

SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO MÚLTIPLA PARA CUBEX TRIO

Ronney Peterson Ribeiro Baltazar, ronney.peterson@unifesspa.edu.br¹

Wesley Ferreira Da Silva, wesley.ferreira@unifesspa.edu.br²

Tanaco de Nascimento Lima, Lima27.t@unifesspa.edu.br³

Wilson Rocha da Silva, wilson.rocha@unifesspa.edu.br⁴

Liesel Eulaia Cerna Nahuis, liesel.cerna@unesp.br⁵

Pedro Christian Ayala Castillo, pedro.ayala@unifesspa.edu.br⁶

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, s/n.o - Nova Marabá, PA, 68505-080

²Departamento de Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista (UNESP) Ilha Solteira, SP, 15385-000

Resumo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Sistema de Alimentação Múltipla adaptado à impressora 3D Cubex Trio, que possui três extrusores baseado em sistemas de alimentação de materiais de três marcas reconhecidas, o sistema busca uma alternativa simplificada e econômica, mantendo confiabilidade e integração com o equipamento original. São propostos compartimentos selados com controle de umidade, sensores de nível e alimentação assistida por tubos de PTFE de baixa fricção e mecanismos de tensão constante. O sistema também inclui monitoramento do consumo de filamento, com detecção de falhas e integração ao firmware da impressora, permitindo pausas automáticas. O projeto é compatível com a câmara térmica da Cubex Trio, protegendo os filamentos sem comprometer o acesso. A proposta se mostra eficaz como solução intermediária entre sistemas manuais e automáticos de alimentação, aproveitando a capacidade nativa de extrusão múltipla da impressora .

Palavras chave: Impressão 3D; Multi-extrusora; Sistema de alimentação; AMS; Automação de filamento; Cubex Trio.

Abstract. This work presents the development of a Multiple Feeding System adapted to the Cubex Trio 3D printer, which has three extruders based on material feeding systems from three well-known brands. The system seeks a simplified and economical alternative, while maintaining reliability and integration with the original equipment. Sealed compartments with humidity control, level sensors and feeding assisted by low-friction PTFE tubes and constant tension mechanisms are proposed. The system also includes filament consumption monitoring, with fault detection and integration with the printer's firmware, allowing automatic pauses. The project is compatible with the Cubex Trio's thermal chamber, protecting the filaments without compromising access. The proposal shows an effective solution as the interaction between manual and automatic feeding systems, taking advantage of the printer's native multiple extrusion capability.

Keywords: 3D printing; Multi-extruder; Feeding system; AMS; Filament automation; CubexTrio.

1. INTRODUÇÃO

A impressão 3D tem avançado de forma expressiva nas últimas décadas, sobretudo com o advento de tecnologias de extrusão múltipla que permitem a deposição simultânea de diferentes materiais ou cores em um mesmo objeto. Nesses sistemas, o gerenciamento eficiente do filamento — incluindo armazenamento, alimentação e monitoramento — é determinante para assegurar a qualidade das peças produzidas. A Cubex Trio, ao incorporar três extrusores independentes e câmara térmica integrada, oferece uma plataforma promissora para adaptações nesse sentido.

O Automatic Material System (AMS) tem servido como principal referência por sua capacidade de alternar entre múltiplos filamentos de forma automatizada e com baixo índice de falhas. Entretanto, sua implementação direta em impressoras não originalmente concebidas para esse fim pode implicar elevados custos, ajustes complexos no firmware e desafios mecânicos de compatibilidade. Além das características mecânicas e de detecção de umidade, o consumo elétrico do AMS alcança até 72 W em pico de operação máxima, um parâmetro crucial para o dimensionamento de fontes de alimentação dedicadas.

Algumas soluções de mercado também têm servido como complemento neste trabalho. Por exemplo, o sistema Creality CFS (Creality Filament System) demonstra como compor um conjunto compacto de alimentação com controle simplificado de mudanças de materiais, enquanto o módulo RMU MK3 da Prusa (Prusa Multi-Material Upgrade para a MK3) evidencia a viabilidade de gerenciar até cinco filamentos em um mecanismo de alimentação integrado ao firmware. Essas abordagens ressaltam a importância de combinar modularidade, facilidade de uso e baixo custo de implementação, servindo como base para a concepção de uma solução que preserve a confiabilidade e a integração nativa da Cubex Trio.

