



AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE PEÇAS FABRICADAS POR IMPRESSÃO 3D: UMA APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE DADOS COM FINS EDUCACIONAIS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6405

Autores: ISAQUE CARLOS COSTA, ANDRÉ VINÍCIUS DE CASTRO, GABRIELA PEREIRA BRAGA, TATIANA APARECIDA DE ALMEIDA, SANDRA MÔNICA DO NASCIMENTO, HUGO SAKAI IDAGAWA

Resumo: *Esse estudo investiga o efeito do recozimento em peças de PLA impressas em 3D. A impressão 3D, embora flexível e econômica, produz peças com propriedades mecânicas inferiores às técnicas convencionais, devido à porosidade, tensões residuais térmicas e baixa ligação entre camadas. O recozimento é proposto como uma solução para mitigar essas limitações, com estudos indicando melhorias significativas na resistência à tração, além da melhor adesão entre as camadas. Para este trabalho, foram impressos 107 corpos de prova de compressão de PLA, variando em diâmetro, usando uma impressora FDM. Destes, 32 peças foram submetidas ao recozimento a 100°C por 30 minutos. Após o recozimento, os corpos de prova apresentaram uma tensão de escoamento de 65,77MPa, indicando um aumento de 21% na resistência mecânica, demonstrando ser eficaz para aumentar a resistência de peças impressas em 3D e, com a possibilidade de obter peças recozidas com resistência mecânica próxima a peças injetadas.*

Palavras-chave: Tratamento Térmico, PLA, Manufatura Aditiva

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE PEÇAS FABRICADAS POR IMPRESSÃO 3D: UMA APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE DADOS COM FINS EDUCACIONAIS

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, emergiu como uma tecnologia de fabricação popular nos últimos anos, permitindo a criação de componentes complexos e intrincados com facilidade (MD YASIR et al., 2024). A impressão 3D é um processo de fabricação que produz peças tridimensionais camada por camada a partir de um modelo digital 3D, conforme as dimensões exigidas (SHBANAH et al., 2023). Em particular, a Modelagem por Deposição Fundida (FDM – “Fused Deposition Modeling”) tem ganhado popularidade devido à sua ampla disponibilidade, facilidade de uso e menor capital inicial em comparação com outras técnicas de fabricação (JIMENEZ-MARTINEZ et al., 2025). A FDM é considerada uma tecnologia que pode revolucionar a indústria de manufatura, servindo como uma alternativa aos processos tradicionais, como a injeção, especialmente no desenvolvimento de produtos complexos e otimizados (MD YASIR et al., 2024).

No contexto da impressão 3D, o ácido polilático (PLA) destaca-se como um dos filamentos mais utilizados, por ser um polímero termoplástico biodegradável e de fácil extrusão, produzido a partir de produtos agrícolas renováveis como milho, batata e mandioca através da fermentação bacteriana (JAYANTH, et al., 2021). Apesar de suas propriedades favoráveis e natureza ecologicamente correta, os produtos impressos em FDM geralmente apresentam propriedades mecânicas inferiores em comparação com aqueles fabricados por técnicas convencionais. Uma das razões para esse comportamento é a microestrutura, influenciada pela porosidade das peças impressas. Durante o processo de extrusão, o filamento de PLA passa por uma transição de estado sólido-líquido-sólido, que gera tensões residuais térmicas que afeta a ligação entre as camadas. A lenta difusão das cadeias poliméricas entre as camadas adjacentes e a presença de vazios são fatores críticos que contribuem para a estrutura anisotrópica e, conseqüentemente, para a redução do desempenho mecânico (JIMENEZ-MARTINEZ et al., 2025).

Para mitigar essas limitações inerentes da impressão 3D, especialmente com o PLA, o tratamento térmico de recozimento tem sido proposto como uma solução eficaz (MD YASIR et al., 2024). Esse tratamento consiste em aquecer o material a uma temperatura específica e, em seguida, mantê-lo nessa mesma temperatura por um determinado período de tempo. Este processo afeta a microestrutura do material, modificando as suas propriedades mecânicas e a precisão dimensional. O recozimento pode melhorar a estrutura interna e as características mecânicas de peças de PLA fabricadas por impressão 3D, pois é capaz de remover defeitos de porosidade, onde as lacunas de ar no material são preenchidas à medida que o material derrete em altas temperaturas durante o tratamento térmico. Alguns estudos (JAYANTH, et al., 2021; MD YASIR et al., 2024) demonstram que o recozimento de peças de PLA a 100 °C por 4 horas pode aumentar significativamente as propriedades de tração em até 80% e melhorar a resistência ao calor em 73%, conforme medido pelo ensaio de Temperatura de Deflexão Térmica (HDT – “Heat Deflection Temperature”). Além disso, o tratamento térmico pode melhorar a adesão entre as camadas e as propriedades mecânicas ao reduzir a porosidade e fortalecer a interface. Aumentos na dureza e na cristalinidade do material também foram observados, resultando em melhores

propriedades mecânicas. No entanto, a precisão dimensional pode ser afetada pelo tratamento térmico, com variações observadas dependendo do tipo de peça fabricada.

