



SEPARAÇÃO, IDENTIFICAÇÃO E REUSO DE FILAMENTOS POLIMÉRICOS NA IMPRESSÃO 3D

André S. Gomes¹, Liliane C. Batttirola¹, William C. Ribeiro² e Priscila Lemes¹

¹Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu-PR, Brasil (andresou.gmat@hotmail.com)

²Itaipu Parquetec, Foz do Iguaçu-PR, Brasil

Resumo: A reutilização de polímeros para fabricação de filamentos em impressão 3D apresenta-se como alternativa sustentável ao reduzir o uso de materiais virgens e resíduos plásticos. Este estudo identificou, caracterizou e reaproveitou resíduos poliméricos por meio de análises FTIR, TGA, MEV e testes de bancada, produzindo filamentos em cinco dos seis grupos avaliados. Os resultados confirmam a viabilidade da reciclagem para manufatura aditiva, contribuindo à economia circular.

Palavras-chave: polímeros; reciclagem; impressão 3D; filamentos; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais dos resíduos plásticos tem impulsionado soluções voltadas à reciclagem e ao reuso de polímeros. Nesse contexto, a fabricação de filamentos para impressão 3D a partir de materiais reciclados integra-se ao conceito de economia circular, reduzindo o consumo de polímeros virgens e o descarte inadequado (Kreiger & Pearce, 2013; Ellen MacArthur Foundation, 2013).

A impressão 3D associada ao reaproveitamento de polímeros contribui para a diminuição de resíduos e estimula a inovação em design (Savolainen et al., 2016). Nos últimos dez anos, um número expressivo de pesquisas tem sido desenvolvido com foco na impressão 3D associada à sustentabilidade, como pode ser observado na Figura 1 abaixo, que apresenta o crescimento do número de publicações (artigos científicos e de revisão) na base de dados *Science Direct* relacionadas aos termos “3D Printing” e “Sustainability”.



Pela Figura, nota-se um aumento contínuo e acelerado no interesse da comunidade científica a partir de 2020, atingindo em 2025 um crescimento de mais de 800 publicações, o que representa um avanço superior a 700% em relação a 2016. Esse crescimento evidencia não apenas a relevância da manufatura aditiva no contexto atual, mas também sua integração cada vez maior com os princípios da economia circular, da redução de resíduos e da busca por alternativas ambientalmente responsáveis. Os dados indicam que o tema ainda é relativamente recente, mas vem ganhando grande visibilidade devido ao seu potencial de transformar cadeias produtivas, reduzindo o consumo de matérias-primas e promovendo soluções inovadoras para a reciclagem e reaproveitamento de polímeros.

Dessa forma, a impressão 3D sustentável consolida-se como um campo de pesquisa estratégico, capaz de unir avanços tecnológicos com benefícios ambientais e socioeconômicos.