O objetivo deste trabalho é propor uma alternativa econômica de um sistema de alimentação, comparável em desempenho aos sistemas comerciais, capaz de utilizar outros tipos de filamento sem a necessidade de detectores de cartucho, operando com controle ativo de umidade ($\leq 5\% \text{ RH}$), redução de torque em tubos Bowden curvos e melhoria na eficiência operacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação une teoria e requisitos práticos para cada subsistema, garantindo transição direta à prototipagem.

Os sistemas de alimentação Bowden, amplamente empregados em impressoras FFF, utilizam conduítes de PTFE para guiar o filamento até o extrusor. Estudos relatam que curvas acentuadas e comprimentos extensos desses tubos elevam significativamente o atrito interno, exigindo maior torque do motor de passo e podendo comprometer a estabilidade dimensional das peças impressas (Wevolver Editorial, 2023). Para minimizar essas variações, recomenda-se otimizar o raio de curvatura dos conduítes e reduzir trechos excessivamente longos, assegurando fluxo de filamento mais uniforme.

O controle ativo de umidade também é crucial para preservar as propriedades mecânicas do filamento. Sistemas equipados com módulos Peltier e sensores de umidade conseguem remover vapor d'água mais rapidamente que métodos convencionais, mantendo a umidade relativa interna abaixo de níveis críticos (Lee et al., 2020). Ensaios com PLA demonstram que filamentos expostos a altas taxas de umidade apresentam queda significativa na resistência à tração e aumento da plasticidade, enquanto materiais secados de forma eficaz recuperam suas características originais (Hamid, 2022).

Além disso, o emprego de mecanismos de controle de tensão ao longo do trajeto do filamento — como tensores mecânicos com molas de pré-carga ou *idle*s — é essencial para compensar as variações de atrito nos conduítes Bowden. Manter o filamento sob tensão constante evita deslizamentos e interrupções na alimentação, especialmente em trechos curvos ou extensos (Wevolver Editorial, 2023). Estudos indicam que um tensionador bem projetado melhora a repetibilidade dimensional em impressões longas, reduzindo oscilações na deposição de material e garantindo maior confiabilidade em materiais flexíveis ou compostos.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema de alimentação múltipla baseia-se em uma abordagem experimental, iterativa e modular. O projeto foi conduzido com foco na integração com a impressora 3D Cubex Trio, respeitando suas limitações estruturais e operacionais, bem como os requisitos específicos da câmara térmica existente. A metodologia foi dividida em três fases principais: Desenho conceitual, Modelagem do Sistema de alimentação e Integração do sistema. Conforme apresentado na Figura. 1.

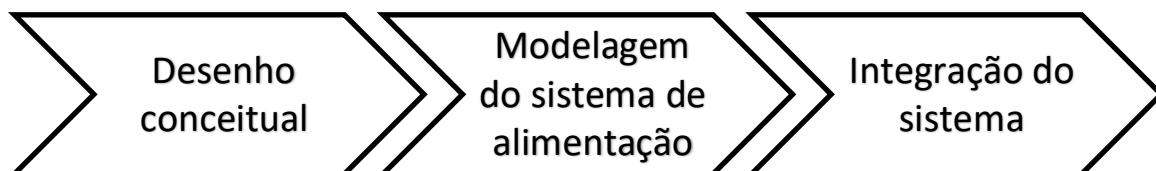


Figura 1 – Fluxograma da Metodologia.

A proposta levou em conta o tipo de filamento atualmente utilizado (PLA), além de buscar integrar outros tipos de filamentos ainda não utilizados, como o ABS. O projeto também busca a manutenibilidade e modularidade do sistema — ou seja, ele deveria ser facilmente replicável, adaptável e de baixo custo para fabricação digital ou uso doméstico/industrial. Além disso, buscou-se um equilíbrio entre funcionalidade automatizada e controle manual assistido, visando oferecer ao operador autonomia sem exigir modificações invasivas na impressora original.