Apesar dos reconhecidos benefícios do tratamento térmico, muitas pesquisas sobre objetos impressos em 3D frequentemente priorizam a otimização das configurações de impressão em detrimento da investigação de processos que podem impactar permanentemente a microestrutura. Nesse contexto, esse trabalho se propõe a avaliar o efeito do tratamento térmico de recozimento em peças de PLA fabricadas por impressão de 3D a partir de ensaios de compressão. Além disso, o trabalho foi organizado para servir como um projeto aplicado para disciplinas relacionadas à ciência de dados, onde as principais etapas da análise de dados podem ser aplicadas: seleção e coleta de dados, análise de correlação entre variáveis, construção de modelos numéricos e testes de hipóteses.

Assim, em paralelo ao estudo do recozimento do PLA, esse artigo permite utilizar a metodologia apresentada como base para projetos em disciplinas de Engenharia, onde a técnica de Aprendizado Baseado em Projetos (PBL – Project-Based Learning) pode ser aplicada, sendo reconhecida como um meio eficaz para desenvolver habilidades essenciais como a resolução de problemas, a geração de conhecimento e o pensamento crítico (SHAHRIZODA, 2022).

Os resultados apresentados nesse trabalho representam uma validação de técnicas comumente ensinadas em disciplinas de Ciência de Dados, as quais também podem ser aplicadas em disciplinas correlatas como a Ciência e a Resistência dos Materiais. Igualmente, o conjunto de dados desse artigo complementam a base de dados do trabalho de Idagawa et al. (2024), podendo ser utilizada em outros experimentos com os alunos. Os dois trabalhos somam um total de 339 corpos ensaios, cujos dados são representativos e suficientes para se trabalhar com uma turma de alunos, os quais podem ser divididos em grupos, onde os resultados obtidos por cada grupo podem ser comparados entre si.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para avaliar o desempenho do tratamento térmico do PLA foram impressos 107 corpos de prova cilíndricos com diâmetro variando de 12,30mm a 18,00mm e uma relação altura/diâmetro de 1,4:1, 1,7:1 ou 1,9:1, selecionada aleatoriamente para cada corpo de prova. A produção de corpos com uma grande variedade de dimensões permite eliminar alguns efeitos do processo de impressão 3D, como a relação de resistência entre a parede e o preenchimento, através da avaliação da média das propriedades mecânicas medidas e também possibilita identificar e eliminar “outliers” nos dados experimentais. Além disso, a grande quantidade de informações medidas serve como um banco de dados experimentais que pode ser utilizado em outros projetos de Ciência de Dados. Todos os corpos foram fabricados utilizando-se uma impressora FDM da marca Ender-3 PRO com parâmetros de impressão apresentados no Quadro 1. A massa total dos corpos de prova foi de 495g e o tempo total de impressão foi de aproximadamente 40h.

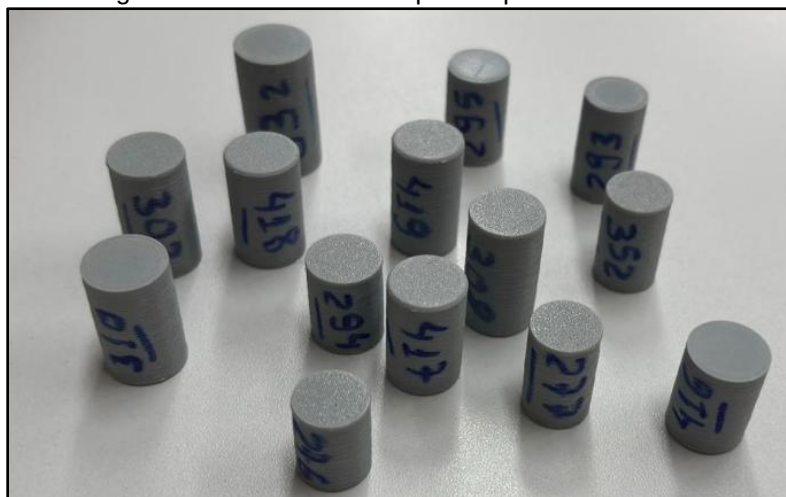
Quadro 1 – Parâmetros de impressão dos corpos de prova.

