

Sistema Automatizado de Baixo Custo para Controle de Umidade e Secagem de Filamentos em Ambientes Maker

Vítor V. M. Martins¹, Nicolas I. Silva¹, Ana Beatriz S. Amaral¹,
Henrique S. Cunha¹

¹ IFMT Maker, Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)
– Campus Cuiabá Cel. Octayde Jorge da Silva
R. Zulmira Canavarros, 95 – Centro, Cuiabá - MT, 78005-390 – Brasil

{v.magalhaes, nicolas.izidoro}@estudante.ifmt.edu.br
{anabeatrizschuindt, henriquesevdacunha}@gmail.com

Abstract. *This paper describes the development of a low-cost automated greenhouse for drying 3D filaments (PLA/ABS), aiming to reduce failures caused by hygroscopy. The prototype utilizes a repurposed cabinet with thermal insulation, controlled by an ESP32 C3 SuperMini integrated with temperature and humidity sensors. Results demonstrate a significant reduction in internal humidity and a consequent improvement in print quality. The solution stands as a sustainable and affordable alternative for innovation laboratories, counteracting the high costs of commercial options.*

Resumo. *Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma estufa automatizada de baixo custo para secagem de filamentos 3D (PLA/ABS), visando diminuir falhas causadas pela higroscopia. O protótipo utiliza um armário reaproveitado com isolamento térmico, controlado por um ESP32 C3 SuperMini integrado a sensores de temperatura e umidade. Os resultados comprovam a redução significativa da umidade interna e a consequente melhoria na qualidade das impressões. A solução apresenta-se como uma alternativa sustentável e acessível para laboratórios de inovação frente aos elevados custos das opções comerciais.*

1. Introdução

A impressão 3D consolidou-se como tecnologia pilar da cultura *maker*, permitindo a prototipagem rápida e a materialização de ideias em laboratórios como os FabLabs. No entanto, a manutenção desses espaços enfrenta o desafio da higroscopia em filamentos comuns — como PLA e ABS —, que absorvem facilmente a umidade do ar ambiente, afetando diretamente a sua porosidade e microestrutura (LOPES, 2023; HAMID et al., 2023). Quando esses materiais úmidos são aquecidos, a água retida entra em ebulição no bico da impressora, gerando bolhas de vapor que resultam em falhas estruturais, acabamento rugoso, *stringing* e entupimentos. Embora já existam estufas comerciais para resolver esse problema, o alto investimento necessário limita o acesso de escolas e entusiastas, evidenciando a necessidade de soluções mais acessíveis.

Diante desse cenário, este artigo descreve o desenvolvimento de uma estufa automatizada e de baixo custo, baseada na filosofia *Do It Yourself* (DIY), voltada ao tratamento térmico e armazenamento de filamentos. O objetivo é democratizar o acesso a impressões de alta qualidade, reduzindo o desperdício de insumos em ambientes de inovação. Para

apresentar o projeto, o trabalho está organizado em mais três seções: a Seção 2 detalha a Arquitetura e Desenvolvimento do Protótipo, descrevendo o *hardware* e a lógica do *software*; a Seção 3 apresenta os Resultados e Discussões, demonstrando a eficácia do sistema em testes práticos; e a Seção 4 sintetiza as considerações finais sobre a viabilidade e os impactos da solução proposta.

2. Arquitetura e Desenvolvimento do Protótipo

O projeto foi concebido com foco na facilidade de replicação e na sustentabilidade, reaproveitando recursos já existentes no laboratório. A arquitetura divide-se em aspectos de *hardware* e *software*, formando um sistema de malha fechada para o controle do microclima interno.

2.1. Hardware

A estrutura física do protótipo baseia-se no reaproveitamento de um armário revestido com manta térmica, criando uma câmara isolada. Os componentes responsáveis pelo sensoramento e atuação estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1. Lista de materiais e custos estimados (versão compacta).

Componente	Foto	Quant.	Descrição	Preço (R\$)
ESP32 C3 Super-Mini		1	Microcontrolador com Wi-Fi/Bluetooth para controle do sistema.	30,00
Sensor DHT22		5	Sensor digital para monitoramento de temperatura e umidade.	30,00
Módulo Relé 5V		1	Módulo de 1 canal para acionamento da carga de aquecimento.	18,00
Manta Térmica		1	Isolante para manutenção da temperatura interna.	20,00
Display OLED 0.96"		1	Interface I2C para exibição de dados em tempo real.	20,00
Lâmpada Halógena		3	Fonte primária de calor para a desidratação.	10,00
Cooler (Fan 12V)		1	Ventoinha para circulação e homogeneização térmica.	15,00
Placa de Isopor (EPS)		1 m ²	Isolante térmico e estrutural do projeto.	10,00
Custo Total Estimado				293,00

A Figura 1 detalha a integração eletrônica do projeto, para o funcionamento da estufa. De formar a facilitar o entendimento, o diagrama divide o circuito em três blocos, mas todo o controle é feito por um único microcontrolador ESP32 C3 SuperMini.