3.1. Desenho conceitual

Nesta fase inicial, foram estabelecidas as bases do projeto, iniciando-se pela avaliação inicial das limitações e potencialidades da Cubex Trio, apresentada na Fig. 2 (a) e (b), com ênfase em sua arquitetura de três extrusores e câmara térmica integrada. Em seguida, conduziu-se um brainstorm multidisciplinar, reunindo ideias de melhoria de armazenamento, controle de umidade e sensores de monitoramento. A partir deste levantamento, realizou-se uma análise de viabilidade técnica e econômica, comparando soluções comerciais (como AMS da Bambu Lab e a CFS da Creality). Por fim, efetuou-se a escolha de alternativa baseada em critérios de complexidade de implementação e compatibilidade com o firmware existente, definindo o conceito geral do sistema de alimentação múltipla que seria prototipado.



Figura. 2 - Impressora CUBEX TRIO a ser aprimorada, (a)Interior, (b)Carcaça.

A Figura 3 mostra a impressora original CubexTrio seu compartimento de filamento montado, tais compartimentos possuem sensores que utilizam chips integrados em cada cartucho, que comunicam à máquina o tipo de filamento e a quantidade restante, esta funcionalidade impede a utilização de rolos externos. Uma das considerações deste trabalho será desenvolver uma forma de ignorar essa funcionalidade, de modo a permitir o uso de múltiplos rolos genéricos enquanto se mantém a alimentação estável por meio de buffers mecânicos.

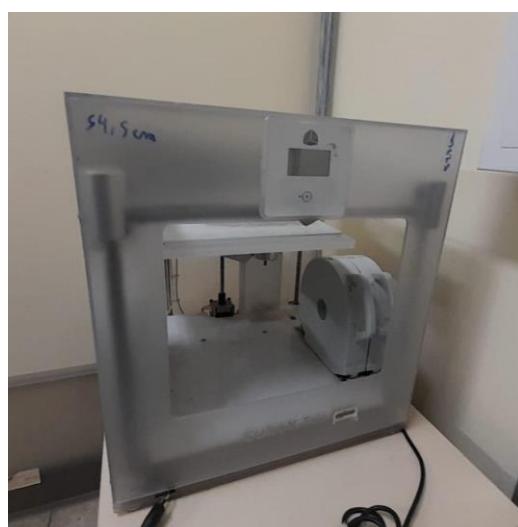


Figura 3 – Impressora CUBEXTRIO com o compartimento do filamento

, A principal diferença em relação ao modelo AMS da Bambu Lab está na remoção do hub de filamento interno. Neste projeto, o fluxo de passagem de filamento idealizado terá os rolos de material montados diretamente nos suportes de bobina do sistema de alimentação e acoplados ao alimentador de primeiro estágio (primary-stage feeder), conforme ilustrado na Fig. 4(a). A partir daí, o filamento segue até o buffer - um mecanismo capaz de controlar a tensão e torque do filamento, mostrado na Fig. 3(b) — antes de ser encaminhado à entrada do extrusor, representada na Fig. 4(c), onde ocorrerá a impressão.

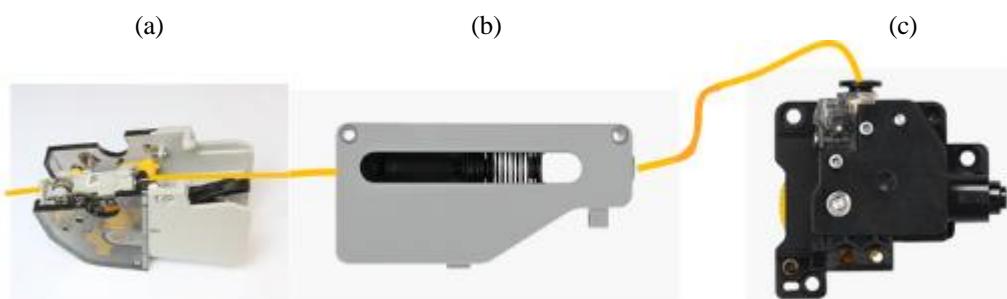


Figura. 4 – Fluxo de passagem do filamento(Esquerda à direita), (a)Alimentador de primeiro estágio, (b)deslizador da AMS, (c)Extrusor.

3.2 Modelagem e Integração

Com o conceito validado, iniciou-se a modelagem 3D do protótipo do sistema de alimentação múltipla no Autodesk Fusion 360, avaliando interferências, tolerâncias e ergonomia da estrutura, e selecionando materiais plásticos reforçados para compartimentos e gavetas de silicone nas vedações das passagens, minimizando absorção de umidade. Paralelamente, definiu-se o layout dos componentes mecânicos principais: guias PTFE, e tensores de filamento para manter tensão constante, conforme descrito na seção 3.1.

