



## ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE PREENCHIMENTO PARA A OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PERFORMANCE DO POLIÁCIDO LÁTICO (PLA) NA TECNOLOGIA DE MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO (FDM)

Alessandro Kulitch  
Dante Barleta Filho  
Julia Bronoski  
Lucas Amaro dos Santos  
Lucas Martin  
Paulo Andrade Leal  
Pedro Alexandre Olimpio de Souza  
Marco Antônio Guterres  
Rafael Augusto Villatore

### RESUMO

A impressão 3D, como parte da Indústria 4.0, está transformando os processos de fabricação e produção, impactando áreas como medicina, engenharia e até alimentação. Este estudo investiga a influência do preenchimento (infill) nas peças impressas em 3D, focando na quantidade de material utilizado, tempo de impressão e tamanho do arquivo gerado. Utilizando o software Prusa 2.7.4 com base em modelagem FMD tendo como base o material o PLA, testamos diferentes tipos e porcentagens de preenchimento em uma peça padrão, visando oferecer insights valiosos para otimização de impressões 3D.

**Palavras-chave:** 1. Impressão 3D; 2. Indústria 4.0; 3. Preenchimento (Infill); 4. Otimização de Impressão; 5. Tempo de Impressão.

### ANALYSIS OF INFILL VARIATION FOR THE OPTIMIZATION OF PERFORMANCE PARAMETERS OF POLYLACTIC ACID (PLA) IN FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) TECHNOLOGY

### ABSTRACT

3D printing, as part of Industry 4.0, is transforming manufacturing and production processes, impacting areas such as medicine, engineering, and even food. This study investigates the influence of infill on 3D printed parts, focusing on the amount of material used, print time, and the size of the generated file. Using Prusa 2.7.4 software based on FDM modeling and utilizing PLA material, we tested different types and percentages of infill on a standard piece, aiming to provide valuable insights for optimizing 3D prints.

**Keywords:** 1. 3D Printing; 2. Industry 4.0; 3. Infill; 4. Print Optimization; 5. Printing Time.



## 1. INTRODUÇÃO

A impressão 3D, uma das vertentes da Indústria 4.0, está revolucionando os processos de fabricação, produção e a vida das pessoas. Essa tecnologia já é utilizada para a confecção de próteses, peças de engenharia, guias médicas, objetos de decoração e até alimentos. Com o crescimento da impressão 3D, é crucial continuar adquirindo conhecimento sobre o tema, pois trata-se de um mercado novo com inovações diárias. Os avanços recentes foram significativos e, para não ficar para trás, é importante estar atualizado e preparado para as mudanças futuras (Portela, 2023).

Conforme Kurmann (2019), a maioria dos objetos criados em impressoras 3D não são 100% maciços devido ao alto consumo de material e tempo que isso exigiria. Objetos totalmente sólidos demandariam grande quantidade de filamento e levariam mais tempo para serem impressos. Por outro lado, objetos ocos com apenas uma casca externa são mais econômicos e rápidos de produzir, mas podem ser frágeis para muitas aplicações. Para equilibrar resistência, peso e tempo de impressão, utiliza-se o infill, ou preenchimento, que é a parte interna da impressão 3D, definida em diferentes porcentagens e padrões pelo software de fatiamento. Uma maior densidade de infill resulta em objetos mais fortes, mas também aumenta o tempo e o custo de impressão. Em geral, uma porcentagem de preenchimento entre 10% e 20% é suficiente para a maioria dos projetos, enquanto 100% de preenchimento é raramente necessário. Escolher a porcentagem ideal de infill depende da aplicação da peça, sendo que projetos que exigem maior resistência devem ter maior infill, enquanto aqueles focados na forma podem ter menor preenchimento para economizar tempo e material.

Este estudo explora dentre os parâmetros que influenciam a impressão 3D a configuração de preenchimento da peça, devido a ser um dos parâmetros que podem influenciar no tempo de impressão, quantidade de material a ser utilizado e no tamanho do arquivo gerado pelo software fatiador.