Parâmetro de impressão	Valor
Altura da camada	0,16mm
Diâmetro do bico extrusor	0,40mm
Nº de linhas de parede	2
Alinhamento da costura	Aleatório
Nº de camadas superiores e inferiores	3
Densidade de preenchimento	80%
Temperatura de impressão	195°C

Fonte: autoria própria.

Dentre os 107 corpos de prova, 32 foram submetidos ao tratamento térmico de recozimento e numerados de 400 a 431 para poder diferenciar dos corpos de prova não tratados, os quais foram numerados de 270 a 344. A Figura 1 ilustra uma amostra das peças fabricadas.

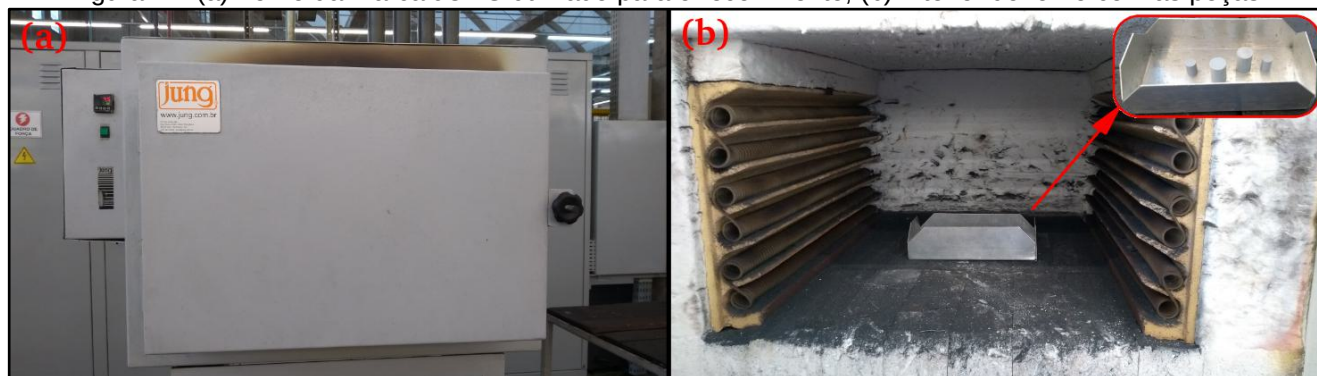
Figura 1 – Amostra dos corpos de prova fabricados.



Fonte: autoria própria.

O recozimento foi realizado em um forno de têmpera da marca JUNG (Figura 2), onde as peças foram submetidas a uma temperatura de 100°C por 30min. Assim que o tempo de processo terminou, as peças foram retiradas do forno e deixadas para resfriar em temperatura ambiente.

Figura 2 – (a) Forno da marca JUNG utilizado para o recozimento; (b) Interior do forno com as peças.

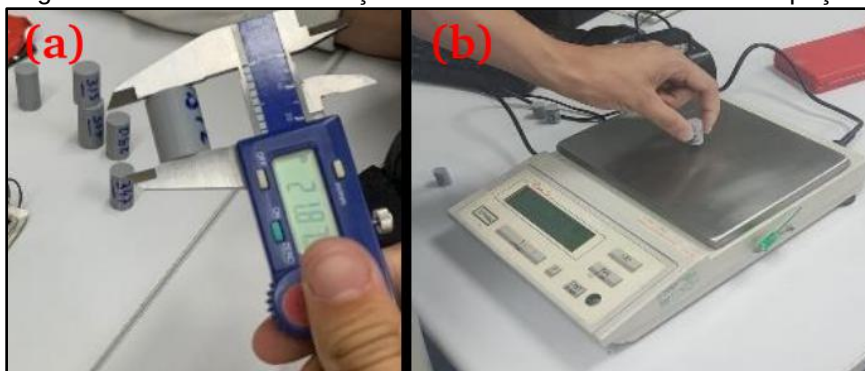


Fonte: autoria própria.