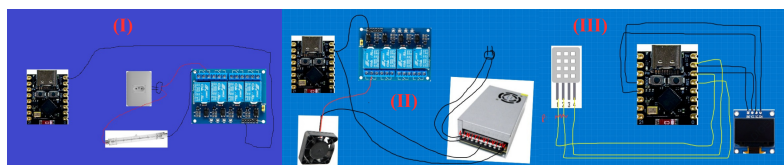


Figura 1. Diagrama de blocos dos circuitos eletrônicos. I – Controle de Aquecimento AC; II – Controle de Ventilação e Alimentação DC; III – Sensoriamento e Interface. Fonte: Autores (2026)

O funcionamento eletrônico é segmentado da seguinte forma: o Estágio I (Controle de Aquecimento AC) utiliza um módulo relé de 5V para o acionamento da lâmpada halógena, operando em lógica de chaveamento direto (liga/desliga) e garantindo o isolamento seguro entre a rede elétrica (127V/220V) e o microcontrolador. O Estágio II (Controle de Ventilação e Alimentação DC) é composto por uma fonte de alimentação (5V/12V) que fornece energia ao sistema e por um segundo módulo relé, responsável pelo acionamento do *cooler* de 12V para a circulação forçada do ar. Por fim, o Estágio III (Sensoriamento e Interface) centraliza o processing no microcontrolador ESP32 C3 SuperMini, que realiza a leitura dos dados ambientais via sensor DHT22 e gerencia a interface visual através de um display LCD com módulo I2C.

2.2. Software

O firmware do sistema foi desenvolvido em linguagem C++ e embarcado no microcontrolador MakerGO ESP32 C3 SuperMini. A arquitetura de software baseia-se em um ciclo contínuo de aquisição de dados ambientais, processamento lógico e atuação nos periféricos. Para o gerenciamento do hardware, foram incluídas bibliotecas específicas para a leitura digital do sensor DHT22 e para a comunicação I2C com o display OLED, otimizando o uso dos pinos (GPIO) do microcontrolador.

A estratégia de controle adotada é do tipo Liga-Desliga (On-Off) com histerese, projetada para manter o microclima interno operando de forma estável no setpoint ideal de secagem, em torno de 45°C. A cada ciclo de leitura, o algoritmo avalia a temperatura interna: caso o valor aferido seja inferior ou igual a 43,9°C, o sistema aciona os relés para ligar as lâmpadas halógenas e a ventoinha, iniciando a rampa de aquecimento.

Para mitigar o efeito da inércia térmica inerente às lâmpadas, estabeleceu-se um limite superior de corte em 46°C, momento em que o acionamento de aquecimento é interrompido de forma autônoma. Essa margem de histerese garante a estabilização térmica próxima à temperatura alvo e previne oscilações excessivas no acionamento dos relés (*chattering*), enquanto a ventilação contínua assegura a homogeneização do ambiente para a secagem uniforme do filamento.

3. Resultados e Discussões

Sobre os resultados, os testes práticos com um carretel de PLA úmido comprovaram a alta eficiência térmica do protótipo: a estufa atingiu a temperatura alvo de 45°C em apenas 5 minutos. Na operação contínua, a recuperação dentro da janela de histerese (43°C a 45°C) ocorreu em cerca de 1 minuto, evidenciando a eficácia do isolamento da manta térmica e o dimensionamento das lâmpadas.

A validação da secagem ocorreu comparando-se impressões 3D de uma mesma impressora. Após 8 horas de tratamento — tempo ideal identificado —, o filamento gerou peças com camadas uniformes e com pouco *stringing*. Em contrapartida, o material não tratado causou estalos na extrusão (evaporação) e falhas superficiais evidentes.

Com custo aproximado de R\$300,00, o projeto destaca-se pela competitividade e capacidade: comporta até 10 carretéis simultâneos. No mercado, estufas básicas (a partir de R\$ 400,00) abrigam apenas 1 ou 2 unidades, e os modelos para até 5 carretéis possuem valores substancialmente maiores. Esse ganho expressivo de volume por um custo tão baixo torna o protótipo a solução ideal para a demanda contínua de um laboratório de inovação.



Figura 2. Protótipo Inicial da Estufa Automatizada. Fonte: Autores (2026)

4. Conclusão

Conclui-se que o protótipo atinge o objetivo proposto de democratizar o acesso a impressões de alta qualidade em espaços de inovação, apresentando-se como uma alternativa acessível e eficiente para reverter a degradação e a umidade de filamentos 3D. O sistema atingiu a temperatura ideal em apenas cinco minutos, e testes práticos confirmaram que ciclos de oito horas revertem a umidade do PLA, garantindo impressões sem falhas de extrusão. Além da eficiência técnica, o projeto promove a sustentabilidade ao reaproveitar materiais e reduzir o desperdício de plástico. A iniciativa reafirma o potencial da cultura *maker* no desenvolvimento de tecnologias acessíveis para laboratórios de inovação. O vídeo demonstrativo do protótipo está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9vbxicuBV7w>.

Declaração de Uso de IA Generativa

Para a estruturação textual, revisão gramatical e tradução do resumo (*Abstract*), utilizou-se o modelo de Inteligência Artificial Generativa Gemini 3 Flash (Google). Todo o conteúdo técnico, diagramação de circuitos e a montagem do protótipo são de autoria própria e foram criteriosamente revisados e validados pelos autores, que assumem plena responsabilidade pelas informações apresentadas neste trabalho.

Referências

- LOPES, R. O. Sistema IoT para monitoramento de uma estufa de secagem de filamento PLA. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação)) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Manaus, 2023.
- HAMID, R. A.; SINDAM, D.; AKMAL, S.; ABDULLAH, L.; ITO, T. Impact of humidity on chemical bonding, porosity and microstructure of 3d printed pla. **Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)**, v. 17, n. 3, p. 29-40, 2023.