Utilizando o software Prusa versão 2.7.4, um dos softwares mais utilizados para a impressão de peças, utilizaremos a última versão disponível no momento da escrita e elaboração deste estudo, sendo um dos fatiadores com maior número de modelos de preenchimento da peça, totalizando 17 tipos diferentes com 14 possibilidades de porcentagens de preenchimento cada, com um total de 238 possibilidades de preenchimento que também é chamado de Infill para um utilizador, o que pode se tornar um desafio no momento da escolha até mesmo por utilizadores mais experientes. Para as simulações será utilizada como base uma impressora FDM Creality Ender-3 S1 PRO pela sua disponibilidade para nosso estudo de



referência.

O estudo vai explorar variando os tipos de preenchimento e valores, para verificar os resultados apresentados em termos de tempo de impressão, quantidade de material utilizado e tamanho do arquivo. Esses fatores são essenciais para qualquer usuário, especialmente iniciantes, pois afetam o custo, a viabilidade dos projetos e a qualidade das peças produzidas. Compreender esses parâmetros é crucial para maximizar os benefícios da tecnologia de manufatura aditiva.

Em parceria com a empresa 3D Touch junto com sua equipe técnica e UniSenai com os técnicos do FaBLAB, além de alunos e professores faremos o estudo compartilhado, possibilitando a novos usuários dados relevantes para escolha de parâmetros que acrescentem qualidade e viabilidade a seus projetos.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste estudo é observar como a variação do preenchimento (infill) em peças padrão influencia aspectos cruciais do processo de impressão 3D. Utilizando o software Prusa, serão analisadas as mudanças nos seguintes itens:

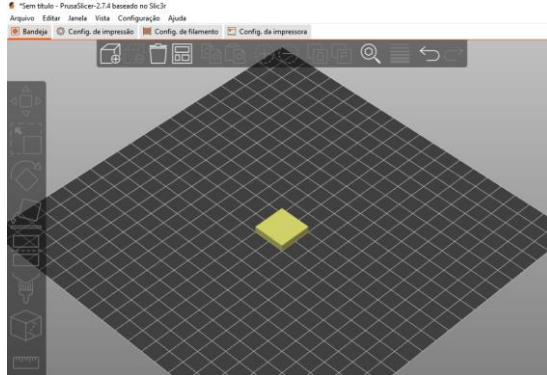
1. Quantidade de material utilizado;
2. Tempo de impressão;
3. Tamanho do arquivo gerado;
4. Estabelecer um modelo visual para os utilizadores para o parâmetro *infill*.

Essa análise permitirá uma melhor compreensão de como diferentes configurações de preenchimento afetam a eficiência e a economia no processo de manufatura aditiva, proporcionando insights valiosos para otimização e planejamento de impressões 3D.

## **3. METODOLOGIA**

Para este estudo, utilizaremos uma peça padrão no formato quadrado com dimensões de 20 mm com 4 mm de altura, como base para avaliar as variações de preenchimento (infill) utilizando o software Prusa (figura 1). A escolha desta peça padrão visa garantir a consistência e a comparabilidade dos resultados obtidos. A metodologia envolve a impressão das peças com diferentes configurações de infill e a análise dos resultados em termos de tempo de impressão, quantidade de material utilizado e tamanho do arquivo gerado.

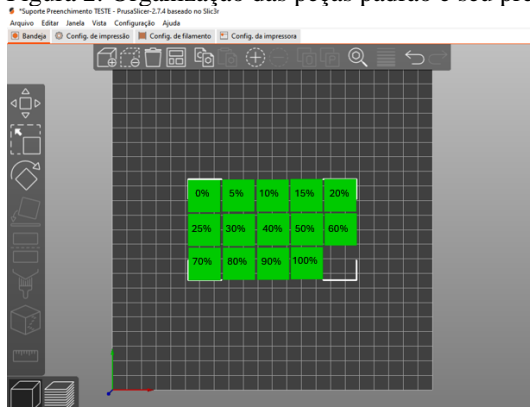
Figura 1: Peça padrão referência



(Fonte: Autores – Software Prusa 2.7.4, 2024)

As variações de preenchimento serão testadas nas seguintes porcentagens: 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% conforme figura 2. Essas porcentagens permitem uma análise abrangente de como o aumento da densidade de infill afeta os parâmetros mencionados.