Em seguida, projetou-se um suporte específico para acomodar o conjunto de alimentação na parte superior da Cubex Trio, aproveitando pontos de fixação existentes na carcaça da impressora para garantir estabilidade e alinhamento dos rolos de filamento com o alimentador de primeiro estágio.

Para viabilizar a alimentação contínua durante trocas de bobina ou resistências no tubo PTFE, incorporou-se o DLD Filament Buffer adaptado para 3 caminhos, apresentado na Fig. 5(a), que armazena uma reserva controlada de filamento por meio de rodas em “V” que guiam o material por canais independentes, evitando entrelaçamentos e assegurando fluxo estável, como evidenciado na Figura 5(b). Seu design modular permite instalação de tampas com uma ou duas fileiras de acoplamentos pneumáticos PC4-M10, adaptando-se a diferentes configurações de rolos. Além disso, organiza os tubos Bowden, reduzindo atrito e preservando a tensão ideal antes do extrusor.

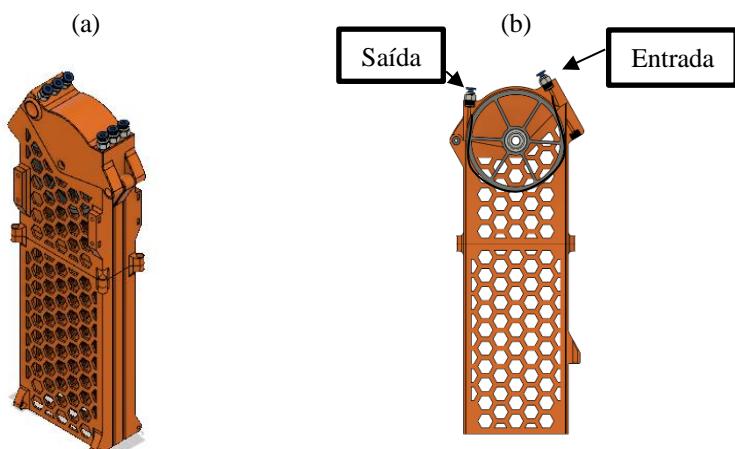


Figura 5 – Buffer DLD a ser incluído no ciclo do sistema , (a) modelo adaptado, (b) fluxo interno do filamento

A combinação das fases de modelagem e integração resultou em um sistema com caminho de filamento estruturado da cabine até o extrusor, no qual o protótipo desenhado em software corresponde similarmente ao suporte físico a ser impresso, incluindo pontos de fixação personalizados e canaletas para os tubos bowden. Todo esse arranjo está ilustrado na Figura 6, que reúne o suporte, o caminho do filamento e o buffer instalado. Um pequeno display instalado na cabine exibirá os valores de temperatura e umidade obtidos pelos sensores, permitindo acompanhamento imediato das condições internas.

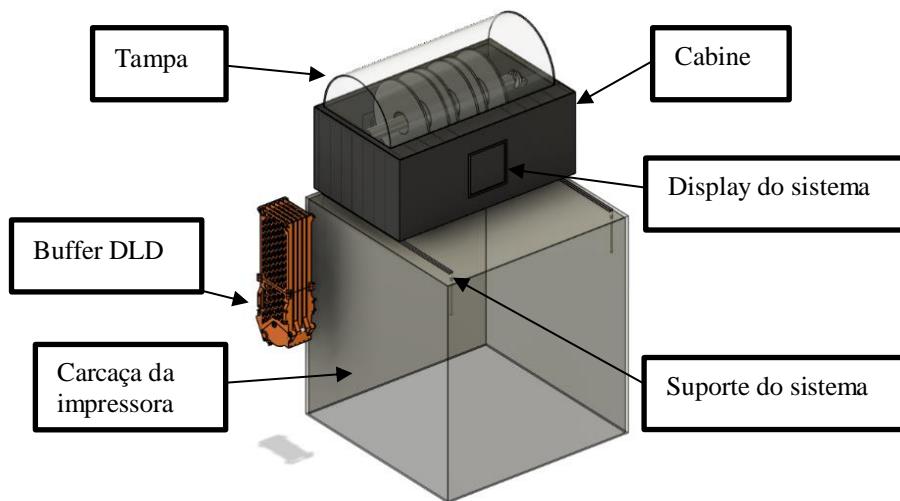


Figura 6 – Idealização do Sistema completo

4. RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se o fluxo idealizado do caminho do filamento e as previsões de desempenho do sistema e os métodos futuros de avaliação para cada critério.