2.1 Coleta dos dados e ensaios de compressão

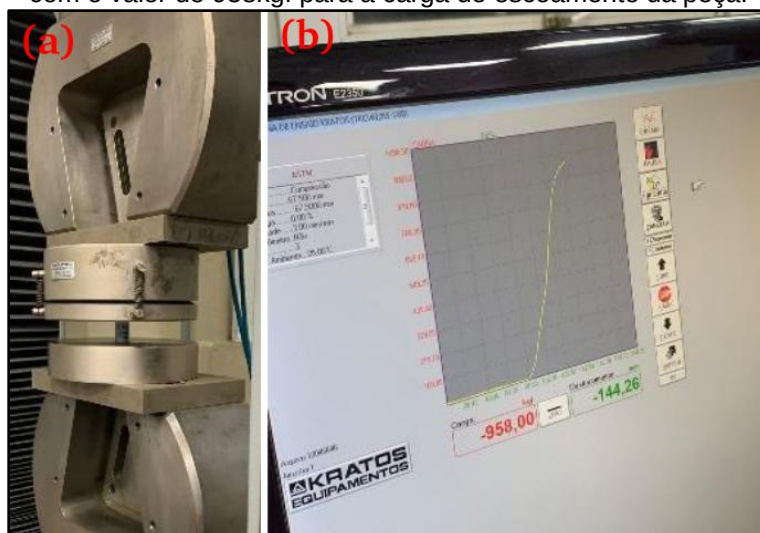
O primeiro passo após a impressão dos corpos de prova foi medir o diâmetro, a altura e a massa de cada peça, que são as variáveis relevantes do processo. O diâmetro e a altura foram medidos com um paquímetro e a massa das peças foi medida utilizando-se uma balança com precisão de 0,1g (Figura 3). Após essa etapa de coleta, procedeu-se ao ensaio de compressão, o qual foi realizado em uma máquina de ensaios universal Kratos equipada com uma célula de carga de 20000kgf (Figura 4a). O ensaio foi realizado com uma velocidade de compressão de 3,0mm/min e o critério adotado para se determinar a resistência mecânica da peça foi o início do escoamento do material, identificado pelo fim da região linear do gráfico (Figura 4b).

Figura 3 – Processo de medição das dimensões e da massa das peças.



Fonte: autoria própria.

Figura 4 – (a) Ensaio de compressão; (b) Resultado do ensaio, com o valor de 958kgf para a carga de escoamento da peça.



Fonte: autoria própria.

Os corpos de prova temperados também foram submetidos ao mesmo procedimento de medição e os dados obtidos foram tabelados para iniciar a etapa de análise.

2.2 Avaliação da linha de base e do processo de recozimento

A partir dos dados coletados procedeu-se a análise dos dados, que foi dividida em três etapas: criação de uma linha de base, comparação da linha de base com outros dados e, finalmente, avaliação do desempenho do tratamento térmico. A primeira etapa teve como objetivo a determinação da densidade e da tensão de escoamento do PLA utilizando apenas as peças que não foram submetidas ao processo de recozimento. Essas propriedades são relevantes para projetos mecânicos e são disponibilizadas pelos fabricantes dos filamentos de PLA, servindo como referência para comparações posteriores. A tensão de escoamento do material é determinada segundo a Equação (1) a seguir.

$$\sigma_{esc} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Na Equação (1), F corresponde à força que o corpo irá suportar até o final regime elástico (determinado pelo ensaio de compressão), σ_{esc} corresponde à tensão de escoamento do material e A é a área da seção transversal do corpo de prova.

Após a determinação dos valores das propriedades de referência, os mesmos foram comparados com dados disponíveis na literatura de ensaios de compressão de peças que também foram fabricadas via impressão 3D. Essa etapa consiste em verificar se existe alguma discrepância entre diferentes fabricantes de filamentos para impressão 3D, além de permitir avaliar o efeito do processo de fabricação nas propriedades finais, visto que os valores de densidade e de tensão de escoamento são normalmente fornecidos para o PLA injetado. Para isso, o método adotado foi a construção dos gráficos de caixa (“boxplots”) das propriedades mecânicas e da comparação de intervalos de confiança. Essa etapa foi realizada utilizando-se os dados disponíveis no trabalho de Idagawa et al. (2024), onde ensaios semelhantes foram realizados.

Finalmente, a última etapa consistiu em avaliar o efeito do recozimento das peças, onde os valores de referência foram comparados com os valores obtidos das peças tratadas. Assim como na etapa anterior, o método adotado também foi o uso de “boxplots” e de intervalos de confiança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conjunto de dados coletados foram tabulados e armazenados em um arquivo no formato .csv (“comma-separated values”), a partir do qual todas as análises foram realizadas com o auxílio de um script em Python e das bibliotecas “numpy”, “matplotlib” e “pandas”. A Tabela 1 abaixo apresenta uma amostra dos dados, os quais podem ser obtidos por completo no repositório detalhado no APÊNDICE A.

Tabela 1 – Amostra da tabela dos dados coletados.