Figura 2: Organização das peças padrão e seu preenchimento



(Fonte: Autores – Software Prusa 2.7.4, 2024)

Para os preenchimentos de 100% que não estiverem disponíveis devido às limitações do software, será utilizado o padrão de fatiamento Rectilíneo nessa porcentagem, inserido automaticamente pelo software sempre que o tipo de preenchimento não está disponível. Essa escolha será fixa para os tipos de preenchimento Grade, Triângulos, Estrelas, Cúbico, Linha, Concêntrico, Hexágono, Hexágono 3D, Giróide, Curva de Hilbert, Corda de Archimedes, Espiral Estrelado, Adaptativo, Pilar de Suporte e Relâmpago, visando garantir a menor variabilidade possível no processo de avaliação.

Além das porcentagens, serão testados todos os tipos de preenchimento ofertados no software Prusa 2.7.4, desta forma teremos a maior variedade de resultados e insights sobre a eficácia de cada padrão. Os tipos de preenchimento a serem utilizados são:



1. Retilíneo
2. Retilíneo Alinhado
3. Grade
4. Triângulos
5. Estrelas
6. Cúbico
7. Linha
8. Concêntrico
9. Hexágono
10. Hexágono 3D
11. Giróide
12. Curva de Hilbert
13. Corda de Archimedes
14. Espiral Estrelado
15. Adaptativo
16. Pilar de Suporte
17. Relâmpago

Para a análise da variação de preenchimento, os parâmetros da tabela 1 serão mantidos constantes dentro do software Prusa 2.7.4, com o objetivo de ter parâmetros padronizados, visando a garantia que as variações observadas nos resultados sejam exclusivamente devido às diferentes configurações de preenchimento. Essa abordagem permitirá uma avaliação precisa e consistente dos efeitos das variações de infill nas peças impressas.



Tabela 1: Parâmetros fixos durante a análise

PARÂMETROS INICIAIS		PARÂMETROS VELOCIDADE	
Altura de camada	0,2	Perímetros	40
Perímetros	4	Perímetros Pequenos	25
Camadas Sólidas Topo	0	Perímetros Externos	25
Camadas Sólidas Base	3	Preenchimento	50
Preenchimento de Topo	Espiral Estrelado	Preenchimento Sólido	40
Preenchimento de Base	Monotônico	Preenchimento Sólido de Topo	30
Padrão de Preenchimento		Material de Suporte	40
Densidade de Preenchimento		Interface do Material de Suporte	1
Gerador de Perímetro	Arachne	Pontes	25
Controle de Aceleração		Preenchimento de vão	0,3
Tipo de G-code	Marlin (legaci)	Deslocamento	150
Versão Software	Prusa 2.7.4	Z Deslocamento	0
Diâmetro do Bico	0,4	Velocidade Primeira Camada	20
Tipo de Suporte		Velocidade Máxima de Impressão	100

(Fonte Autor, 2024)

Por meio desta metodologia será realizado uma análise detalhada de como diferentes porcentagens e tipos de infill influenciam os aspectos críticos do processo de impressão 3D, fornecendo informações valiosas para a otimização das impressões e a tomada de decisões mais informadas para usuários de todos os níveis de experiência focando nos itens citados no objetivo deste artigo.