A Figura 7 evidencia o caminho ideal do filamento após a integração dos componentes mecânicos. O percurso otimizado, que vai do rolo no suporte superior, passa pelo DLD Filament Buffer e segue pelo tubo até o extrusor, assegura tensão adequada, minimiza atrito e elimina curvas acentuadas. Esse fluxo ordenado promove alimentação contínua, reduz risco de atolamentos e mantém a interferência mínima no sistema da CubexTrio, além de permitir a adição de novas funcionalidades, como a rebobinação de filamento.

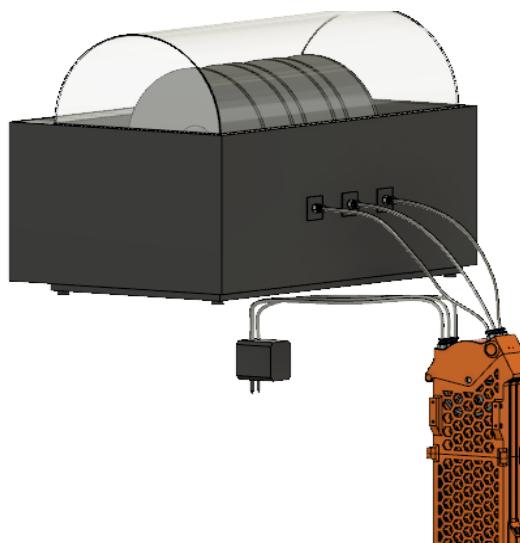


Figura 7 – Caminho de filamento da cabine até a extrusora

4.1. Precisão da alimentação

Espera-se que o uso de conduítes bowden com raio de curvatura adequado promova uma alimentação de filamento mais estável, mantendo as variações dimensionais dentro de tolerâncias estritas ao longo de comprimentos consideráveis. Para validar essa previsão, será comparado o comprimento de filamento solicitado ao sistema com o comprimento efetivamente extrudado, utilizando um encoder externo ou régua digital acoplada ao motor de filamento. Em cada condição de curvatura do tubo (por exemplo, ângulos de 40 mm, 60 mm e 80 mm de raio), serão realizadas dez repetições, registrando-se o desvio médio e o desvio máximo.

4.2 Propriedades Mecânicas

Prevê-se que o controle ativo de umidade reduza a absorção de água pelos filamentos, resultando em peças com maior resistência mecânica e ductilidade, em comparação ao cenário sem desumidificação. Para verificar esse efeito, corpos-de-prova padrão ASTM D638 serão impressos em duas condições: com o sistema de desumidificação ativado (mantido abaixo de 5 % RH) e sem controle de umidade. Após estabilização de 48 h em ambiente com 23 °C e 50 % RH, cada grupo de amostras será submetido a ensaio de tração em máquina universal, a uma velocidade de 5 mm/min. Serão calculados resistência máxima e módulo de elasticidade, comparando-se a média dos valores obtidos.

4.3 Detecção de Umidade e Avaliação Proativa

Espera-se que o sistema mantenha o filamento em condições ótimas de armazenamento por meio de um sensor de umidade posicionados nos compartimentos selados. Esses sensores monitorarão continuamente a umidade relativa (RH) interna e, caso o valor ultrapasse o limite considerado, acionarão automaticamente a resistência para iniciar o processo de desumidificação, restaurando o nível de RH desejado (Lee et al., 2020). Além disso, se a RH permanecer acima do patamar crítico, será disparado uma indicação visual no painel de controle, alertando o operador sobre a necessidade de inspeção ou reposição do dessicante, garantindo manutenção proativa e evitando que a umidade comprometa as propriedades mecânicas do filamento (Hamid, 2022).

5. CONCLUSÃO

O sistema de alimentação múltipla desenvolvido para a CubexTrio atenderá aos objetivos propostos, ao oferecer uma solução intermediária entre métodos manuais e comerciais de troca de filamentos. Por meio da modelagem 3D e da integração dos condutos PTFE, do mecanismo de tensão contínua e do buffer DLD, será possível criar um conjunto que acomode três rolos de filamento, mantenha a tensão ideal durante todo o percurso até o extrusor e preserve a ergonomia da impressora.

