

## Avaliação da resistência mecânica do PLA reciclado para aplicações em impressão 3D

Nome A. Sobrenome<sup>1</sup>, Nome B. Sobrenome<sup>1</sup>, Nome C. de Sobrenome<sup>1</sup>, Nome D. Sobrenome<sup>2</sup>

1. Discente do Curso Técnico em Automação Industrial – IFSP – Câmpus Presidente Epitácio;

2. Docente – IFSP – Câmpus Presidente Epitácio, Área Eletrotécnica.

E-mails: sobrenome\_a@email.com, sobrenome-b@email.com.br, sobrenomec@email.com, sobrenomed@email.edu.br

**Resumo** - A utilização de polímeros cresceu nas últimas décadas e quando descartados geram riscos a natureza. O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento mecânico de filamentos de PLA reciclado para aplicações em impressão 3D. Ensaios de tração foram aplicados em corpos de prova produzidos por Fabricação por Filamento Fundido (FFF), com padrão de preenchimento concêntrico e temperaturas de extrusão de 190, 200 e 210°C. Os filamentos foram de PLA virgem e reciclado. O filamento reciclado apresentou resistência mecânica equivalente ao PLA virgem, sem influência estatística da temperatura, revelando o potencial da reciclagem de materiais plásticos para aplicação na impressão 3D.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva; Reciclagem; Ensaio de tração.

### Introdução

A manufatura aditiva, conhecida por impressão 3D, é baseada na criação de peças a partir da adição de camada por camada de material, utilizando softwares de fatiamento que geram camadas de áreas de seção transversal extremamente finas, possibilitando a criação de peças que métodos convencionais não alcançariam com facilidade e gerando menos desperdício de material, sendo assim mais sustentável (JANDYAL *et al.*, 2022).

Esse processo está sendo cada vez mais utilizado nas áreas de pesquisa científica, engenharia de manutenção, produção de bens de consumo, educação e até em aplicações bem exigentes, como pela NASA (administração Nacional Aeronáutica e Espacial), a qual possui uma impressora 3D na estação espacial internacional para imprimir ferramentas e outros objetos em gravidade zero, utilizando a técnica de Fabricação por Filamento Fundido (FFF) (THOMPSON, 2022). Sendo uma das técnicas mais utilizadas, envolve a fusão de um filamento de material termoplástico para deposição e fabricação da peça (RAJAN *et al.*, 2022).

Os processos de manufatura aditiva ainda apresentam alguns aspectos ambientais negativos, como o descarte das peças plásticas após o uso. Nesse sentido, uma forma de minimizar o desperdício é a reciclagem dos resíduos para reaproveitamento em novas aplicações de impressão 3D (CHARLES *et al.*, 2019). Por esse viés, pesquisas que visem a reciclagem de materiais plásticos para reuso como filamentos para impressão 3D são relevantes.

Pesquisas indicam uma baixa perda de resistência mecânica do PLA reciclado quando comparado a versão virgem do material (FERNANDES, 2019). Porém, quedas maiores desta propriedade mecânica podem ocorrer quando o material passa por mais ciclos de reciclagem, afetando significativamente o comportamento mecânico do PLA reciclado (LANZOTTI *et al.*, 2019). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é investigar o efeito do processo de reciclagem de filamentos de PLA produzidos pela empresa PrintGreen 3D. Ensaios de tração foram aplicados para avaliar a resistência mecânica de corpos de prova impressos em 3D.

### Metodologia

A técnica de impressão dos corpos de prova foi a Fabricação por Filamento Fundido (FFF). A impressora 3D é da marca Kywoo3D, modelo Tycoon Max, com área de impressão de 300 mm x 300 mm x 230 mm, velocidade máxima de impressão de 100 mm/s, velocidade de deslocamento de 150 mm/s e diâmetro de filamento do material de 1,75 mm. O bico de extrusão único possui diâmetro de 0,4 mm, com temperatura máxima de 260°C. A mesa de impressão é de alumínio aquecida, com tampo de vidro (até 110°C), nivelamento automático e detecção de fim de filamento (Figura 1).