#### 4. ANÁLISE VARIAÇÃO DO PREENCHIMENTO (INFILL)

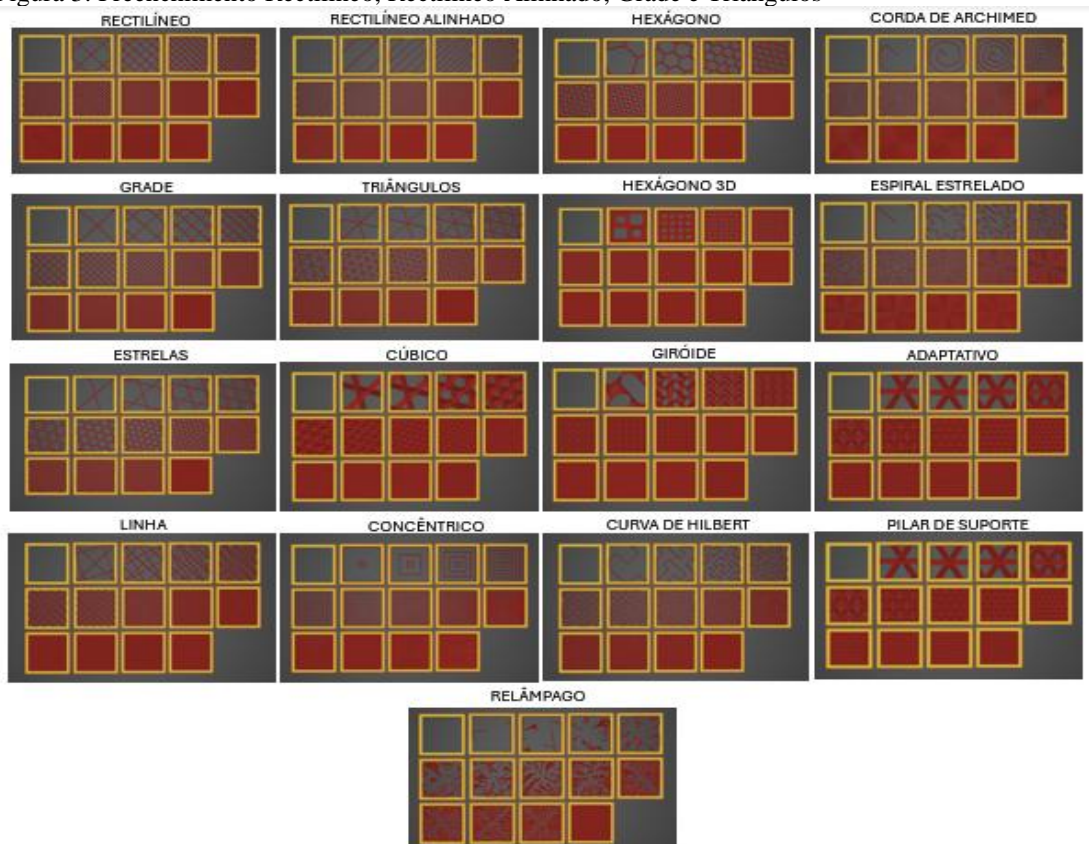
A análise do teste de infill é uma etapa crucial na avaliação da eficiência e qualidade das peças impressas em 3D. Esta análise apresenta uma visão detalhada das características das peças testadas, levando em consideração diversos parâmetros que influenciam o processo de impressão 3D. A seguir, discutiremos os itens analisados, como o tipo de material, a quantidade de filamento utilizado tanto em gramas quanto em metros, o tempo de impressão estimado, observações relevantes e o tamanho do arquivo de impressão.

Para a simulação, utilizamos o filamento PLA como base, considerando sua densidade de  $1,24 \text{ g/cm}^3$  e seu diâmetro de 1,75 mm conforme LAB (2020). Esses valores são fundamentais para converter a quantidade de filamento utilizado de metros para gramas, permitindo uma análise mais precisa do consumo de material. A densidade do PLA ajuda a compreender melhor a relação entre o volume do material e o peso da peça final, contribuindo para uma avaliação mais detalhada da eficiência do processo de impressão.