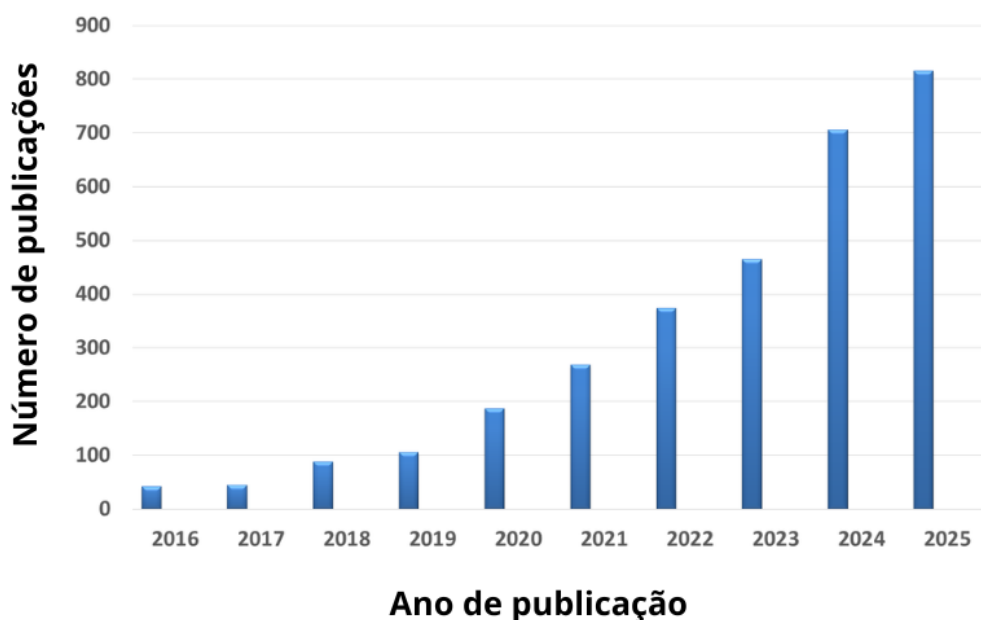


Figura 1 – Número anual de publicações científicas relacionadas à impressão 3D e sustentabilidade entre 2016 e 2025. Análise realizada na base de dados ScienceDirect, utilizando os termos de pesquisa “3D Printing” e “Sustainability”.

Fonte: Próprio autor, 2025.

Contudo, fatores como degradação térmica e mecânica, impurezas e absorção de umidade comprometem a qualidade dos filamentos, exigindo medidas de mitigação, como secagem prévia, mistura com resinas virgens e uso de aditivos (Hoekstra & Chapman, 2017; Qureshi et al., 2020; Zander et al., 2018). Além do viés ambiental, essa prática é economicamente viável, pois reduz custos e a dependência de matérias-primas petroquímicas. E com a produção anual de mais de 400 milhões de toneladas de plásticos e apenas 9% sendo reciclado (Geyer, Jambeck & Law, 2017), evidencia-se a necessidade de estratégias sustentáveis. Este trabalho propõe uma metodologia para reutilizar polímeros reciclados na produção de filamentos para impressão 3D, envolvendo a caracterização dos materiais, ajustes de processamento e avaliação do desempenho em comparação com polímeros virgens.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa, de caráter experimental aplicado com abordagem qualitativa e quantitativa, investigou o reaproveitamento de resíduos plásticos para produção de filamentos destinados à impressão 3D. As amostras foram coletadas no Labmaker Iguaçu (Itaipu Parquetec – Foz do Iguaçu/PR), a Figura 2 apresenta fotografia dos materiais coletados, as amostras foram triadas segundo cor, textura e rigidez, e organizadas em seis grupos: pretos opacos (01-FP), pretos brilhantes (02-FP), coloridos (03-FP), translúcidos (04-FP), brancos (05-FP) e cinzas (06-FP).



Figura 2 – Resíduos plásticos coletados.

Fonte: Próprio autor, 2025.



Após higienização com água corrente e secagem em estufa a 45 °C por 48 h, os resíduos foram triturados em moinho de facas LUCA-226/2, resultando em partículas de 2–4 mm. Foram separadas cerca de 300 g por amostra para utilização durante a caracterização. A fim de padronizar os materiais obtidos, foram preparados corpos de prova em formato de disco, cada um com cerca de 6 g de massa. Para confecção dos corpos de prova, utilizou-se a injetora MAQ-3000M, onde os polímeros foram fundidos, seguido de injeção em molde metálico com base de Teflon®.

A caracterização envolveu ensaios visuais, táteis, de densidade por flutuação, inflamabilidade, dureza e risco (Billmeyer, 1984; Mano & Mendes, 2004; Callister & Rethwisch, 2014), além de análises instrumentais: MEV (Zeiss EVO-MA10, 0,2–30 kV, abertura 100 µm), FTIR (Spectrum 100S, 4000–400 cm⁻¹, resolução 4 cm⁻¹, 32 varreduras) e TGA (PerkinElmer STA 6000, N₂, 30–550 °C, 10 °C/min).

