

# **Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.**

**MAYSSON RODRIGUES DE SOUZA**  
**LARISSA PAVARINI DA LUZ**

## **Resumo**

Este estudo apresenta uma investigação experimental de falhas superficiais do tipo *gaps* em impressões 3D por modelagem por deposição fundida (FDM), utilizando filamento PLA Silk bicolor em uma impressora GTMax3D Pro Core A2v2. A relevância do trabalho está associada à divergência na literatura quanto às causas dessas falhas e à necessidade de soluções mais consistentes. Observou-se que, ao utilizar o software OrcaSlicer, ocorreram lacunas visíveis entre as linhas extrudadas, enquanto no Ultimaker Cura, sob condições equivalentes de configuração, as peças apresentaram acabamento superficial uniforme. Foram conduzidos ensaios experimentais controlados com variação de parâmetros de processo, incluindo fluxo de extrusão, sobreposição entre trilhas, retração, alinhamento de costura, preenchimento de vãos e padrões de *infill*, além da utilização de uma torre de temperatura para determinação da faixa térmica ideal. Os resultados indicaram que o ajuste do fluxo para 100%, a sobreposição de extrusão para 25% e a ativação do recurso de *gap filling* eliminaram as falhas observadas, proporcionando qualidade visual e dimensional equivalente à obtida no Cura. Conclui-se que ajustes finos no fatiador exercem influência determinante na qualidade final da peça, evidenciando que falhas superficiais podem estar diretamente associadas ao processamento do código G, e não exclusivamente às propriedades do material ou às características do hardware.

**Palavras-chave:** manufatura aditiva; modelagem por deposição fundida; parâmetros de processo; defeitos superficiais; orca slicer.

---

***Experimental investigation of surface defects in fused deposition modeling (FDM) 3D printing: influence of the slicer and parameter tuning on print quality under equivalent conditions.***

## **Abstract**

*This study presents an experimental investigation of superficial failures characterized as gaps in fused deposition modeling (FDM) 3D printing, using a bicolor PLA Silk filament on a GTMax3D Pro Core A2v2 printer. The relevance of this work lies in the divergence found in the literature regarding the causes of such failures and the need for more consistent solutions. It was observed that, when using the software OrcaSlicer, visible gaps appeared between extruded lines, whereas with Ultimaker Cura, under equivalent parameter settings, the printed parts exhibited a uniform surface finish. Controlled experimental trails were conducted by varying key process parameters, including extrusion flow rate, overlap between tracks, retraction, seam alignment, gap filling, and infill patterns, in addition to the usage of a temperature tower test to determine the ideal thermal range. The results indicated that setting the flow to 100%, extrusion overlap to 25%, and enabling the gap filling feature eliminated the*

Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

*observed defects, achieving visual and dimensional quality comparable to that obtained with Cura. It is concluded that fine tuning of slicing parameters plays a critical role in the final print quality, demonstrating that surface failures may be directly related to G-code processing rather than solely to material properties or hardware limitations.*

**Keywords:** *additive manufacturing; fused deposition modeling; process parameters; superficial failures; OrcaSlicer.*

## 1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, tem se consolidado nas últimas décadas como uma das tecnologias mais promissoras da Indústria 4.0, impactando diretamente os setores de engenharia, design e manufatura (Vasudev; Prashar; Bhuddhi, 2022). Essa técnica permite a produção de protótipos, componentes funcionais e produtos personalizados com rapidez e alta eficiência, reduzindo custos de desenvolvimento e otimizando o uso de materiais (Mehrpuoya *et al.*, 2019).

Entre as diversas tecnologias de impressão existentes, a modelagem por deposição fundida (*Fused Deposition Modeling* — FDM) destaca-se por sua ampla adoção no meio acadêmico e industrial, em virtude do baixo custo de aquisição e manutenção dos equipamentos, da versatilidade de materiais e da facilidade de operação (Vasudev; Prashar; Bhuddhi, 2022). Autores como (Mehrpuoya *et al.*, 2019) ressaltaram que a FDM tem possibilitado a democratização da fabricação digital, tornando acessível a criação de produtos sob demanda tanto para grandes corporações quanto para pequenos empreendedores e *makers*.

De acordo com Mehrpuoya *et al.* (2019, tradução nossa), a manufatura aditiva tem possibilitado que indivíduos e pequenas organizações produzam seus próprios produtos sem depender de grandes estruturas industriais, contribuindo para a democratização do processo produtivo.

Com a ampliação do uso da manufatura aditiva por indivíduos, pequenas organizações e ambientes não-industriais, surge um desafio crítico: garantir que as peças produzidas alcancem a qualidade esperada. Mesmo sendo acessível, a tecnologia da impressão 3D exige controle sobre vários fatores que afetam a integridade do produto final, como o tipo e a composição do filamento, o armazenamento adequado do material, as condições ambientais de impressão (temperatura, umidade), além da calibragem do equipamento e das configurações do software de fatiamento.

Por exemplo, Lima (2022) destaca que os polímeros utilizados para impressão 3D do tipo FDM apresentam uma sensibilidade muito grande às variações de temperatura.

Dessa forma, à medida que o processo se torna mais acessível e difundido, torna-se igualmente importante aprofundar a atenção aos parâmetros de processo para garantir resultados visuais e dimensionais satisfatórios.

A qualidade final das peças produzidas por impressoras FDM depende fortemente de múltiplos fatores, como o tipo e a composição do filamento, a calibração do equipamento e as configurações definidas no software de fatiamento (Kristiawan *et al.*, 2021). Estudos recentes apontam que mesmo pequenas variações nesses parâmetros podem gerar defeitos superficiais, como lacunas (*gaps*) entre trajetórias de extrusão que comprometem a integridade visual e dimensional das peças (Jayanth, 2025).

O mercado atual oferece uma grande diversidade de filamentos como: Poliacido Láctico (PLA) que se trata de um filamento ecológico por ser biodegradável, Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), Poliuretano Termoplástico (TPU) (Kristiawan, 2021). Vale ressaltar que, com a constante evolução das tecnologias de impressão

3D, o mercado tem disponibilizado uma ampla variedade de novos materiais, desenvolvidos para atender às diferentes demandas de desempenho mecânico, térmico e estético. Esses avanços permitem a fabricação de peças mais resistentes, flexíveis ou com propriedades específicas, de acordo com a aplicação desejada e a tecnologia empregada, sempre observando os limites e as condições operacionais do processo de impressão 3D (Jayanth, 2025). Similarmente, o processo de impressão é fortemente influenciado pelo software de fatiamento, responsável por determinar a trajetória da ferramenta, a altura de camada, o padrão de preenchimento e outros parâmetros do processo, os quais podem variar conforme o programa utilizado (Kristiawan *et al.*, 2021, tradução nossa).