ID	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)	Resistência (kgf)	Recozido
335	17,38	32,80	8,2	1225	NÃO
297	14,71	20,43	3,8	958	NÃO
318	15,85	21,84	4,7	1129	NÃO
311	15,16	28,32	5,5	988	NÃO
315	15,86	21,82	4,7	1113	NÃO
...	...	...	...	...	...
400	12,40	17,77	2,5	912	SIM
401	12,42	20,26	2,7	815	SIM
415	14,20	25,60	0,0	FALHA	SIM
300	14,70	20,60	0,0	FALHA	NÃO

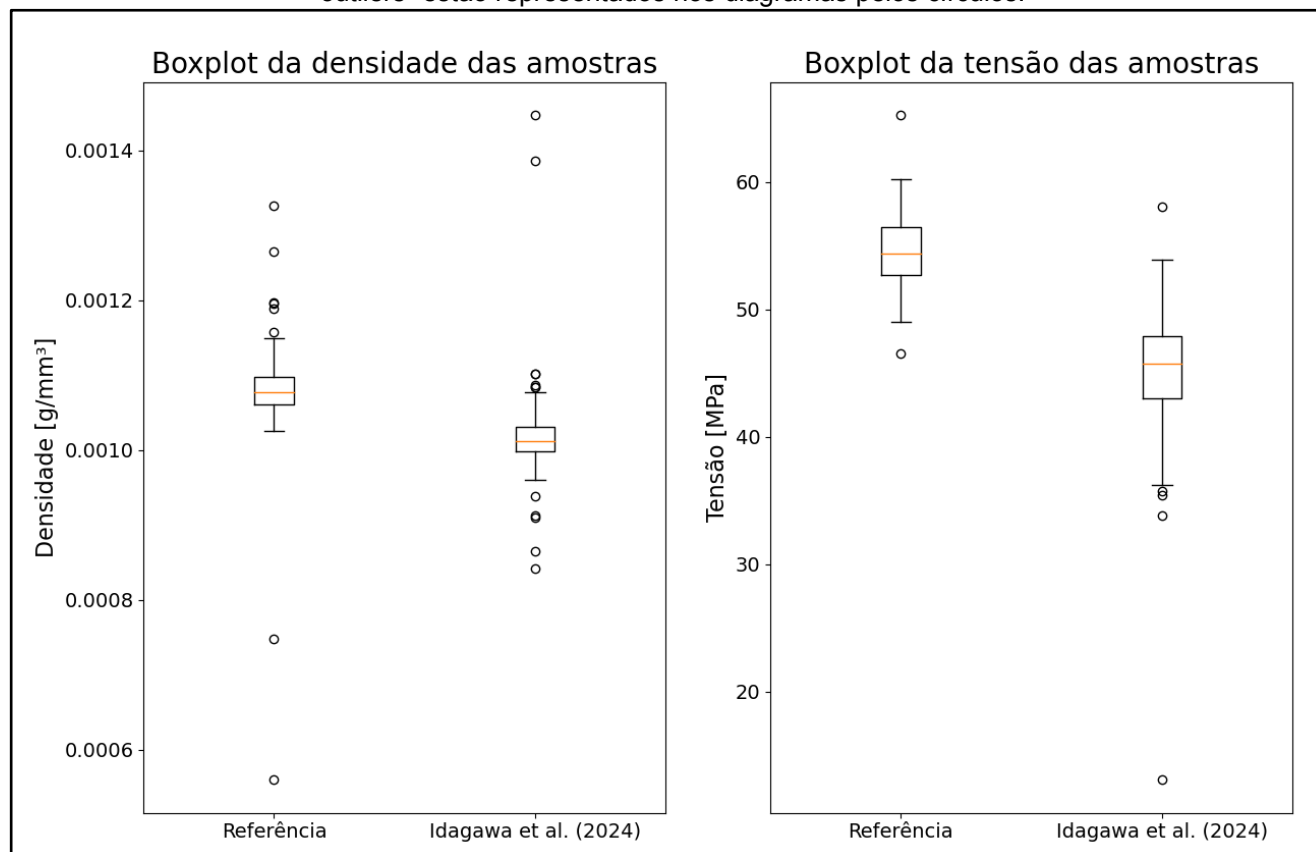
Fonte: autoria própria.

Os valores de referência obtidos para a densidade e para a tensão de escoamento do PLA não recozido foram iguais a $1,08 \pm 0,02$ g/cm³ e $54,37 \pm 0,71$ MPa, respectivamente. Comparando-se esses resultados com os obtidos por Idagawa et al. (2024), de $1,02 \pm 0,01$ g/cm³ e de $45,2 \pm 0,6$ MPa, pode-se observar que o material estudado nesse trabalho apresenta uma maior densidade e tensão de escoamento. Essa diferença pode estar relacionada não apenas ao material, mas também ao processo de impressão 3D, onde variações dimensionais são relativamente mais relevantes em peças menores. Assim, acredita-se que poderiam ser utilizados corpos de prova com diâmetros maiores para obter uma melhor precisão e comparação dos resultados. Outro método pode melhorar a confiabilidade dos resultados seria realizar ensaios de tração, visto que as cargas de escoamento e máxima podem ser melhoradas determinadas utilizando-se um extensômetro, ao invés de simplesmente observar a curvatura do gráfico da tensão em função da deformação.