Para a obtenção dos filamentos, os materiais foram secos (45 °C por 20 h) e extrudados na Filabot EX2. Cinco grupos apresentaram diâmetro próximo ao comercial (1,75 mm), enquanto 03-FP mostrou instabilidade por baixa viscosidade. Após estabilização em estufa (24h), os filamentos foram testados na impressora Creality K1 Max, em geometrias simples para avaliar compatibilidade, acabamento e estabilidade na impressão 3D.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de bancada forneceram informações preliminares importantes sobre as propriedades físicas das amostras. A análise visual mostrou que 01-FP e 02-FP tinham coloração preta, mas apenas 02-FP e 03-FP apresentaram brilho mais evidente. No ensaio tátil, a maioria foi rígida e lisa, exceto 02-FP, que demonstrou leve flexibilidade. Quanto à resistência ao risco, 04-FP e 05-FP foram os mais suscetíveis, enquanto os demais tiveram resistência moderada. O ensaio de densidade revelou que a maioria possuía valores superiores a 1 g/cm³, com exceção do 04-FP, que indicou densidade próxima a 1 g/cm³. Já o teste de inflamabilidade evidenciou padrões distintos de combustão e odores, sugerindo composições poliméricas diferentes entre os grupos.

A partir da integração dos resultados de bancada com dados da literatura, foi possível propor a identidade provável dos materiais. O grupo 01-FP foi associado ao PP, 02-FP ao PP com reforço, 03-FP ao PLA, 04-FP ao PETG, enquanto 05-FP apresentou indícios de mistura entre PETG e TPU, e 06-FP foi classificado como PLA puro ou com reforço.

As imagens obtidas do MEV (Figura 3) confirmaram diferenças morfológicas significativas. A amostra 01-FP exibiu fratura rugosa com fibras alongadas imersas na matriz, é possível observar a presença de uma fibra imersa na matriz polimérica destacada pelo círculo vermelho, provavelmente fibra de carbono, confirmando um compósito polimérico. A 02-FP apresentou fratura altamente rugosa e deformação plástica, mas sem reforço evidente. A 03-FP demonstrou fratura dúctil, enquanto 04-FP mostrou superfície lisa e comportamento frágil. Já a 05-FP apresentou estrutura granular e porosa, sugerindo presença de partículas, e 06-FP revelou fratura rugosa, porém relativamente homogênea.