Dessa forma, compreender a influência dos parâmetros de fatiamento e o comportamento dos diferentes softwares torna-se essencial para garantir impressões com alta precisão e acabamento superior. O presente estudo busca contribuir com essa discussão, analisando experimentalmente a ocorrência de falhas de preenchimento, que são espaços vazios geralmente ocorridos entre camadas, formando lacunas superficiais, conhecidas na literatura como defeitos do tipo *gap* em impressões 3D.

Relatos da comunidade especializadas em impressão 3D, como o *Prusa Printers Forum* (2025), relatam que filamentos do tipo PLA Silk tendem a apresentar maior ocorrência de falhas (entupimentos, aderência de camada deficiente) em comparação com PLA padrão. Contudo, não foi encontrado até o momento um estudo acadêmico revisado por pares que apresente dados estatísticos comparativos para esta classe de filamento.

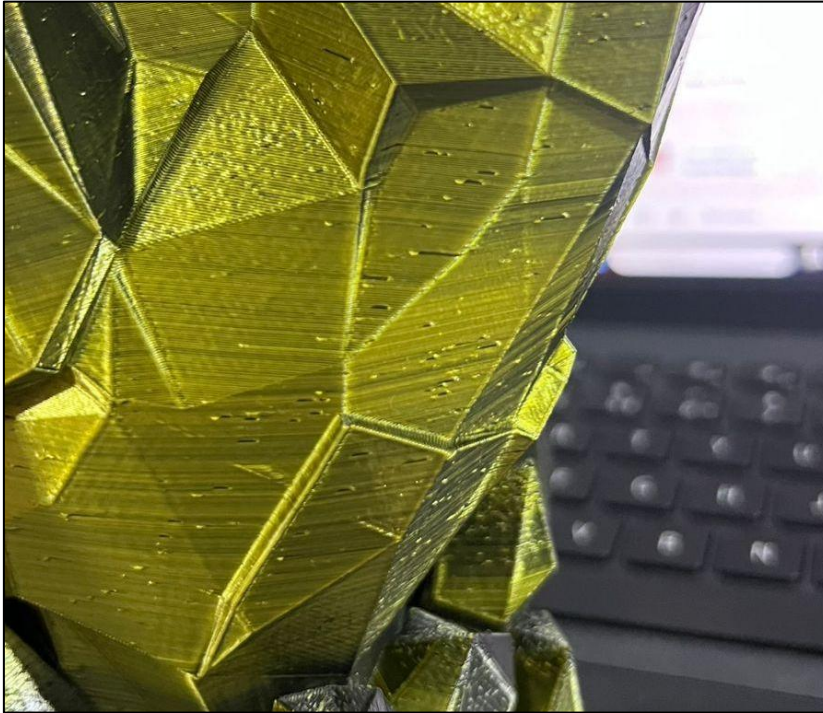
He et al. (2024) destacam que defeitos no processo de impressão 3D, como falhas de deposição e irregularidades superficiais, podem comprometer a qualidade das peças e representam desafios para a consolidação da tecnologia

O experimento desenvolvido neste estudo tem como foco principal a análise comparativa do desempenho de diferentes softwares de fatiamento na qualidade de impressão 3D. Foram conduzidos testes práticos buscando compreender de que forma ajustes nos parâmetros de extrusão, sobreposição, retração e preenchimento influenciam o surgimento de falhas superficiais do tipo *gap* em peças produzidas pela tecnologia FDM. A pesquisa envolveu ainda a avaliação da faixa térmica ideal do material por meio da impressão de uma torre de temperatura, assegurando maior precisão na calibração do processo. Todo o procedimento foi realizado com o filamento PLA Silk bicolor, na impressora GTMax3D Pro Core A2v2, comparando os resultados obtidos entre os fatiadores OrcaSlicer e Ultimaker Cura, a fim de identificar diferenças de comportamento e eficiência entre ambos. Os resultados obtidos contribuem para o aprimoramento do processo de impressão FDM, evidenciando a importância do ajuste fino dos parâmetros de fatiamento e da escolha adequada do software como fatores determinantes para a qualidade final das peças impressas.

Segundo Lopes (2021), a avaliação da superfície das peças em FDM incluiu inspeção visual, digitalização de alta resolução e microscopia óptica, procedimentos adotados para identificar irregularidades na geometria e defeitos que se expressam nas camadas depositadas.

Neste experimento, iremos utilizar uma abordagem mais simples para minimizar defeitos visíveis sem a necessidade de utilização de instrumentação de precisão.

**Figura 1** - Defeitos superficiais ao longo da peça impressa por FDM



Fonte: Elaboração própria, figura demonstrando a ocorrência de falhas na superfície da impressão.

Na Figura 1, observa-se que os defeitos característicos do tipo *gap* entre as camadas manifestam-se como espaços irregulares e descontínuos na superfície da peça, interrompendo a continuidade das linhas de extrusão. Essas discontinuidades prejudicam não apenas o acabamento superficial, mas também a integridade estrutural do componente, podendo originar zonas de fragilidade mecânica em regiões críticas da impressão.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Revisão Bibliográfica

A fundamentação teórica deste estudo baseia-se em pesquisas e referências técnicas que abordam, sob diferentes perspectivas, os aspectos críticos da manufatura aditiva por FDM, os mecanismos de falhas superficiais, o monitoramento de processo e o impacto dos softwares de fatiamento na qualidade final das impressões 3D.

O trabalho de Baechle-Clayton *et al.* (2022) foi selecionado por oferecer uma análise abrangente dos tipos de falhas e imperfeições em peças fabricadas por FDM, abordando desde defeitos de extrusão até falhas entre camadas. Essa referência é essencial para contextualizar os *gaps* superficiais estudados neste artigo, uma vez que descreve como pequenas inconsistências de deposição e variações térmicas podem gerar discontinuidades visuais e estruturais nas camadas impressas.

O site do fabricante GTMax3D (2025) foi incluído para embasar tecnicamente a descrição do equipamento utilizado nos ensaios experimentais, a impressora GTMax3D Pro Core A2v2. Essa fonte fornece informações oficiais sobre as especificações de *hardware*, limites operacionais e parâmetros de calibração, garantindo a rastreabilidade e a transparência metodológica do estudo.

O artigo de Mehrpouya *et al.* (2019), contribui com a contextualização da manufatura aditiva dentro da Indústria 4.0, destacando a democratização e o acesso crescente à tecnologia de impressão 3D por diferentes perfis de usuários. A inclusão desse trabalho reforça a

relevância social e tecnológica do tema, mostrando que, com a expansão da tecnologia FDM, cresce também a necessidade de estudos que aprimorem a qualidade das impressões e reduzam falhas recorrentes como os gaps.