É importante observar que para comparar esses resultados com os fornecidos pelo fabricante do filamento, é necessário dividir os valores por 0,80, pois os corpos de prova foram fabricados com 80% de preenchimento interno.

A comparação entre esses dois resultados também pode ser observada pelos boxplots da densidade e da tensão de escoamento (Figura 5), onde é produzido o mesmo comportamento. A presença dos “outliers”, principalmente no boxplot da densidade pode ser devido às incertezas na medição do diâmetro e da massa dos corpos de prova.

Figura 5 – Comparação entre os boxplots da densidade (à esquerda) e da resistência mecânica (à direita). Os “outliers” estão representados nos diagramas pelos círculos.



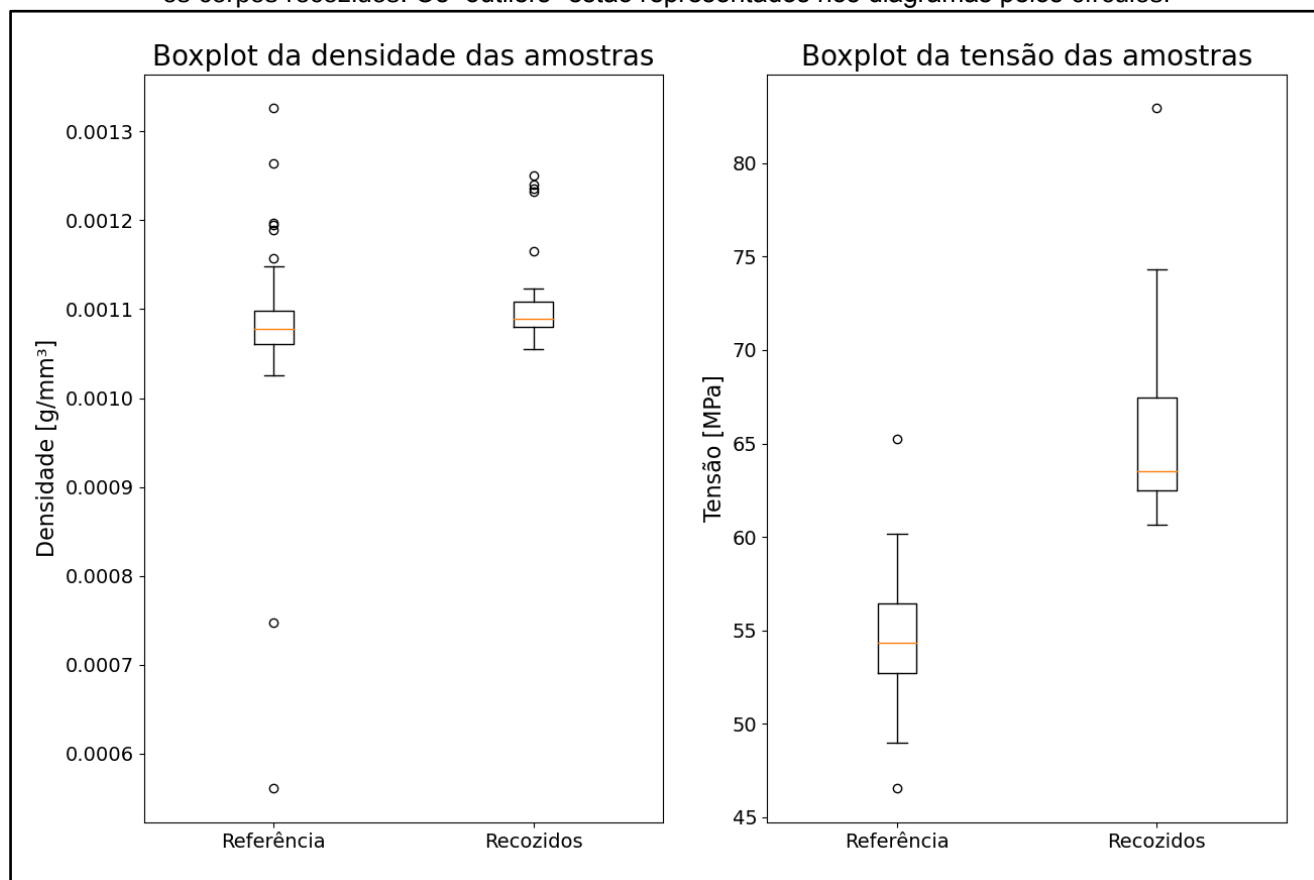
Fonte: autoria própria.