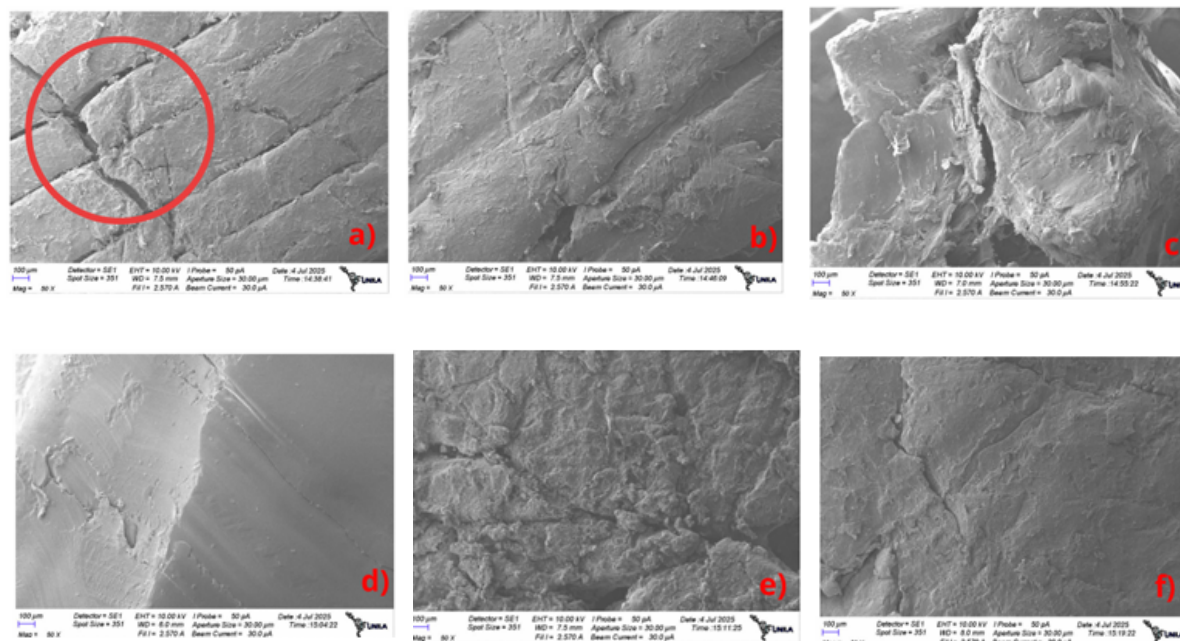


Figura 3 – Micrografia de MEV das amostras a) 01-FP, b) 02-FP, c) 03-FP, d) 04-FP; e) 05-FP e f) 06-FP.

Fonte: Próprio autor, 2025.

A espectroscopia FTIR permitiu identificar bandas características dos polímeros. As amostras 01-FP, 02-FP e 03-FP apresentaram perfis compatíveis com PLA, com a 01-FP reforçada por fibra de carbono. O grupo 04-FP exibiu espectro típico de PETG, enquanto 05-FP apresentou sinais compatíveis com mistura de PETG e TPU. Por fim, 06-FP confirmou predominância de PLA. A Figura 4 abaixo mostra a imagem com os gráficos do FTIR.