**Figura 1.** Impressora 3D adotada na produção dos corpos de prova para os ensaios de tração.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O software de fatiamento utilizado foi o Ultimaker Cura®. Todos os corpos de prova foram impressos com padrão de preenchimento concêntrico, altura da camada de 50% do diâmetro do bico de extrusão e preenchimento de 100%. A velocidade de impressão foi de 30 mm/s. O bico de extrusão foi de 0,4 mm, com temperaturas de extrusão de 190, 200 e 210°C. Cinco corpos de prova de cada condição experimental foram impressos para posterior análise estatística dos resultados dos ensaios mecânicos.

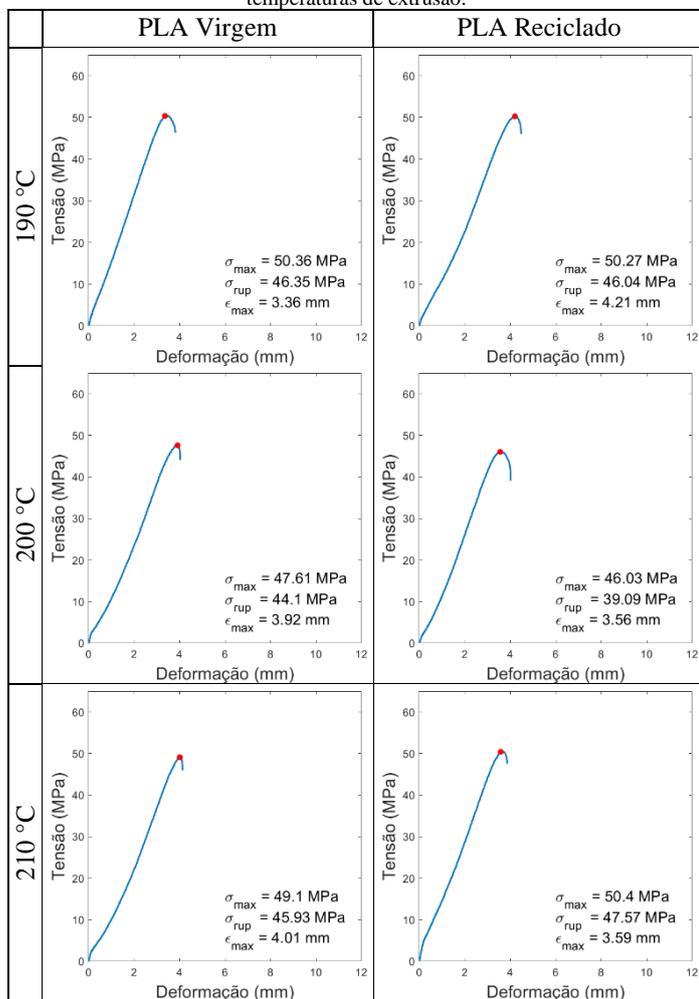
O material polimérico utilizado na fabricação dos corpos de prova foi o PLA (Poliácido Láctico) nas versões virgem e reciclada. Os materiais foram fornecidos pela empresa PrintGreen 3D e 3DX Filamentos. Os ensaios de tração foram realizados com auxílio de uma máquina de ensaios de tração da marca EMIC, modelo DL30000, com capacidade máxima de 300 kN. A norma que foi aplicada é a ISO 527-1/2:2012, específica para testes de tração padronizados em materiais poliméricos. Foram avaliadas as curvas tensão-deformação dos ensaios, resistência máxima e tensão de ruptura dos corpos de prova. Foram impressos 15 corpos de prova para versão de PLA, totalizando 30 ensaios de tração realizados. As médias foram calculadas considerando um intervalo de confiança de 95%.

### Resultados

A Figura 2 apresenta os gráficos de tensão-deformação obtidos nos ensaios de tração dos corpos de prova de PLA virgem e reciclado, impressos nas temperaturas de extrusão de 190, 200 e 210°C. Os gráficos revelam que o comportamento das curvas são

semelhantes, sem prejuízo da resistência mecânica ou da plasticidade do PLA reciclado em relação a versão virgem do material. Estes resultados indicam que apesar do processamento mecânico do material para reciclagem envolver aquecimento para refusão do material, não houve degradação molecular, a qual tende a reduzir as propriedades mecânicas em polímeros. Além disso, a tensão de ruptura correspondeu a 90% da tensão máxima, resultando em baixa deformação plástica dos materiais antes da ruptura.