Optamos por não realizar simulações com outros materiais, pois o objetivo deste estudo é uma análise comparativa dos diferentes padrões de preenchimento (infill), e não das variações de materiais. Esta abordagem nos permite focar na eficiência do preenchimento e nas implicações para o consumo de filamento e tempo de impressão.

Analisando os 17 tipos de preenchimento utilizados, os preenchimentos foram agrupados para facilitar a visualização. Os tipos de preenchimento considerados são: Rectilíneo, Rectilíneo Alinhado, Grade, Triângulos, Estrelas, Cúbico, Linha, Concêntrico, Hexágono, Hexágono 3D, Giróide, Curva de Hilbert, Corda de Archimedes, Espiral Estrelado, Adaptativo, Pilar de Suporte e Relâmpago.

Figura 3: Preenchimento Rectilíneo, Rectilíneo Alinhado, Grade e Triângulos



(Fonte: Autores, 2024)

Para analisar os dados relacionados ao uso de filamento, tempo de impressão e tamanho do arquivo, realizamos simulações de fatiamento utilizando o software Prusa 2.7.4. Foram avaliados os preenchimentos, considerando os parâmetros de filamento utilizado (em gramas e metros), tempo de impressão estimado e tamanho do arquivo. A seguir, apresentamos uma tabela 2 com os três melhores e os três piores resultados obtidos em cada um desses critérios, permitindo uma visão clara da eficiência de cada tipo de preenchimento.

Tabela 2: Resultados de tempo, quantidade de filamento e tamanho de arquivo

#	Nome da Peça	Tipo de Material	Filamento Utilizado (g)	Filamento Utilizado (m)	Tempo de Impressão Estimado	Observações	Tamanho do Arquivo (KB)
1	Retilíneo	PLA	19,99	6,7	1:48:00		712
2	Retilíneo Alinhado	PLA	19,99	6,7	1:48:00		712
3	Grade	PLA	19,93	6,68	1:48:00	100% Não é Possível	741
4	Triângulos	PLA	19,99	6,7	1:53:00	100% Não é Possível	844
5	Estrelas	PLA	19,71	6,61	1:50:00	100% Não é Possível	773
6	Cúbico	PLA	19,84	6,65	1:53:00	100% Não é Possível	852
7	Linha	PLA	19,94	6,69	1:47:00	100% Não é Possível	712
8	Concêntrico	PLA	20,09	6,74	1:54:00		871
9	Hexágono	PLA	21,07	7,07	2:53:00	100% Não é Possível	5148
10	Hexágono 3D	PLA	22,44	7,52	2:47:00	100% Não é Possível	6941
11	Giróide	PLA	19,24	6,45	2:18:00	100% Não é Possível	5610
12	Curva de Hilbert	PLA	19,69	6,6	2:40:00		3499
13	Corda de Archimed	PLA	19,63	6,58	1:53:00		4385
14	Espiral Estrelado	PLA	19,71	6,61	2:28:00		1835
15	Adaptativo	PLA	17,62	5,91	1:40:00	100% Não é Possível	697
16	Pilar de Suporte	PLA	17,13	5,74	1:41:00	100% Não é Possível	785
17	Relâmpago	PLA	13,94	4,68	1:55:00	100% Não é Possível	1830

Legenda	
Melhor Resultado	Pior Resultado
2º Melhor Resultado	2º Pior Resultado
3º Melhor Resultado	3º Pior Resultado

(Fonte: Autores, 2024)

Na análise da quantidade de filamento utilizado em gramas, realizada com o software Prusa 2.7.4, identificamos que os três melhores tipos de preenchimento foram: Relâmpago (13,94 g), Pilar de Suporte (17,13 g) e modelo Adaptativo (17,62 g). Por outro lado, os três piores resultados foram obtidos com os preenchimentos Hexágono 3D (22,44 g), Hexágono (21,07 g) e modelo Concêntrico (20,09 g).