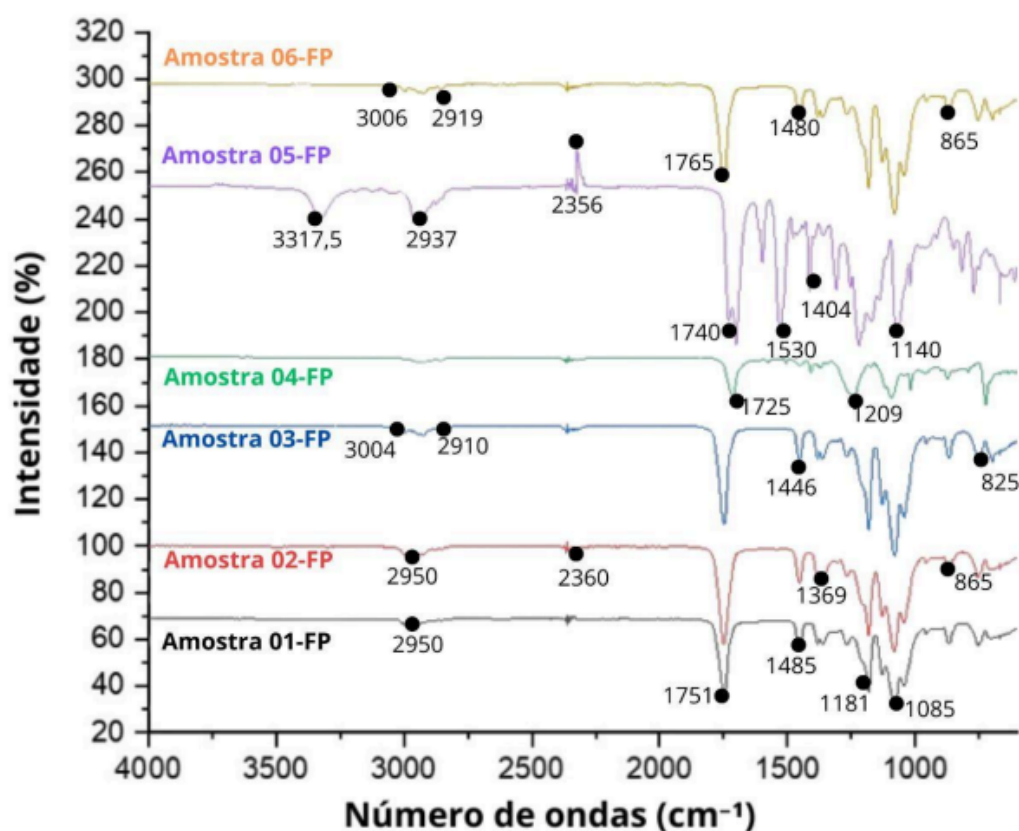


Figura 4 - Espectro de FTIR das amostras.

Fonte: Próprio autor, 2025.

A Figura 5 apresenta as análises termogravimétricas, as quais corroboraram com os resultados do FTIR e dos testes de bancada. As amostras 01-FP, 02-FP e 03-FP apresentaram degradação entre 310–315 °C, faixa típica do PLA. O grupo 04-FP apresentou início de degradação em 330 °C, característico do PETG, enquanto 05-FP exibiu duas etapas de perda de massa, sugerindo mistura de polímeros. O grupo 06-FP reforçou a predominância de PLA.

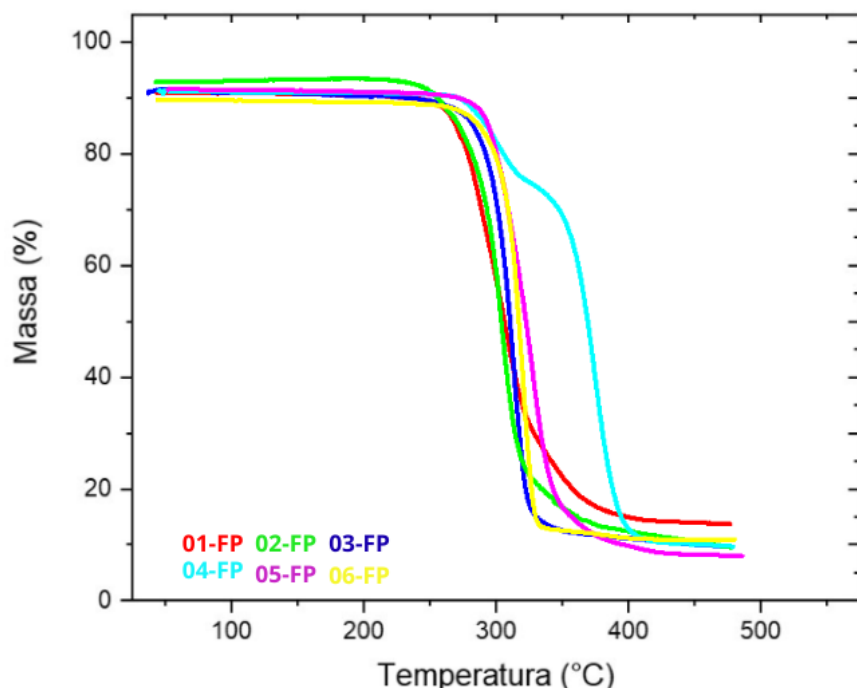


Figura 5 – Termograma dos filamentos poliméricos.

Fonte: Próprio autor, 2025.

A análise termogravimétrica permitiu identificar diferentes perfis de degradação térmica entre os grupos analisados, possibilitando propor as composições principais de cada amostra. As amostras 01-FP, 02-FP, 03-FP e 06-FP apresentaram comportamento característico do PLA, enquanto a amostra 04-FP foi associada ao PETG. Já a amostra 05-FP indicou presença de PETG, com indícios da possível existência de traços de TPU em sua composição.

