzido na cadeia produtiva como carga inerte (*filler*) em concretos poliméricos ou asfaltos, reduzindo o consumo de agregados virgens, embora com menor valor agregado (*Downcycling*) (Camacho-Iglesias *et al.*, 2025; Karatza *et al.*, 2022; Pickering, 2006).

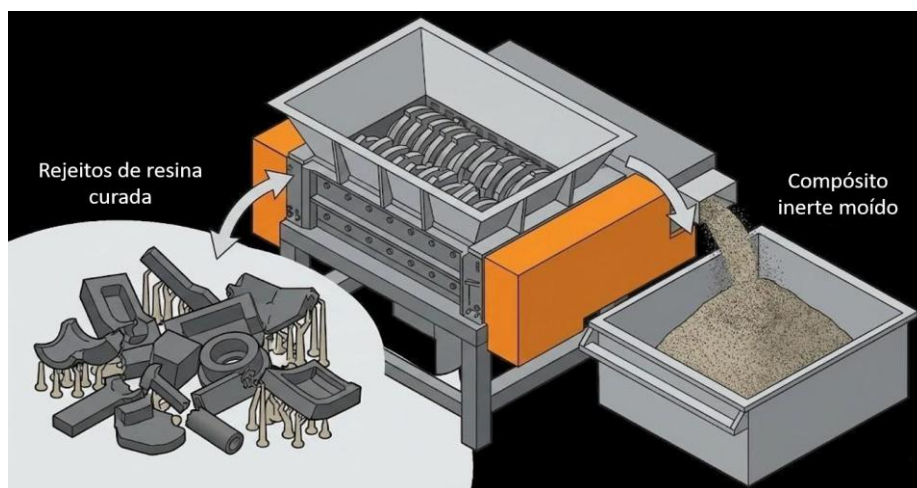


Figura 3: Processo de reciclagem mecânica, no qual resíduos curados são triturados para gerar pó de carga inerte. Fonte: autores (2026).

Entretanto, Chao *et al.* (2023) alertam para uma limitação inerente ao DLP, que tende a tornar o processo de reciclagem por moagem desafiador. Segundo os autores, o DLP exige resinas que mantenham baixa viscosidade durante o *recoating* e, portanto, garantam o constante fluxo de resina em todo o processo. Porém, para aumentar a eficiência da reciclagem de materiais, o teor de sólidos na formulação carga reciclada/resina tem de ser o mais alto possível, o que influencia diretamente na alta viscosidade da matéria-prima reciclada. Esta baixa fluidez impacta negativamente o resultado final dos produtos impressos, podendo levar a problemas de acabamento. Shah *et al.* (2021) explicam que alterações na formulação das resinas fotopolimerizáveis ocasionam falhas de impressão associadas à distribuição não homogênea, redução da profundidade de penetração da luz UV e comprometimento da resistência de cura entre as camadas.

3.3.2 Recuperação Química (Solvólise) e Coprocessamento

A literatura aponta duas rotas avançadas para a valorização do resíduo, comparadas na Figura 4: a recuperação química por solvólise e o coprocessamento energético (Xray, 2025; Yuan *et al.*, 2019).

- Solvólise: Processo químico que utiliza solventes sob condições controladas para despolimerizar a matriz, permitindo a recuperação da carga cerâmica limpa e dos oligômeros da resina. Ainda em estágio experimental e com alto custo energético.
- Coprocessamento: rota industrialmente viável em que o resíduo é utilizado como combustível alternativo em fornos de cimento. A fração polimérica gera energia e a fração cerâmica é incorporada ao clínquer, eliminando o passivo ambiental.