A revisão de Kristiawan *et al.* (2021) foi escolhida por apresentar uma análise técnica detalhada dos parâmetros que influenciam diretamente o processo FDM, incluindo fluxo de extrusão, altura de camada, temperatura e, especialmente, a importância dos softwares de fatiamento na geração do código G. Essa referência serve de base conceitual para os ensaios realizados neste trabalho, sustentando a hipótese de que ajustes adequados de parâmetros podem eliminar lacunas superficiais nas impressões.

As pesquisas de Lopes (2021) e de Lopes *et al.* (2023), conduzidas na UNESP, fornecem apoio experimental e metodológico sobre o monitoramento de condição e detecção de anomalias em impressoras FDM, utilizando sensores e processamento de sinais. A primeira, uma dissertação de mestrado, detalha os métodos de detecção de falhas durante a impressão, enquanto os artigos subsequentes ampliam essa abordagem, aplicando técnicas de aprendizado de máquina. Essas fontes fortalecem a credibilidade do presente trabalho ao relacionar falhas detectáveis como *gaps* com ajustes de parâmetros e variações no processo.

O site oficial do OrcaSlicer (2023) foi incluído como fonte técnica de referência para o software utilizado nos ensaios experimentais. Ele apresenta informações sobre as funcionalidades, algoritmos de fatiamento e ferramentas de correção de extrusão, justificando a escolha do programa como foco deste estudo comparativo com o *Ultimaker Cura*.

O artigo de Vasudev; Prashar; Bhuddhi (2022) fornece uma visão da manufatura aditiva aplicada à indústria, destacando o potencial da tecnologia FDM pelo baixo custo, versatilidade e capacidade de produção personalizada. Essa obra é importante para demonstrar a relevância industrial da pesquisa, mostrando que o aprimoramento da qualidade superficial das peças está diretamente ligado à adoção de impressoras FDM em processos produtivos reais.

O estudo de Tang e Wu (2023) acrescenta uma perspectiva de monitoramento de qualidade e detecção de falhas em impressão 3D utilizando redes neurais e visão computacional. Embora o foco do presente artigo seja experimental e manual, essa referência reforça a importância de desenvolver metodologias de controle de qualidade baseadas em evidências, como o monitoramento das falhas superficiais do tipo *gap*.

A comunidade *Prusa Printers Forum* (2025) foi utilizada como fonte empírica e técnica para observar relatos de usuários sobre problemas recorrentes com diferentes tipos de filamento, incluindo o PLA Silk. Esses relatos complementam a literatura científica, trazendo uma visão prática das dificuldades enfrentadas por operadores e profissionais no ajuste de parâmetros em softwares distintos de fatiamento.

O fornecedor do *software Ultimaker Cura* (2023) foi incluído por se tratar da principal base comparativa do estudo experimental. O *Ultimaker Cura* é amplamente reconhecido como referência na indústria e na comunidade *maker*, e sua inclusão permite justificar a escolha dos parâmetros equivalentes aplicados no comparativo com o *OrcaSlicer*.

Por fim, o artigo de He *et al.* (2024) foi escolhido por tratar especificamente de monitoramento de condição e detecção de defeitos no processo FDM, analisando o impacto de parâmetros operacionais sobre a formação de falhas. Sua abordagem de revisão sistemática fornece embasamento teórico sobre como a configuração de parâmetros pode influenciar diretamente a ocorrência de *gaps* superficiais, sendo o fenômeno central investigado neste experimento.

### 2.1.1 Ferramenta de Calibração: Cubo de 20mm

O cubo de calibração é um modelo 3D padronizado, geralmente com dimensões conhecidas (por exemplo, 20×20×20 mm), utilizado para avaliar a impressão em impressoras

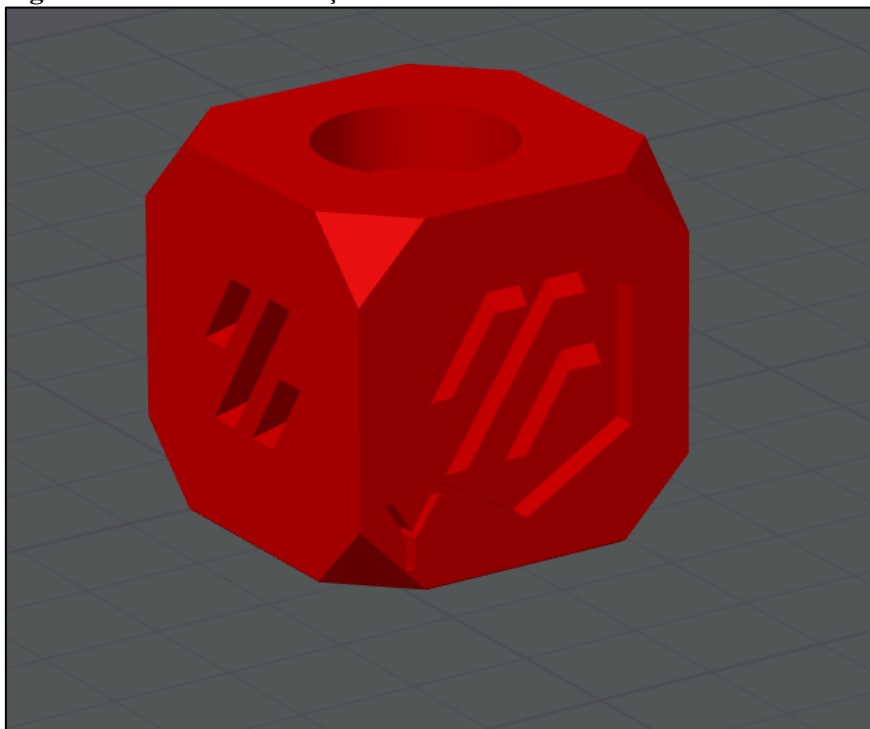
Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

FDM. Ao imprimir esse modelo, é possível identificar variações nas medidas reais em relação às medidas projetadas, permitindo ajustar parâmetros como passos por milímetro (*e-steps*), fluxo de extrusão e compensação de dimensões.

Além da análise dimensional, o cubo de calibração também ajuda a inspecionar o alinhamento das camadas, a presença de *ghosting* (sombras nas superfícies), irregularidades nas paredes e eventuais gaps. No presente estudo, ele foi utilizado em conjunto com o modelo Benchy para avaliar os efeitos das alterações de parâmetros sobre a aderência entre camadas e a uniformidade superficial.

Neste artigo, não serão alvos do experimento as falhas descritas no parágrafo anterior, embora o procedimento possa contribuir indiretamente para a resolução de outras falhas além do *gap*.

**Figura 2** - Cubo de Calibração Nativo do Software OrcaSlicer



Fonte: Elaboração própria (Captura de tela do OrcaSlicer).