Na etapa de extrusão, cinco grupos foram convertidos em filamentos com diâmetro próximo ao padrão comercial, exceto 01-FP, que apresentou elevada fragilidade. Os filamentos do grupo 05-FP se destacaram pela estabilidade dimensional, superfície lisa e homogeneidade, seguidos por 03-FP e 06-FP, que apresentaram desempenho satisfatório, embora com falhas pontuais. O grupo 04-FP sofreu com absorção de umidade, resultando em variações de diâmetro e formação de bolhas, como é possível analisar na Figura 6.

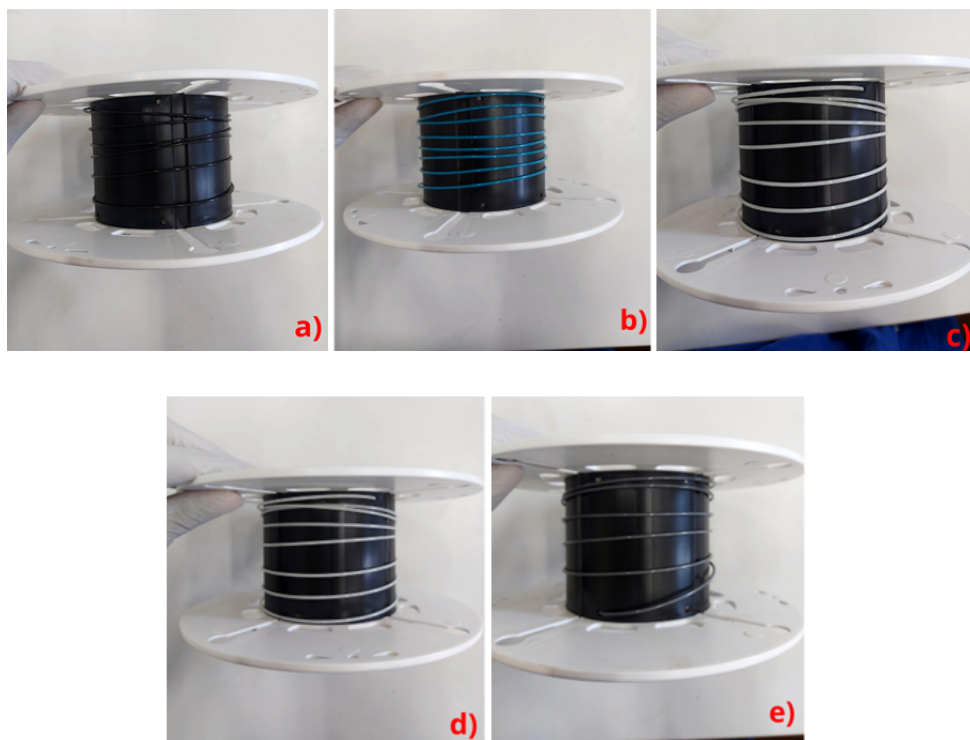


Figura 6 - Três dos cinco filamentos produzidos, a) filamento 02-FP; b) filamento 03-FP; c) filamento 04-FP; d) filamento 05-FP e e) filamento 06-FP.

Fonte: Próprio autor, 2025.

A Figura 7 apresenta os testes de impressão 3D, os filamentos foram avaliados em peças de geometria simples. O grupo 05-FP apresentou o melhor desempenho, sendo o único a concluir totalmente a impressão com qualidade próxima a de filamentos comerciais. Os grupos 03-FP e 06-FP alcançaram até 90% de conclusão, com pequenas falhas. Já 02-FP e 04-FP apresentaram baixo desempenho devido à fragilidade e instabilidade dimensional.