A inclusão de compartimentos selados com sensor de umidade e controle automático de desumidificação demonstrará viabilidade para manter o material em condições ótimas, reduzindo o risco de degradação do PLA e de outros polímeros sensíveis à umidade. Os resultados esperados indicarão ganhos significativos em precisão dimensional, graças à alimentação mais estável proporcionada pelos conduítes de raio otimizado, e o controle ativo de umidade refletirá em peças com maior resistência mecânica, em conformidade com os padrões ASTM D638. A estratégia de avaliação proposta — baseada em medições de desvio de alimentação, ensaios de tração e medição de disponibilidade operacional — permitirá comprovar empiricamente essas melhorias. Por fim, o pequeno display instalado na cabine fornecerá ao usuário informações em tempo real sobre temperatura e umidade, facilitando a tomada de decisões e a manutenção proativa.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a realização de testes de campo em diferentes condições ambientais (variações de temperatura, poeira e vibrações) para validar a robustez do sistema em cenários reais de uso. Além disso, a modularidade do projeto possibilitará a adaptação para suportar materiais especiais, como compostos reforçados com fibras, bem como a incorporação de soluções de monitoramento de desgaste dos tensores e do buffer. Dessa forma, o sistema proposto poderá evoluir continuamente, consolidando-se como uma alternativa viável para laboratórios e ambientes de produção que busquem automação de baixo custo aliada à confiabilidade na alimentação de filamentos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Unifesspa pelo apoio no desenvolvimento deste artigo.

7. REFERÊNCIAS

- Fu, Y.; Downey, A. R.; Yuan, L.; Pratt, A.; Balogun, Y. In situ monitoring for fused filament fabrication process: a review. *Additive Manufacturing*, v. 38, p. 101749, 2021. DOI: 10.1016/j.addma.2020.101749.
- Hamid, R. A.; Hamezah, F. H.; Razak, J. A. Influence of humidity on the tensile strength of 3D printed PLA filament. In: SYMPOSIUM ON INTELLIGENT MANUFACTURING AND MECHATRONICS, 2021, Singapura. Lecture Notes in Mechanical Engineering, Singapore: Springer, 2022. p. 497–502. DOI: 10.1007/978-981-16-8954-3_47.
- Lee, H.-S.; Cho, S.-Y.; Lee, Y.-S.; Yoon, J.-M. A filament supply system capable of remote monitoring and automatic humidity control for 3D printer. *Journal of Sensors*, v. 2020, Article ID 8846466, 2020. DOI: 10.1155/2020/8846466.
- Bambu Lab, 2025. AMS – Automatic Material System. Disponível em: <<https://docs.bambulab.com/ams>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Bambu Lab, 2025. Introduction to AMS. Bambu Lab Wiki. Disponível em: <<https://wiki.bambulab.com/ams>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Creality Experts, 2024. “Creality’s answer to the Bambu AMS: the Creality CFS”. Disponível em: <<https://www.creality.com/blog/creality-s-answer-to-the-bambu-ams-the-creality-cfs>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Creality 3D, 2025. CFS – Creality Filament System. Creality Official Store. Disponível em: <<https://creality3dofficial.com/products/creality-filament-system-cfs>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- DLD Filament Buffer for MMU, 2025. Printables. Disponível em: <<https://www.printables.com/model/571485-dld-filament-buffer-for-mmu>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Prusa Research, 2025. Original Prusa MMU3 Assembly Instructions Manual. ManualsLib. Disponível em: <<https://www.manualslib.com/manual/2000033/Prusa-Research-Original-Prusa-Mmu3.html>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Wevolver Editorial, 2023. “Disadvantages of Bowden extruder”. Wevolver. Disponível em: <<https://www.wevolver.com/article/disadvantages-of-bowden-extruder>>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Cubex 3D Printing Blog, 2013. “Cartridges and filament flow errors”. Cubex 3D Printing Blog, 10 jul. 2013. Disponível em: <<https://cubex3dprinting.com/blog/cartridges-filament-flow-errors>>. Acesso em: 18 jun. 2025.

RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.