Em relação aos corpos de prova submetidos ao recozimento, os valores obtidos para a densidade e para a tensão de escoamento foram iguais a $1,11 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ e $65,77 \pm 1,87 \text{ MPa}$, respectivamente. Esse resultado sugere que o tratamento térmico do PLA resulta em um aumento da resistência mecânica de 21,0% em relação aos corpos não-tratados. Além disso, existe um aumento da densidade do material de 2,8%, que é devido à redução das dimensões da peça após o tempo de forno.

Acredita-se que essa redução de volume das peças tenha provocado uma maior adesão entre as camadas de impressão e também uma redução da porosidade interna da peça, resultando no aumento da tensão de escoamento do PLA. Futuramente, espera-se realizar uma análise por microscopia óptica para verificar esse efeito. A partir desse ensaio, os autores acreditam que será possível visualizar a variação na quantidade e tamanho dos poros antes e após o tratamento térmico. Devido ao material estudado ser um polímero com baixa temperatura de transição vítrea (em torno de 60°C), a preparação das amostras para microscopia deve ser feita por embutimento a frio em resina.

Assim como para os dados de referência, a melhora obtida com o tratamento térmico pode ser observada comparando-se os boxplots da densidade e da tensão de escoamento (Figura 6).

Figura 6 – Comparação entre os boxplots da densidade (à esquerda) e da resistência mecânica (à direita) para os corpos recozidos. Os “outliers” estão representados nos diagramas pelos círculos.



Fonte: autoria própria.

A Tabela 2 a seguir apresenta um resumo dos resultados encontrados, comparando-os com valores de referência para o PLA recozido e injetado (TÁBI, 2021).

Tabela 2 – Resumo dos resultados incluindo uma referência para o PLA injetado.

Resultado	Densidade (g/cm³)	Resistência mecânica (MPa)
Referência (PLA não tratado)	1,08 ± 0,02	54,37 ± 0,71
PLA recozido (este trabalho)	1,11 ± 0,02	65,77 ± 1,87
PLA injetado (TÁBI, 2021)	1,29	66,00

Fonte: autoria própria

A partir dos resultados da Tabela 2 é possível observar que as peças fabricadas por impressão 3D apresentam uma redução da resistência mecânica em relação a uma peça injetada, porém ao realizar o recozimento, é possível recuperar essa propriedade, resultando em peças com resistência semelhante a uma peça injetada. Outro resultado comumente reportado na literatura é a redução da ductilidade das peças fabricadas por FDM, que pode ser mitigado pelo recozimento. Esse comportamento não foi avaliado nesse trabalho, visto que o ensaio mais adequado para medir a ductilidade seria o ensaio de tração, porém esses ensaios estão previstos para um projeto futuro. Esse ensaio é mais completo do que o ensaio de compressão para levantar as principais propriedades mecânicas do PLA, pois é realizado até a ruptura do corpo de prova. Nessa condição, além das propriedades adicionais de ductilidade e tensão máxima, será possível avaliar também a melhora na adesão entre as camadas de impressão devido à têmpera.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo, os autores avaliaram o efeito do tratamento térmico de recozimento em peças de PLA fabricadas por impressão 3D. O trabalho apresenta uma metodologia simples que pode ser aplicada em disciplinas relacionadas à Ciência dos Materiais e Ciência de Dados, visto que os dados experimentais estão disponibilizados.

O conjunto de dados desse trabalho pode ser utilizado como projetos aplicados em disciplinas de Ciência de Dados, onde as principais técnicas de análise e visualização de dados podem ser ensinadas. Além disso, nos cursos onde seja possível fazer experimentos práticos, os resultados encontrados podem ser confrontados com os valores disponibilizados nesse artigo.

Como resultado, observou-se que o recozimento é capaz de aumentar em 21% a resistência mecânica das peças sujeitas à compressão. O processo de recozimento foi realizado a uma temperatura de 100°C por 30min e o resfriamento final ocorreu fora do forno, em temperatura ambiente.

Para trabalhos futuros, os autores sugerem a realização do ensaio de tração para melhorar a confiabilidade dos resultados e também para medir a variação de ductilidade dos corpos de prova.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao SENAI São Paulo pela concessão de auxílio pela participação no Grupo de Pesquisa em Engenharia Elétrica, Eletrônica, Automação e Reindustrialização.