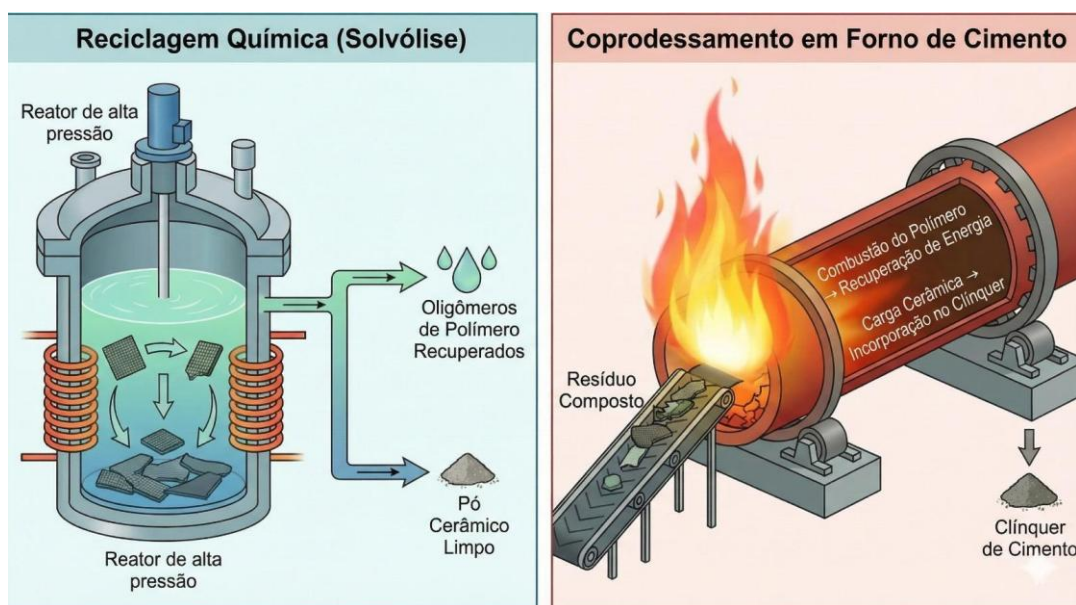


Figura 4: Comparativo entre as rotas de Reciclagem Química (Solvólise) e de Coprocessamento em forno de cimento. Fonte: Adaptado de ZUBAIR (2025).

Para uma análise crítica das rotas tecnológicas disponíveis, sintetizam-se no Quadro 1 os principais critérios de avaliação considerando viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Quadro 1: Comparativo entre rotas de gestão de resíduos para compósitos fotopoliméricos DLP

Critério	<i>Downcycling</i> (Moagem)	Solvólise	Coprocessamento
Maturidade tecnológica	Alta (industrial)	Baixa (experimental)	Alta (industrial)
Custo operacional	Baixo	Alto	Médio
Valor agregado do produto final	Baixo (carga inerte)	Médio (recuperação parcial)	Nulo (destruição)
Consumo energético	Baixo	Alto	Médio (aproveitado)
Destinação final	Produto secundário	Resíduo químico	Eliminação do passivo
Adequação à PNRS	Reciclagem (art. 9º)	Recuperação (art. 9º)	Recuperação energética (art. 9º)

Fonte: elaborado pelos autores (2026) a partir de Camacho-Iglesias *et al.* (2025), Yuan *et al.* (2019) e Xray (2025).

A partir da análise comparativa, observa-se que a escolha da rota mais adequada depende de critérios como escala de geração de resíduos, disponibilidade de infraestrutura local e objetivos de circularidade. Para grandes geradores industriais, o coprocessamento em fornos de cimento apresenta-se como a alternativa mais consolidada e alinhada ao princípio da hierarquia de gestão de resíduos (prevenção > preparação para reuso > reciclagem > recuperação energética > disposição final), conforme estabelecido pela PNRS (Brasil, 2010). Para pequenos geradores, como laboratórios acadêmicos, a logística de envio para coprocessamento ainda é um desafio, tornando o *downcycling* uma alternativa pragmática, desde que realizado em instalações licenciadas.

3.4 Disposição Final: Coprocessamento

Diante das limitações de reciclagem direta de materiais e do alto custo das tecnologias químicas emergentes, a literatura aponta o coprocessamento em fornos de clínquer (indústria cimenteira) como a alternativa mais sustentável e imediatamente aplicável (*Waste-to-Energy*). Nesta rota, a fração polimérica do resíduo (aprox. 35%) atua como combustível alternativo, gerando energia, enquanto a fração cerâmica (aprox. 65%) é incorporada quimicamente à estrutura do cimento, eliminando a necessidade de aterros industriais (Yuan *et al.*, 2019).