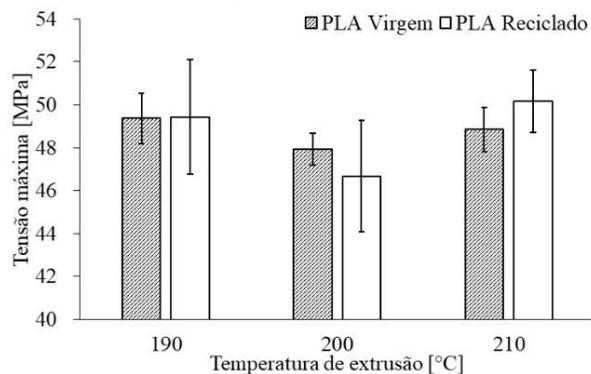
**Figura 2.** Gráficos tensão-deformação representativos para os materiais e temperaturas de extrusão.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 3 apresenta o gráfico da tensão máxima para os materiais e temperaturas de extrusão adotados nos experimentos de impressão 3D. Os desvios das médias indicam que não há diferença estatística entre as médias, mantendo uma resistência mecânica média de 50 MPa. Contudo, maiores desvios da média foram observados para o PLA reciclado. Este fenômeno pode estar associado a dificuldade no controle da homogeneidade dos materiais coletados para reciclagem, os quais podem derivar de diferentes fabricantes, com possíveis variações de composição química. Apesar de a temperatura não afetar estatisticamente a resistência mecânica das peças, a temperatura de extrusão de 210°C foi mais eficiente na aderência da primeira camada de deposição na mesa da impressora 3D, representando melhor aproveitamento do material, minimizando desperdícios por problemas de aderência, os quais tornam necessárias novas tentativas de impressão da peça.

**Figura 3.** Gráfico da tensão máxima para os materiais, considerando as temperaturas de extrusão.



Fonte: Elaborado pelos autores.

## Conclusões

Neste trabalho, filamentos de PLA virgem e reciclados foram submetidos a ensaios de tração para avaliação do comportamento mecânico dos corpos de prova. As curvas tensão-deformação apresentam comportamento elástico e plástico semelhantes. As resistências mecânicas são equivalentes e em torno de 50 MPa, com tensão de ruptura 10% menor. A temperatura de extrusão não causa variação da resistência mecânica, mas a temperatura de 210°C é preferível para melhor aderência na mesa da impressora quando o PLA reciclado é utilizado. O processo de reciclagem mecânica adotado pelo fabricante resulta em filamentos reciclados de PLA de qualidade e adequado controle das propriedades mecânicas, visando aplicações em impressão 3D.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Pro-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo pela bolsa de iniciação científica e as empresas PrintGreen 3D Ltda pelos filamentos de PLA reciclado, 3DX Filamentos Ltda pelos filamentos de PLA virgem e TOPINK3D Impressoras e Suprimentos Ltda pela impressora 3D utilizada na produção dos corpos de prova.

## Referências

- CHARLES, A. et al. On the assessment of thermo-mechanical degradability of multi-recycled ABS polymer for 3D printing applications. In: INT. CONF. ON SUST. DESIGN AND MANUFACTURING. **Springer**, Singapore, 2019. p. 363-373.
- FERNANDES, Clayton Peter. Use of recycled poly lactic acid (PLA) polymer in 3D printing: a review. **Research J. of Engineering and Technology**, v. 123, n. 104.34, p. 98.32, 2019.
- JANDYAL, Anketa 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.
- LANZOTTI, Antonio et al. A comparison between mechanical properties of specimens 3D printed with virgin and recycled PLA. **Procedia Cirp**, v. 79, p. 143-146, 2019.
- RAJAN, Kumaresan et al. Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. **The Int. J. of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1-40, 2022.
- THOMPSON, Matthew S. Current status and future roles of additives in 3D printing—A perspective. **J. of Vinyl and Additive Technology**, 2022.