### 2.1.2 Ferramenta de Calibração: Torre de Temperatura

A torre de temperatura é um modelo vertical segmentado, no qual cada seção é impressa com uma temperatura de extrusão diferente. Essa ferramenta de calibração permite identificar, de forma visual e funcional, a temperatura ideal para um determinado filamento, observando diretamente o impacto das variações na adesão entre camadas, no acabamento da superfície e em defeitos como extrusão residual entre deslocamentos, baixo fluxo ou deformações.

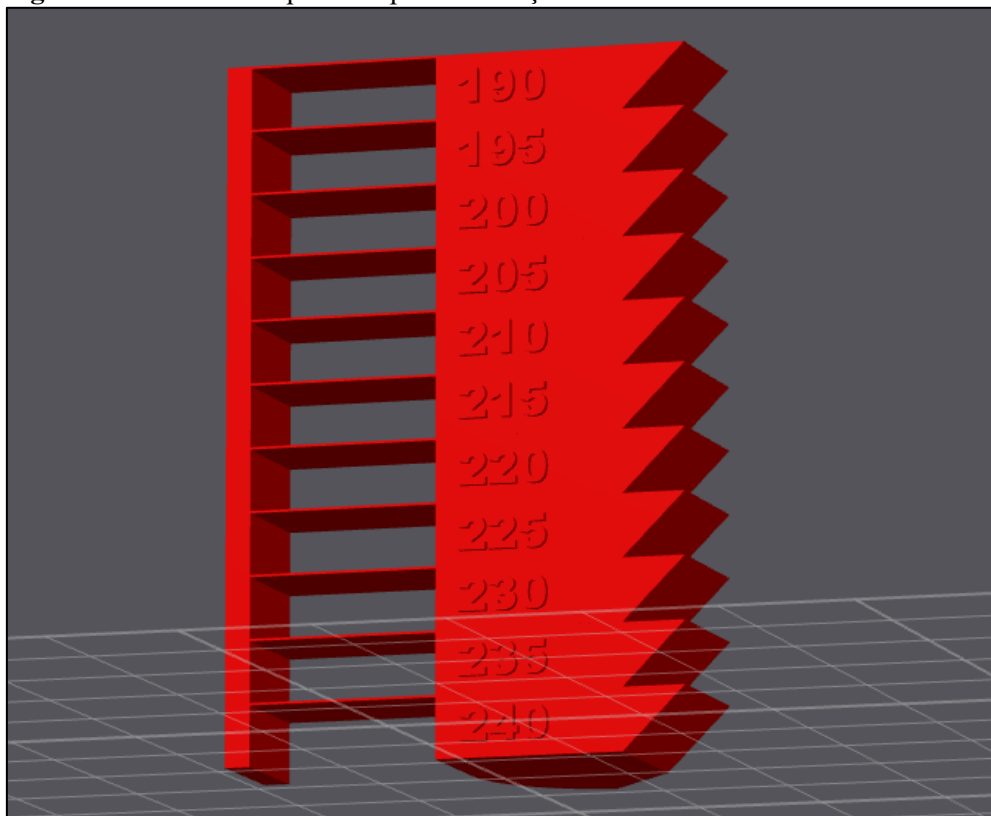
Um exemplo da torre de temperatura utilizada nos ensaios é apresentado na Figura 3.

Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

Baechle-Clayton *et al.* (2022, p. 6) em seu estudo descreve a importância da temperatura de extrusão:

Quando a temperatura de extrusão está acima da faixa recomendada para o filamento, a viscosidade do material se reduz, resultando em uma extrusão instável. Isso produz uma camada que se espalha desnecessariamente e se funde de forma incorreta ao restante da peça. A porosidade e a espessura da camada também são afetadas. No caso em que a temperatura de extrusão é inferior à recomendada, a viscosidade do filamento será maior do que os níveis sugeridos. Isso resultará em uma camada mais espessa e densa, causando uma adesão inadequada entre as camadas (tradução nossa).

**Figura 3** - Torre de temperatura para calibração



Fonte: Elaboração própria (captura de tela do *software* OrcaSlicer).

Além da análise visual, a torre de temperatura também desempenha um papel fundamental na padronização do processo de impressão, permitindo correlacionar diretamente parâmetros térmicos com propriedades físicas e mecânicas da peça. Ao possibilitar a avaliação simultânea de múltiplas temperaturas em uma única impressão, essa ferramenta reduz a necessidade de ensaios repetitivos e otimiza o tempo de calibração do processo.

## 2.2 Materiais e Métodos

### 2.2.1 Equipamento e Local

Os ensaios foram realizados em um laboratório de uma Instituição de Ensino Superior Tecnológico localizada no interior do estado de São Paulo utilizando a impressora GTMax3D Pro Core A2v2, que possui área útil de 220 × 220 × 240 mm, sistema mecânico CoreXY, hotend all-metal (conjunto de aquecimento e fusão do filamento) com capacidade de atingir 298 °C, mesa aquecida de até 135 °C e nivelamento automático multipontos. O sistema de extrusão é

Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

do tipo Bowden, equipado com engrenagens revisadas e ajuste fino de aperto (GTMax3D, 2025).

Antes dos ensaios foram realizados:

- Lubrificação de eixos;
- Reaperto de parafusos,
- Inspeção e limpeza do bico;
- Conferência das engrenagens da extrusora;