REFERÊNCIAS

IDAGAWA, Hugo S.; SILVA, Lucas S. da; RIBEIRO, Victor dos S.; BONFIM, Kauã L.L.; SILVA, Luiz Eduardo B. e; MOURA, Sandra Mônica do N. PROPOSTA DE UM PROJETO MULTIDISCIPLINAR PARA SER APLICADO COMO UMA INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DE DADOS. In: 52º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2024, Vitória. **Anais**. Vitória. Disponível em: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/Y9QU8>. Acesso em: 18 jun. 2025.

JAYANTH, N.; JASWANTHRAJ, K.; SANDEEP, S.; HARISH MALLAYA, N.; RAGHUL SIDDHARTH, S. Effect of heat treatment on mechanical properties of 3D printed PLA, **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v.123, 2021.

JIMENEZ-MARTINEZ, M.; VARELA-SORIANO, J.; MARTINEZ-TRINIDAD, J.; ALFARO-PONCE, M.; COCA-GONZALEZ, M. Enhancing energy absorption in printed PLA components through post-processing and topological optimization, **Results in Engineering**, v.26, 2025.

MD YASIR, A.S.H.; SUKINDAR, N.A.; ABDUL RAHMAN PUTRA, A.A.; CHOONG, Y.C.; KAMARUDDIN, S.; AZIZ, A.; AMINANDA, Y.; SULAIMAN, M.H. Effect of heat treatment on mechanical properties and dimensional accuracy of 3D-Printed black carbon fiber HTPLA, **Heliyon**, v.10, 2024.

QUESSADA FILHO, Lucas de Oliveira. SANTOS, Pedro de Wernek. **Estudo do efeito de tratamento térmico nas propriedades mecânicas de corpos impressos em PLA**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade

Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2023. Disponível em:
<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/37216>. Acesso em: 18 jun. 2025.

REIS, Iago Augusto. **RECOZIMENTO E CINÉTICA DE CRISTALIZAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE POLI(ÁCIDO LÁCTICO) OBTIDOS ATRAVÉS DE MANUFATURA ADITIVA**. 2021. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021. Disponível em:

https://sip.prg.ufla.br/publico/trabalhos_conclusao_curso/acessar_tcc_por_curso/engenharia_de_materiais/index.php?dados=20211201420835. Acesso em 18 jun. 2025.

SHAHRIZODA, T. Project-Based Learning as an Effective Teaching Method. **Journal of Ethics and Diversity in International Communication**, v.2, n.2, p. 54-56, 2022.

SHBANAH, M.; JORDANOV, M.; NYIKES, Z.; TÓTH, L.; KOVÁCS, T.A. The Effect of Heat Treatment on a 3D-Printed PLA Polymer's Mechanical Properties, **Polymers**, v.15, 2023.

TÁBI, T.; AGEYEVA, T.; KOVÁCS, J.G., Improving the ductility and heat deflection temperature of injection molded Poly(lactic acid) products: A comprehensive review, **Polymer Testing**, v.101, 2021.

APÊNDICE A

Os dados experimentais coletados para a realização desse trabalho estão disponíveis em: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/284Z9>.

EVALUATION OF HEAT TREATMENT OF 3D PRINTED PARTS: AN APPLICATION OF DATA ANALYSIS FOR EDUCATIONAL PURPOSES

Abstract: *This study investigates the effect of annealing on PLA parts manufactured by 3D printing. 3D printing, although flexible and cost-effective for creating complex designs, produces parts with inferior mechanical properties than conventional techniques, due to the parts' microstructure influenced by porosity, residual thermal stresses and low interlayer bonding. The annealing heat treatment is proposed as a solution to mitigate these limitations, with previous studies indicating significant improvements in tensile and heat resistance, in addition to reduced porosity and improved interlayer adhesion. For this work, 107 cylindrical PLA specimens, varying in diameter, were 3D printed using an Ender-3 PRO FDM printer with 80% infill and a printing temperature of 195°C. From this group, 32 specimens were subjected to annealing at 100°C for 30 minutes. Mechanical strength was determined by compression tests, identifying the onset of material yield. The project methodology was also organized to serve as an applied project in data science and materials science subjects. After annealing, the specimens presented an average density of 1.11g/cm³ and a yield stress of 65.77MPa. This represents a 21.0% increase in mechanical strength and 2.8% in density, attributed to the reduction in volume, greater layer adhesion and decreased internal porosity. In conclusion, annealing is an effective method for increasing the mechanical strength of 3D printed parts, with the possibility of obtaining final parts with mechanical strength close to injected molded parts.*

Keywords: Additive Manufacturing, PLA, Heat Treatment, Annealing, Mechanical Properties