4. Considerações Finais

O estudo evidenciou que compósitos fotopoliméricos com carga cerâmica, como a BASF Ultracur3D RG 3280, exigem estratégias de gestão diferenciadas devido à sua natureza termofixa e à presença de carga inorgânica. A reciclagem mecânica tradicional (refundição) é inviável, restando como alternativas viáveis: (i) o *downcycling* por moagem para uso como carga inerte em concretos ou asfaltos; (ii) a recuperação química por solvólise, ainda em estágio experimental; e (iii) o coprocessamento energético em fornos de cimento, que se destaca como a rota mais madura e alinhada à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Como contribuição, o estudo sistematiza as rotas tecnológicas disponíveis e explicita os critérios de decisão para escolha entre elas, preenchendo uma lacuna na literatura sobre gestão de resíduos específicos da manufatura aditiva DLP no contexto brasileiro.

A aplicação prática das soluções propostas, contudo, enfrenta desafios significativos para pequenos geradores (pesquisadores, laboratórios, pequenas empresas). A ausência de empresas de coleta especializadas em muitas localidades, o alto custo do serviço para pequenos volumes e a necessidade de infraestrutura para armazenamento temporário de resíduos Classe I criam barreiras de acesso. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a investigação de modelos de logística reversa compartilhada e pontos de coleta regionalizados que viabilizem a gestão correta desses resíduos independentemente da escala de produção.

Por fim, constata-se a necessidade de aprofundamento em pesquisas voltadas à manutenção das propriedades mecânicas de resinas recicladas e ao desenvolvimento de sistemas de gestão acessíveis, de modo que a sustentabilidade da manufatura aditiva DLP acompanhe seu crescimento tecnológico e se consolide como pilar de uma produção circular.

Especificamente no contexto brasileiro, o coprocessamento em fornos de cimento já é uma rota consolidada para resíduos industriais perigosos, com diversas cimenteiras licenciadas operando sob as diretrizes da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). No entanto, a adesão de pequenos geradores a essa rota é limitada pela falta de pontos de coleta capilares e pela necessidade de contratação de empresas de gestão de resíduos habilitadas pelos órgãos ambientais estaduais. Uma alternativa promissora seria a articulação de redes colaborativas entre instituições de pesquisa e parques tecnológicos para consolidar volumes e viabilizar o envio conjunto de resíduos para coprocessamento, reduzindo custos logísticos e ampliando o acesso a essa destinação ambientalmente adequada.

Referências

ALPHACAM. **Evaluation of DLP 3D Printing for Injection Molding Inserts: A Case Study on BASF Ultracur3D® RG 3280**. Viena: Alphacam Austria GmbH, 2024.

BASF 3D PRINTING SOLUTIONS. **Safety Data Sheet (SDS) - Ultracur3D® RG 3280**. Versão 2.0. Heidelberg: BASF SE, 2023.

BASF 3D PRINTING SOLUTIONS. **Ultracur3D® RG 3280: Technical Data Sheet (TDS)**. Heidelberg: BASF SE, 2023. Disponível em: <https://forward-am.com/material-portfolio/ultracur3d-rg-3280/>. Acesso em: 12 dez. 2025.

BELLO, Kazeem Aderemi; MALADZHI, Rendani Wilson. Innovative and best practices in sustainable strategies for waste reduction in additive manufacturing. **Hybrid Advances**, v. 11, p. 100527, dez. 2025. DOI: 10.1016/j.hybadv.2025.100527. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773207X25001514>. Acesso em: 07 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010.

CAMACHO-IGLESIAS, M.; GERMÁN, L.; ITURMENDI, A.; SEOANE-RIVERO, R. Circular Approaches for Thermoset Composites. **J. Compos. Sci.**, 9, 682, 2025. <https://doi.org/10.3390/jcs9120682>.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 10 ed. Rio de Janeiro: editora LTC. p. 864, 2020.

CHEA, S.; et al. Sustainability assessment of additive manufacturing end-of-life material management. **Next Sustainability**, v. 5, p. 100085, 2025. DOI: 10.1016/j.nxsust.2024.100085. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S294982362400062X>. Acesso em: 07 jan. 2026.