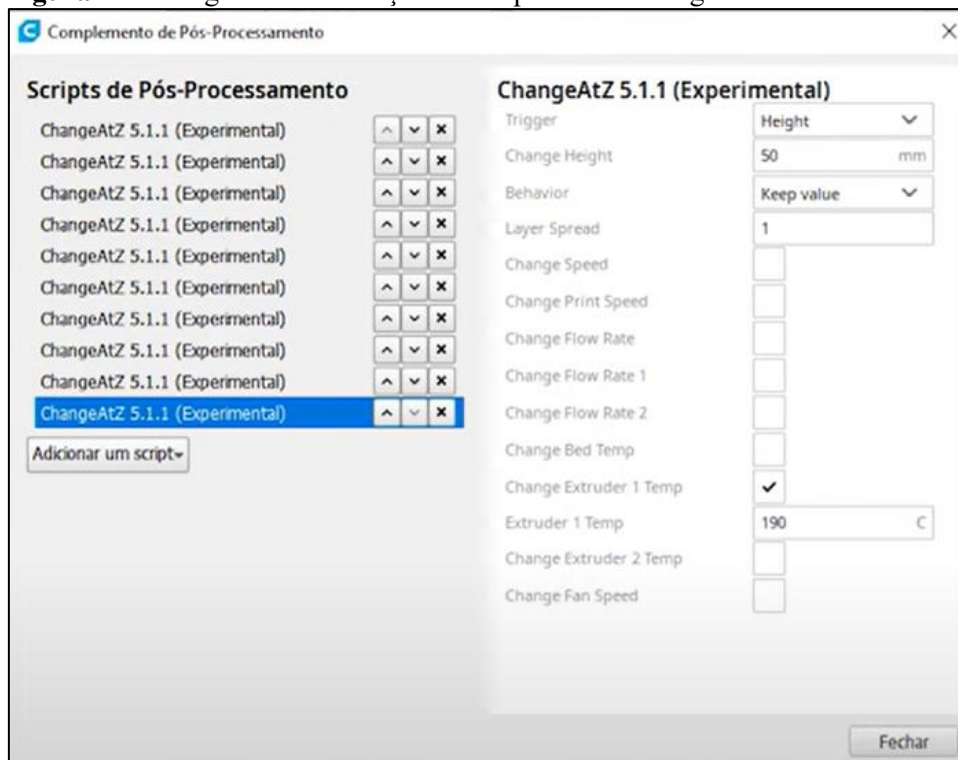
## 2.2.2 Materiais

Utilizou-se o filamento PLA Silk bicolor (preto/dourado) da marca *Conjure*, selecionado por suas características estéticas e pelo desafio técnico que apresenta em função da presença de aditivos que influenciam a fluidez e a adesão entre camadas. Tais comportamentos também são frequentemente relatados em comunidades especializadas de impressão 3D, como a *Prusa Printers Forum*, onde usuários descrevem maior incidência de falhas superficiais e necessidade de ajustes específicos de extrusão em filamentos do tipo *Silk PLA* (Prusa Reserach, 2025).

Para determinar a faixa ideal de temperatura de extrusão do filamento PLA Silk bicolor, utilizou-se uma torre de temperatura, modelo de calibração com variação térmica controlada ao longo do eixo Z, permitindo avaliar o comportamento do material em diferentes níveis de aquecimento e identificar a condição mais estável de adesão entre camadas.

No software Ultimaker Cura, aplicou-se a ferramenta de Pós-processamento disponível no menu “Extensões > Scripts de Pós-processamento > Adicionar Script > ChangeAtZ”.

**Figura 4** - Configurando a variação da temperatura ao longo do eixo Z



Fonte: Produção própria (captura de tela do software OrcaSlicer).

O script foi configurado na aba *Change Height*, com a opção *Change Extruder Temp* habilitada, e aplicado repetidamente para cada patamar de temperatura, reduzindo em 5 °C a cada 5 mm no eixo Z.

Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

A impressão iniciou a 240 °C no primeiro segmento e foi decrementada gradualmente até atingir 190 °C no topo da torre.

**Figura 5** - Torre de temperatura (240–190 °C)



Fonte: Elaboração própria, captura de foto após torre impressa.

Na Figura 5, observa-se excesso de material e forte ocorrência de *stringing* (formação de fios finos entre regiões da peça devido ao deslocamento da *hotend*) nas camadas inferiores da torre de temperatura, correspondentes às faixas mais elevadas (240–225 °C). Nessa região, nota-se arredondamento das bordas e fusão parcial entre as aletas, indicando extrusão excessiva e viscosidade reduzida do material. Entre 220 °C e 200 °C, verificou-se uma redução progressiva do *stringing* e melhoria do acabamento superficial, mantendo-se adequada a adesão entre camadas. Na faixa de 200 °C a 195 °C, obteve-se o melhor equilíbrio entre qualidade visual e coesão estrutural. Já entre 195 °C e 190 °C, a peça manteve boa uniformidade e adesão, sem indícios de subextrusão. Com base nessa análise, definiu-se 200 °C como a temperatura ideal de extrusão para os testes subsequentes com o modelo de cubo de calibração.

### 2.2.3 Softwares

Para fatiamento, foram utilizados os *softwares*:

- OrcaSlicer – foco do estudo por apresentar falhas de *gap*;
- Ultimaker Cura – referência de parâmetros que não apresentaram *gap*.

### 2.2.4 Parâmetros Testados

Para a eliminação dos gaps observados nas impressões iniciais com o PLA Silk bicolor no OrcaSlicer, adotou-se uma abordagem baseada no ajuste controlado dos parâmetros de processo. O objetivo foi identificar a combinação de parâmetros capazes de proporcionar

acabamento uniforme e boa adesão entre camadas, mantendo a qualidade dimensional. As modificações foram aplicadas de forma gradual e avaliadas individualmente e em conjunto, conforme segue tabela 1.

De acordo com Kristiawan *et al.* (2021), a velocidade de impressão exerce influência significativa na aderência entre camadas e na precisão dimensional. Velocidades elevadas reduzem o tempo de fusão entre extrusões consecutivas, ocasionando a formação de lacunas ou baixa coesão entre camadas, enquanto velocidades muito baixas podem gerar superaquecimento e excesso de material. Os autores ressaltam que o ajuste equilibrado das velocidades externas, internas e de preenchimento é essencial para garantir uniformidade e estabilidade dimensional. Com base nessas considerações, optou-se por manter a mesma velocidade de impressão nas comparações entre os fatiadores, a fim de isolar a influência dos demais parâmetros analisados e por julgar que não seja um fator determinante neste caso para o surgimento dos gaps.

Vasudev; Prashar; Bhuddhi (2022) e Tang e Wu (2023) discutem que a altura de camada influencia diretamente a qualidade superficial e a precisão geométrica. Camadas mais espessas reduzem o tempo de impressão, mas aumentam a rugosidade e diminuem a fidelidade de detalhes, enquanto camadas mais finas melhoram o acabamento, porém demandam maior controle térmico.

A largura de extrusão, segundo Kristiawan *et al.* (2021), afeta o grau de sobreposição entre trajetórias, e, portanto, a coesão estrutural. Um valor mal ajustado pode resultar em falta de união entre linhas (gaps) ou excesso de material entre camadas.

Baechle-Clayton *et al.* (2022) descrevem que a subextrusão é uma das principais causas de gaps superficiais em peças FDM, podendo ocorrer por fluxo insuficiente ou trajetórias mal definidas no fatiamento. Por outro lado, a sobre extrusão pode gerar excesso de material, distorção e perda de detalhes finos. Os autores indicam que a calibração cuidadosa do flow rate e da largura de extrusão é determinante para garantir densidade adequada e união entre camadas, o que fundamenta os ajustes realizados neste trabalho (de 92 % para 100 % de fluxo e de 10 % para 25 % de sobreposição).

Os estudos de Lopes *et al.* (2023), baseados em monitoramento de condição, apontam que a retração é um dos fatores mais sensíveis na estabilidade da extrusão. Retrações excessivas podem causar interrupções momentâneas no fluxo e originar lacunas ou descontinuidade de filamento, enquanto retrações curtas favorecem formação de fios finos (*stringing*). A velocidade de retração, segundo o mesmo autor, deve ser ajustada de forma a equilibrar o controle de pressão no bico e evitar ruídos ou variações no padrão de deposição exatamente o que foi considerado neste experimento ao se adotar retração de 4 mm a 35 mm/s.