O resultado dos tempos de impressão realizada, identificamos que os três melhores tempos foram obtidos com os preenchimentos Adaptativo (1:40:00), Pilar de Suporte (1:41:00) e Linha (1:47:00). Por outro lado, os três preenchimentos que levaram mais tempo para impressão foram: Hexágono (2:53:00), Hexágono 3D (2:47:00) e Curva de Hilbert (2:40:00).

Na análise dos tamanhos de arquivo gerados em Kb, identificamos que os três melhores resultados foram obtidos com os preenchimentos Adaptativo (697 KB), Retilíneo e Retilíneo Alinhado (712 KB), e Grade (741 KB). Por outro lado, os três piores resultados foram encontrados nos preenchimentos Hexágono (5148 KB), Giróide (5610 KB), e Hexágono 3D (6941 KB).



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o menor uso de material e o menor tempo de impressão, identificamos que o preenchimento do tipo Relâmpago apresentou o menor gasto de material, utilizando apenas 13,94 g de filamento. Em termos de eficiência no tempo de impressão, o preenchimento Adaptativo se destacou, com um tempo de impressão de 1:40:00. Além disso, na análise dos tamanhos de arquivo gerados, o preenchimento Adaptativo novamente mostrou o melhor desempenho, com um arquivo de apenas 697 KB. Esses dados demonstram que o preenchimento Adaptativo é altamente eficiente tanto em termos de tempo quanto de espaço de armazenamento.

Com base nesses resultados, o preenchimento Adaptativo se destaca como a melhor opção geral para impressões 3D, oferecendo o melhor equilíbrio entre eficiência de material, tempo de impressão e tamanho de arquivo. Este preenchimento não só minimiza o uso de filamento e o tempo necessário para imprimir uma peça, mas também reduz significativamente o tamanho dos arquivos gerados, facilitando o armazenamento e a transferência de dados. Portanto, para usuários que buscam otimizar suas impressões 3D em termos de custo, tempo e eficiência de armazenamento, o preenchimento Adaptativo é altamente recomendado.

Para trabalhos futuros, seria interessante expandir a análise além dos pontos levantados neste estudo para incluir a resistência e a durabilidade das peças impressas. Esses fatores são cruciais para aplicações em que a integridade estrutural e a longevidade das peças são fundamentais. No entanto, os estudos realizados neste artigo fornecem uma base sólida para iniciantes que precisam de orientação em relação ao tempo de impressão e à quantidade de material utilizado. Essas informações são essenciais para quem está começando na impressão 3D e busca otimizar seus processos de forma eficiente.

É importante ressaltar que existem inúmeros parâmetros de impressão, e a escolha ideal depende do uso pretendido da peça e das características específicas de cada projeto. Fatores como tipo de filamento, temperatura de impressão, velocidade, e configuração de preenchimento (infill) variam conforme a aplicação e os requisitos técnicos do projeto. Portanto, este estudo serve como um ponto de partida, mas a personalização dos parâmetros de impressão é fundamental para alcançar os melhores resultados possíveis em cada situação específica.



## REFERÊNCIAS

LAB, 3D. **Como saber se o filamento é ABS ou PLA? Aprenda a diferenciá-los!** [S. l.], 6 mar. 2020. Disponível em: <https://3dlab.com.br/como-saber-se-o-filamento-e-abs-ou-pla/> . Acesso em: 30 maio 2024.

KURMANN, Carolina. **Infill na Impressão 3D: o que é.** [S. l.], 19 set. 2019. Disponível em: <https://www.makehero.com/blog/infill-na-impressao-3d-o-que-e/> . Acesso em: 30 maio 2024.

PORTELA, Sérgio Portela. **O que é impressão 3D? Conheça a tecnologia de impressoras 3D!** [S. l.], 29 jan. 2023. Disponível em: <https://3dlab.com.br/impressao-3d-o-que-e/> . Acesso em: 30 maio 2024.



Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.  
[Recebido/Received: Dezembro 18 2024; Aceito/Accepted: Janeiro 29, 2025]