CHAO, W.-C.; LIAO, Y.-C. Cost-effective recycled resin for digital light processing 3D printing. **Journal of Cleaner Production**, v. 388, 136013, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623001713>. Acesso em: 07 jan. 2026.

HAFIZ, Hiba Mohammad; AL RASHID, Ans; KOÇ, Muammer. Recent advancements in sustainable production and consumption: Recycling processes and impacts for additive manufacturing. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 42, p. 101778, dez. 2024. DOI: 10.1016/j.scp.2024.101778. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235255412400353X>. Acesso em: 07 jan. 2026.

HUANG, S. H. et al. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, p. 1191-1203, 2013.

KADRY, H.; WADNAP, S.; XU, C.; AHSAN, F. Digital light processing (DLP) 3D-printing technology and photoreactive polymers in fabrication of modified-release tablets. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 135, p. 60-67, 2019. DOI: 10.1016/j.ejps.2019.05.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928098719301794>. Acesso em: 07 jan. 2026.

KHARAT, V. J.; SINGH, P.; RAJU, G. S.; YADAV, D. K.; GUPTA, M. S.; ARUN, V.; MAJEED, A. H.; SINGH, N. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 104, p. 1871–1880, 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.11.033. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323051027>. Acesso em: 07 jan. 2026.

KARATZA, A.; ZOUBOULIS, P.; GAVALAS, I.; SEMITEKOLOS, D.; KONTIZA, A.; KARAMITROU, M.; KOUMOULOS, E.P.; CHARITIDIS, C. SLA Resins Modification by Liquid Mixing with Ceramic Powders Aiming at Mechanical Property and Thermal Stability Enhancement for Rapid Tooling Applications. **J. Manuf. Mater. Process.** 6, 129, 2022. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060129>.

OSKUI, S. M. et al. Assessing and Reducing the Toxicity of 3D-Printed Parts. **Environmental Science & Technology Letters**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2016.

PICKERING, S.J. Recycling technologies for thermoset composite materials — current status. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Volume 37, Issue 8, 2006, Pages 1206-1215, ISSN 1359-835X, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.05.030>.

PONGWISUTHIRUCHTE, Aphiwat; POTIYARAJ, Pranut. Challenges and innovations in sustainable 3D printing. **Materials Today Sustainability**, v. 31, p. 101134, set. 2025. DOI: 10.1016/j.mtsust.2025.101134. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589234725000636>. Acesso em: 07 jan. 2026.

SHAH, Darshil M.; MORRIS, Joshua; PLAISTED, Thomas A.; AMIRKHIZI, Alireza V.; HANSEN, Christopher J. Highly filled resins for DLP-based printing of low density, high modulus materials. **Additive Manufacturing**, v. 37, p. 101736, jan. 2021. DOI: 10.1016/j.addma.2020.101736. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860420311088>. Acesso em: 07 jan. 2026.

STRATASYS. **Speed up injection molding with 3D printed tools**. Rehovot: Stratasys Ltd., 2025. Disponível em: <https://www.stratasys.com>. Acesso em: 15 dez. 2025.

WU, Haishang; MEHRABI, Hamid; KARAGIANNIDIS, Panagiotis; NAVEED, Nida. Additive manufacturing of recycled plastics: Strategies towards a more sustainable future. **Journal of Cleaner Production**, v. 335, p. 130236, fev. 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.130236. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621044012>. Acesso em: 07 jan. 2026.

XRAY. Resin **Recovery in 3D Printing: Technologies and Patents**. [S.l.]: GreyB Services, 2025.

YUAN, C. et al. Energy-Consumption-Based Life Cycle Assessment of Additive-Manufactured Product with Different Types of Materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 1-10, 2019.

ZUBAIR, U. Recycled Synthetic Fibers Reinforced Composites (SFRC) and Their Applications. In: Jamshaid, H., Zubair, U. (eds) **Sustainable Recycling of Fiber Reinforced Polymer Composites. SDGs and Textiles**. Springer, Singapore. (2025). https://doi.org/10.1007/978-981-96-9536-2_6

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.