Tang e Wu (2023) também discutem o impacto da trajetória de costura (*seam alignment*) no acabamento visual. Eles observam que o posicionamento aleatório da costura, embora distribua marcas visuais, pode gerar micro defeitos em regiões externas, já o alinhamento controlado tende a uniformizar o padrão superficial e reduzir falhas de sobreposição. Essa observação respalda a opção pelo modo “Alinhada” adotado neste estudo no OrcaSlicer.

Kristiawan *et al.* (2021) enfatizam que o padrão e a densidade de preenchimento afetam tanto a resistência mecânica quanto a integridade superficial. Preenchimentos desativados ou padrões inadequados podem deixar vazios internos perceptíveis na superfície, enquanto o uso de estratégias automáticas de gap *filling* reduz lacunas em regiões estreitas.

A ativação desse recurso no OrcaSlicer, conforme implementado neste trabalho, segue as recomendações desses autores, permitindo melhor compactação das linhas de extrusão e eliminação dos espaços irregulares observados nos testes iniciais.

Os estudos consultados convergem para a conclusão de que a otimização simultânea dos parâmetros de velocidade, fluxo, retração, sobreposição e preenchimento é determinante para a qualidade visual e estrutural das peças FDM. Assim, os ajustes aplicados neste experimento, baseados nas evidências de Kristiawan *et al.* (2021), Baechle-Clayton *et al.*

(2022), Lopes *et al.* (2023) e Tang e Wu (2023), configuram uma abordagem fundamentada para a redução de gaps superficiais e o aperfeiçoamento do desempenho do OrcaSlicer frente ao Ultimaker Cura.

**Tabela 1** – Ajustes controlados realizados com base no experimento e relato dos autores

Parâmetro	Ultimaker Cura	OrcaSlicer (Ajustado)
Velocidade de Impressão (Padrão)	60 mm/s	60 mm/s
Velocidade Paredes Externas	40 mm/s	40 mm/s
Velocidade Paredes Internas	60 mm/s	60 mm/s
Velocidade Preenchimento (Infill)	80 mm/s	80 mm/s
Velocidade Travel	150 mm/s	150 mm/s
Fluxo de Extrusão (Flow Rate)	92 %	100 %
Sobreposição de Extrusão	10 %	25 %
Altura da Camada	0,20 mm	0,20 mm
Largura de Extrusão	0,42 mm	0,42 mm
Retração	4,5 mm	4,0 mm
Velocidade de Retração	35 mm/s	35 mm/s
Configuração da Costura (Seam)	Aleatória	Alinhada
Preenchimento de Vãos (Gap Filling)	Desativado	Ativado
Padrão de Preenchimento	Linhas	Linhas
Densidade de Preenchimento	15 %	15 %

Fonte: Elaboração própria, tabela dos ajustes feitos no experimento.

A comparação entre as configurações do *Ultimaker Cura* e as do *OrcaSlicer* evidencia que as modificações aplicadas foram decisivas para a eliminação dos *gaps* superficiais observados nas primeiras impressões. Entre os ajustes, destacam-se:

- Fluxo de Extrusão (*Flow Rate*): o aumento de 92% para 100% no OrcaSlicer foi determinante para garantir a deposição adequada de material, melhorando a coesão entre as linhas e reduzindo falhas visuais.
- Sobreposição de Extrusão: o incremento de 10% para 25% contribuiu para eliminar espaços entre perímetros e preenchimentos, assegurando maior uniformidade nas paredes.
- Configuração da Costura (*Seam*): a alteração de aleatória para alinhada proporcionou melhor controle do ponto inicial de cada camada, concentrando eventuais imperfeições em uma região específica e minimizando sua percepção no conjunto da peça.
- Preenchimento de Vãos (*Gap Filling*): a ativação dessa função no OrcaSlicer permitiu preencher áreas estreitas que, antes, permaneciam parcialmente vazias, o que foi um dos fatores mais relevantes na eliminação do problema estudado.
- Retração: a leve redução do deslocamento de retração (de 4,5 mm para 4,0 mm) reduziu riscos de subextrusão localizada, comum em filamentos PLA Silk devido à sua fluidez diferenciada.

Em conjunto, esses ajustes possibilitaram que as impressões realizadas no *OrcaSlicer* atingissem qualidade visual e dimensional comparável às obtidas no *Ultimaker Cura*, confirmando que o problema não estava relacionado ao filamento ou ao hardware, mas à forma como o fatiador processava o código G. Essa constatação vai ao encontro de relatos da comunidade, nos quais usuários frequentemente atribuem falhas ao material ou à impressora, sem considerar a influência do software de fatiamento.

## 2.2.5 Procedimento

### 2.2.5.1 Impressão inicial no OrcaSlicer

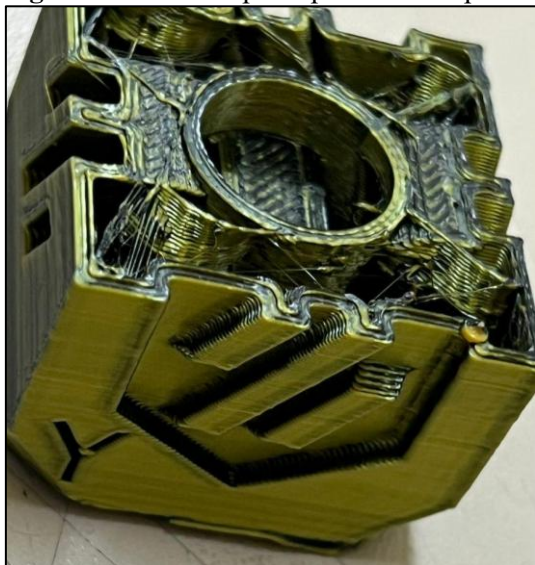
Foi realizada inicialmente a impressão de uma peça de decoração, Figura 1, no software *OrcaSlicer*, utilizando as configurações padrão copiadas diretamente do *Ultimaker Cura*, sem qualquer modificação nos parâmetros. Essa primeira impressão teve como objetivo reproduzir as condições nas quais a falha já havia sido observada, permitindo registrar a ocorrência natural dos defeitos do tipo *gap*. Durante a análise visual, constatou-se a presença de gaps evidentes nas paredes internas e externas da peça, principalmente em áreas de maior deslocamento de extrusão e nas regiões com preenchimento próximo às bordas. Além disso, foram registradas a localização, frequência e gravidade dessas falhas, servindo como referência para as etapas seguintes de ajuste de parâmetros e comparação entre os dois softwares.

### 2.2.5.2 Impressão do Cubo de Calibração na Impressora 3D

O modelo de cubo de calibração ( $20 \times 20 \times 20$  mm) foi impresso no software *Ultimaker Cura*, utilizando as configurações (*presets*) fornecidos pelo fabricante e posteriormente foram inseridos no software *OrcaSlicer*. Essa etapa teve como objetivo servir como referência comparativa, permitindo avaliar o desempenho do fatiador com as configurações padrões.