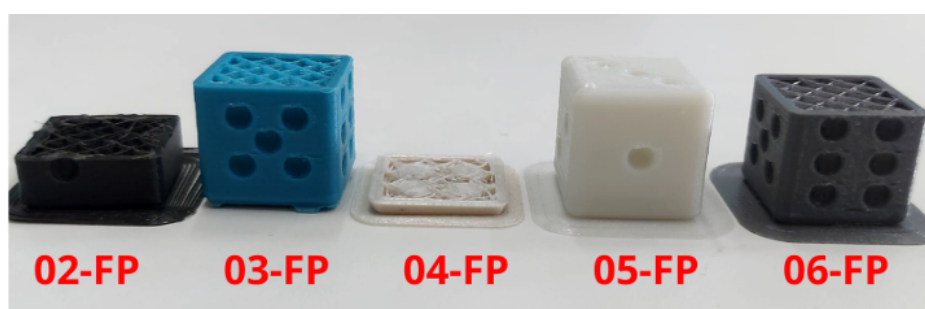


Figura 7 - Objetos obtidos por impressão 3D do filamento reciclado e identificado.

Fonte: Próprio autor, 2025.



CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram de forma consistente a viabilidade técnica do reaproveitamento de resíduos poliméricos para a produção de filamentos destinados à impressão 3D. A caracterização realizada por diferentes técnicas testes de bancada, FTIR, TGA e MEV possibilitou identificar com alto grau de confiabilidade os materiais presentes nas amostras analisadas: PLA em 01-FP, 02-FP, 03-FP e 06-FP, PETG em 04-FP, além de uma mistura de PETG/TPU em 05-FP. Essa combinação de métodos se mostrou fundamental para confirmar a composição das amostras, eliminando ambiguidades e reforçando a robustez da análise.

Na etapa de processamento, cinco grupos apresentaram desempenho satisfatório durante a extrusão, resultando em filamentos estáveis e com diâmetro próximo ao ideal para impressão 3D. Posteriormente, os testes de impressão evidenciaram diferenças de performance entre os grupos, destacando-se as amostras 03-FP, 05-FP e 06-FP. Em particular, a amostra 05-FP apresentou qualidade de impressão superior, bastante próxima à de filamentos comerciais disponíveis no mercado, demonstrando o potencial de reaproveitamento de misturas poliméricas para aplicações práticas.

Dessa forma, conclui-se que a metodologia desenvolvida é eficaz não apenas para identificar resíduos plásticos de origem incerta, mas também para viabilizar o seu reaproveitamento na manufatura aditiva. O estudo reforça o potencial dessa estratégia como alternativa sustentável, ao mesmo tempo em que se alinha aos princípios da economia circular, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a valorização de resíduos poliméricos como matéria-prima de alto valor agregado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) e ao Itaipu Parquetec pela infraestrutura concedida para realização do trabalho.



REFERÊNCIAS

BILLMEYER, F. W. *Textbook of Polymer Science*. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1984.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 9. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, Washington, v. 3, n. 7, e1700782, p. 1-5, 2017

HOEKSTRA, R.; CHAPMAN, C. Recycling plastics for 3D printing. *3D Printing and Additive Manufacturing*, New Rochelle, v. 4, n. 2, p. 89-95, 2017.

KREIGER, M.; PEARCE, J. M. Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, Washington, v. 1, n. 12, p. 1511-1519, 2013.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. *Introdução a Polímeros*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2004.

QURESHI, S. H.; ANDRADE, R. M.; KHALIL, A. Recycling of waste plastics for filament production in 3D printing. *Journal of Cleaner Production*, Oxford, v. 258, 120739, p. 1-10, 2020.

SAVOLAINEN, J.; COLLAERT, S.; VERBEEK, J. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages of 3D printing for sustainable product development. *Journal of Cleaner Production*, Oxford, v. 137, p. 1573-1587, 2016.

ZANDER, N. E.; GILLAN, M.; BURCKHARDT, C.; GIBSON, S. Recycled polyethylene terephthalate as a new FDM feedstock material. *Additive Manufacturing*, Amsterdam, v. 21, p. 174-182, 2018.