Como resultado, Figura 6, não foram observadas falhas do tipo *gap*, tanto nas paredes externas quanto internas (preenchimento).

**Figura 6** - Amostra principal: Cubo impresso no software Cura



Fonte: Elaboração própria, captura de foto de cubo impresso.

### 2.2.5.3 Sequência de ensaios no OrcaSlicer

Foram conduzidos ensaios sistemáticos no *OrcaSlicer* com a finalidade de identificar quais ajustes de parâmetros impactaram de forma mais significativa a ocorrência de *gaps* entre camadas. O procedimento adotado consistiu inicialmente na variação isolada de cada parâmetro previamente mapeado em “Materiais e Métodos” como velocidade de impressão, fluxo de extrusão (*flow rate*), sobreposição de extrusão (*infill/perimeter overlap*), distância e velocidade de retração, tipo de costura (*seam*), ativação do preenchimento de vãos (*gap filling*) e padrão/densidade de preenchimento.

A Figura 7, demonstra uma das amostras impressas após sucessivos testes dos parâmetros citados. Na Figura, os *gaps* foram preenchidos com a ativação do parâmetro de preenchimento de vão.

**Figura 7** - Gaps na superfície do cubo de calibração



Fonte: Elaboração própria, captura de foto de bloco impresso completo.

Na Figura 8, nota-se um melhor acabamento da superfície, mas ainda com pequenos gaps visíveis.

Na segunda etapa, foram implementadas combinações estratégicas de parâmetros, buscando verificar efeitos sinérgicos. Essa abordagem permitiu identificar que, embora um ajuste isolado pudesse trazer melhoria parcial, a eliminação completa dos *gaps* só foi alcançada quando determinados parâmetros foram otimizados em conjunto por exemplo, a sobreposição de extrusão associada à ativação do preenchimento de vãos e ajustes finos no fluxo de extrusão.

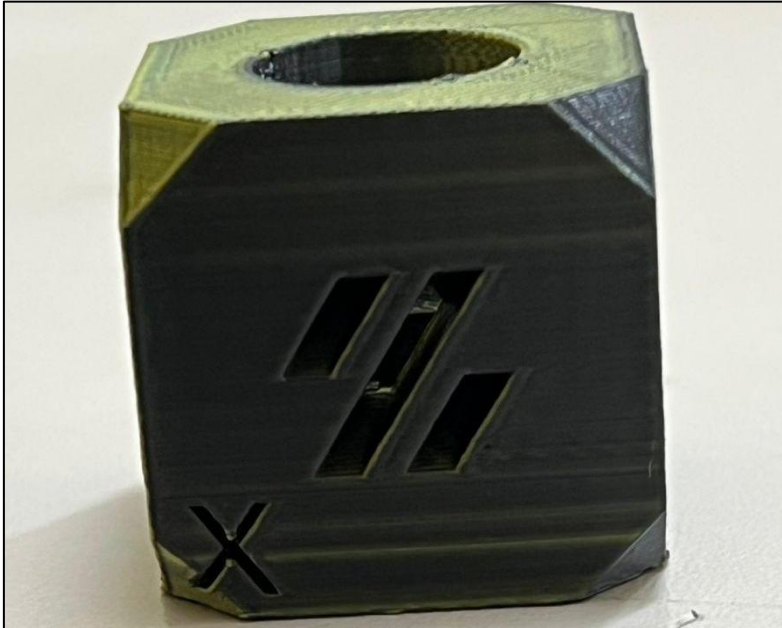
**Figura 8** - Diminuição significativa dos GAPS



Fonte: Elaboração própria captura de tela do bloco com ajustes dos parâmetros.

Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

**Figura 9** - Amostra final sem gaps superficiais



Fonte: Elaboração própria, captura de foto de cubo sem defeitos superficiais.

Ao final, esse método incremental e comparativo forneceu uma base sólida para determinar o conjunto de configurações, figura 9, que reproduziu no *OrcaSlicer* a mesma qualidade obtida no *Ultimaker Cura*, sem a presença dos defeitos.

## 2.3 Resultados e discussões

Os ensaios iniciais realizados com o *OrcaSlicer*, utilizando configurações copiadas do *Ultimaker Cura* fornecidas pelo fabricante da impressora, evidenciaram a ocorrência de *gaps* aleatórios e irregulares entre camadas, especialmente nas superfícies laterais das peças impressas. Esses defeitos foram observados no modelo cubo de calibração, comprometendo o acabamento estético e a integridade mecânica da peça.

Na comparação entre os cubos produzidos pelo *Ultimaker Cura* e pelo *OrcaSlicer*, sob parâmetros idênticos de impressão, constatou-se a ausência de *gaps* nas peças fatiadas pelo *Ultimaker Cura*. Esse resultado reforça a hipótese de que o *OrcaSlicer*, em sua configuração padrão, apresenta ajustes de extrusão e sobreposição menos otimizados para o filamento PLA *Silk* bicolor utilizado neste estudo.

### 2.3.1 Observações visuais

- *OrcaSlicer* (configuração inicial):
  - Presença de *gaps* nas paredes laterais;
  - Pequenas falhas de preenchimento em áreas estreitas;
  - Costura perceptível e irregular devido à configuração “Aleatória”;
  - Pequena subextrusão identificada pelo aspecto translúcido em algumas linhas.
- *Ultimaker Cura* (referência):
  - Superfícies laterais uniformes;
  - Ausência de *gaps*;
  - Costura discreta e alinhada;
  - Boa fusão entre perímetros e preenchimento.

### 2.3.2 Impacto dos ajustes no OrcaSlicer

Após a aplicação das alterações nos parâmetros, os resultados obtidos mostraram melhora significativa:

- Sobreposição de extrusão: o aumento de 10 % para 20 % reduziu visivelmente os *gaps* ao promover maior fusão entre perímetros e *infill*.
- Fluxo de extrusão: o incremento de 92 % para 100 % eliminou a subextrusão e aumentou a consistência das linhas depositadas.
- Retração: a redução de 4,5 mm para 4,0 mm diminuiu interrupções no fluxo, suavizando a superfície.
- Costura: a mudança de “Aleatória” para “Alinhada” concentrou a marca de início/fim da extrusão em um único ponto, tornando-a mais previsível e menos perceptível.
- Preenchimento de vãos (*Gap Filling*): eliminou falhas em áreas estreitas que anteriormente ficavam parcialmente abertas.

### 2.3.3 Comparação final

Com os ajustes aplicados, às peças produzidas no *OrcaSlicer* apresentaram qualidade visual e dimensional equivalente às impressas com o *Ultimaker Cura*. No cubo de calibração, as medidas ficaram dentro da tolerância.

Esses resultados confirmam que a falha de *gap* estava relacionada à configuração inicial de parâmetros no *OrcaSlicer* e não a limitações do equipamento ou do filamento utilizado. Os ajustes documentados podem ser replicados por outros usuários para melhorar a qualidade das impressões, especialmente quando se trabalha com filamentos PLA Silk, que demandam maior atenção à calibração.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento realizado demonstrou que a falha conhecida como *gap*, caracterizada por espaçamentos irregulares entre camadas estava diretamente relacionada à configuração inicial dos parâmetros no *OrcaSlicer* ao utilizar o filamento PLA Silk bicolor na impressora GTMax3D Pro Core A2v2.

Os testes comparativos com o *Ultimaker Cura* evidenciaram que, nas mesmas condições, este não apresentou a falha, confirmando que o problema não estava vinculado ao equipamento ou ao filamento, mas sim aos ajustes adotados no fatiador.

A partir de ensaios sucessivos e controlados, foram identificados parâmetros críticos que influenciam significativamente a ocorrência de *gaps*, como sobreposição de extrusão, fluxo de extrusão, retração, configuração da costura e ativação do preenchimento de vãos. A aplicação das modificações propostas resultou em impressões no *OrcaSlicer* com qualidade visual e dimensional equivalente às obtidas no *Cura*, eliminando o defeito e garantindo maior uniformidade superficial.

Na comunidade de impressão 3D, a ocorrência de *gaps* em impressões 3D é frequentemente associada à qualidade do filamento ou a problemas mecânicos na impressora, como folgas no sistema de extrusão, desgaste do bico ou desajustes nos eixos.

Entretanto, os resultados obtidos neste estudo evidenciam que, embora tais fatores possam contribuir para falhas de impressão, ajustes precisos de parâmetros no fatiador podem ser suficientes para corrigir o problema, mesmo utilizando o mesmo filamento e sem alterações estruturais no equipamento.

Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

Vale ressaltar que o experimento se limitou à utilização de uma única impressora e de um único tipo de filamento (PLA *Silk* bicolor), não abrangendo a diversidade de equipamentos disponíveis no mercado, diferentes arquiteturas de extrusão e variações construtivas de *hotends*.

Além disso, não foram investigadas em profundidade as diferenças estruturais entre softwares de fatiamento, como os algoritmos de geração de trajetória e processamento de código G frequentemente baseados em firmwares e lógicas distintas, restringindo-se a análise às ferramentas disponíveis no momento do experimento.

Conclui-se que o ajuste fino de parâmetros é fundamental para obter impressões de alta qualidade, especialmente com filamentos de características específicas como o PLA *Silk*. Os procedimentos documentados neste trabalho podem servir como referência para outros operadores e pesquisadores, contribuindo para a disseminação de boas práticas na calibração e configuração de impressoras 3D FDM.

Em síntese, esse estudo experimental aplicado reforça a importância de trabalhos experimentais que abordem falhas comuns da manufatura aditiva, oferecendo soluções práticas e replicáveis que fortalecem a comunidade técnica e científica da área.

## REFERÊNCIAS

BAECHLE-CLAYTON, M.; LOOS, E.; TAHERI, M.; TAHERI, H. Failures and flaws in fused deposition modeling (FDM) additively manufactured polymers and composites.

**Journal of Composites Science**, v. 6, n. 202, 2022. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/jcs6070202>. Acesso em: 20 ago. 2025.

HE, H. et al. Machine condition monitoring for defect detection in fused deposition modelling process: a review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 132, p. 3149–3178, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13630-8>.

Acesso em: 22 set. 2025.

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Impressora 3D GTMax3D Core A2v2: especificações técnicas**. Disponível em:

<https://sipac.ifes.edu.br/public/verArquivoDocumento?downloadArquivo=true&idArquivo=3033901&idDocumento=1360911&key=0e8f1d1cfaf07f1e852a430011179a6a&publicPath=true>. Acesso em: 13 ago. 2025.

KRISTIAWAN, R. B.; IMADUDDIN, F.; ARIAWAN, D.; UBAIDILLAH; ARIFIN, Z. A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: filament processing, materials, and printing parameters. **Open Engineering**, v. 11, p. 639–649, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>. Acesso em: 13 ago. 2025.

LOPES, Thiago Glissoi. **Deteção e classificação de anomalias durante o processo de manufatura aditiva por fusão e deposição por meio de transdutores piezelétricos e processamento de sinais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) —

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2021.

Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/69208184-722e-4d1b-8256-a81c97de23d0>.

Acesso em: 13 ago. 2025.

Investigação experimental de falhas superficiais em impressões 3D por modelagem por deposição fundida: influência do fatiador e ajuste de parâmetros na qualidade de impressão sob condições equivalentes.

LOPES, T. G.; AGUIAR, P. R.; MONSON, P. M. de C.; D'ADDONA, D. M.; CONCEIÇÃO J., P. O.; JUNIOR, O. R. G. Machine condition monitoring in FDM based on electret microphone, SVM, and neural networks. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 129, n. 3-4, p. 1769–1786, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12375-0>. Acesso em: 14 ago. 2025.

LOPES, T. G.; AGUIAR, P. R.; JUNIOR, C. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. G. de; MONSON, P. M. C.; DAVID, G. A. Study of the Temperature Influence on an Electret Microphone in the Monitoring of Fused Deposition Modeling. **Engineering Proceedings**, v. 58, n. 1, p. 64, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ecsa-10-16041>. Acesso em: 13 ago. 2025.

MEHRPOUYA, M.; DEGHANGHADIKOLAEI, A.; FOTOVVATI, B.; VOSOOGHNIA, A.; EMAMIAN, S. S.; GISARIO, A. The potential of additive manufacturing in the smart factory industrial 4.0: a review. **Applied Sciences**, v. 9, n. 18, p. 3865, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9183865>. Acesso em: 13 ago. 2025.

ORCASLICER. *Orca Slicer: software de fatiamento 3D*. SoftFever, 2025. Disponível em: <https://orca-slicer.com/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

PRUSA RESEARCH. **Prusa Printers Forum – Printables Community**. Disponível em: <https://forum.printables.com>. Acesso em: 18 set. 2025.

TANG, J.; WU, X. A quality assessment network for failure detection in 3D printing for future space-based manufacturing. **Sensors**, v. 23, n. 10, p. 4689, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23104689>. Acesso em: 20 set. 2025.

ULTIMAKER. **Ultimaker Cura: software de fatiamento 3D**. Ultimaker B.V., Utrecht, [2023]. Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>. Acesso em: 13 ago. 2025.

VASUDEV, H.; PRASHAR, G.; BHUDDHI, D. Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in industry 4.0. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12008-022-00956-4>. Acesso em: 13 ago. 2025.