



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS-DISTRITO INDUSTRIAL
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

NATÃ DA SILVA ALMEIDA

**PROJETO DE UMA SECADORA DE FILAMENTOS COM FOCO EM BAIXO
CUSTO**

MANAUS - AM

2025

NATÃ DA SILVA ALMEIDA

**PROJETO DE UMA SECADORA DE FILAMENTOS COM FOCO EM BAIXO
CUSTO**

Monografia apresentada à banca examinadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Orientador: prof. MSc Renan Cavalcante Santos

Manaus - AM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A447p	<p>Almeida, Natã da Silva. Projeto de uma secadora de filamentos com foco em baixo custo / Natã da Silva Almeida. — Manaus, 2025. 48f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2025. Orientador: Prof. Renan Cavalcante Santos, Me.</p> <p>1. Arduino. 2. Impressão 3D. 3. Secadora de filamentos. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 629.892</p>
-------	--


Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).

NATÃ DA SILVA ALMEIDA


PROJETO DE UMA SECADORA DE FILAMENTOS COM FOCO EM BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus-Distrito Industrial, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.


Aprovada em: 23/04/2025, por:

Documento assinado digitalmente
 **RENAN CAVALCANTE SANTOS**
Data: 05/05/2025 13:03:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. MSc. Renan Cavalcante Santos
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL FONSECA DE SOUZA**
Data: 05/05/2025 16:20:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

NOME
Prof. Dr. Daniel Fonseca de Souza

Documento assinado digitalmente
 **VITOR FERNANDO DE SOUZA GADELHA**
Data: 05/05/2025 15:11:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

NOME
Prof. Eng. Vitor Fernando de Souza Gadelha

MANAUS/AM

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço a deus pelo fôlego de vida, saúde e inteligência, à minha esposa Adriane Nápoles pelo apoio e suporte em todos os momentos, aos meus amigos, professores e servidores do IFAM Campus Manaus Distrito Industrial, em particular aos senhores Rivelino Lima (servidor), Renan Cavalcante (orientador), Edvaldo Fialho (servidor), Manoel de Paula (servidor) que sempre me apoiaram e me encorajaram a nunca desistir mesmo perante as dificuldades. Sem eles não seria possível alcançar tal feito.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma secadora de filamentos de baixo custo, voltada para usuários de impressoras 3D que enfrentam problemas de qualidade nas impressões devido à umidade excessiva presente no ambiente. A pesquisa é especialmente relevante para regiões com alta taxa de umidade, como a Amazônia, onde as condições climáticas afetam a conservação dos filamentos, resultando em falhas nas impressões 3D, como bolhas, fraturas e baixo acabamento superficial. A secadora proposta visa atender a essa demanda, oferecendo uma solução acessível para a manutenção da qualidade do filamento, prolongando sua vida útil e evitando os prejuízos ocasionados pela absorção de umidade. O projeto busca utilizar materiais e tecnologias de baixo custo, garantindo sua viabilidade econômica e facilidade de construção. A inovação do trabalho está na adaptação das necessidades locais, proporcionando uma solução prática, eficiente e acessível para a comunidade de impressão 3D na região amazônica. A secadora desenvolvida foi capaz de remover com êxito a umidade dos filamentos durante os testes e validações.

Palavras-chave: Impressão 3D, Umidade, Secadora de filamentos, Baixo custo, Arduino, Amazônia.

ABSTRACT

This work aims to develop a low-cost filament dryer designed for 3D printer users who face print quality issues due to excessive ambient humidity. The research is particularly relevant for regions with high humidity levels, such as the Amazon, where climate conditions affect filament preservation, resulting in 3D printing failures like bubbles, fractures, and poor surface finish. The proposed dryer seeks to meet this demand by offering an affordable solution to maintain filament quality, extend its lifespan, and prevent damage caused by moisture absorption. The project focuses on using low-cost materials and technologies, ensuring economic feasibility and ease of construction. The innovation of this work lies in adapting to local needs, providing a practical, efficient, and accessible solution for the 3D printing community in the Amazon region. The developed dryer successfully removed moisture from the filaments during testing and validation.

Keywords: 3D Printing, Humidity, Filament Dryer, Low Cost, Arduino, Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Primeira impressora 3d do mundo	13
Figura 2: Tecnologia FDM.....	14
Figura 3: Tecnologia SLA.....	15
Figura 4: Tecnologia SLS	15
Figura 5: Entupimento de bico	18
Figura 6: Deformidade superficial	18
Figura 7: Danos estruturais	19
Figura 8: Creality Dry Box 2.0.....	21
Figura 9: printAlot S1	22
Figura 10: sunlu OEM.....	22
Figura 11: Fluxograma	24
Figura 12: Componentes do projeto	25
Figura 13: Demais componentes do projeto.....	26
Figura 14: Diagrama de montagem	26
Figura 15: Descrição de pinos e conexões.	27
Figura 16: Vistas do sistema de aquecimento	28
Figura 17: Detalhes do sistema de aquecimento	28
Figura 18: Sistema de aquecimento instalado	29
Figura 19: Painel de monitoramento e controle instalado.	29
Figura 20: Circuito de monitoramento e controle.	30
Figura 21: Parte do sistema de aquecimento e monitoramento.	30
Figura 22: Chave power e entrada jack fêmea 12V 5A.....	31
Figura 23: Valores gastos no projeto.....	31
Figura 24: vista frontal.....	32
Figura 25: vista traseira.	32
Figura 26: vista lateral esquerda.....	33
Figura 27: vista lateral direita.....	33
Figura 28: vista superior.....	34
Figura 29: Menu de seleção de temperatura.....	40
Figura 30: Menu de seleção de tempo.....	40
Figura 31: Menu iniciar.....	41
Figura 32: Tela de monitoramento.	41
Figura 33: Impresso em PLA com excesso de umidade.....	42
Figura 34: Impresso em ABS com excesso de umidade.	42
Figura 35: Impresso em PLA após secagem de 8 horas.	43
Figura 36: Impresso em ABS após secagem de 8 horas.	43
Figura 37: Monitoramento da secagem do PLA.....	44
Figura 38: Gráfico de secagem do PLA	44
Figura 39: Monitoramento da secagem do ABS.	45
Figura 40: Gráfico de secagem do ABS.....	45
Figura 41: PLA antes da secagem	46
Figura 42: PLA depois da secagem.....	46
Figura 43: ABS antes da secagem.....	47
Figura 44: ABS depois da secagem.....	47

Sumário

INTRODUÇÃO	10
1.1. JUSTIFICATIVA.....	10
1.2. MOTIVAÇÃO	11
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.4. OBJETIVO GERAL.....	12
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 EVOLUÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA.....	12
2.2 PRINCÍPIOS DO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D	13
2.3 VANTAGENS DA IMPRESSÃO 3D	16
2.4 APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D	16
2.5 DESAFIOS E LIMITAÇÕES	17
2.6 IMPÁCTOS DO EXCESSO DE UMIDADE NOS FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D	17
2.7 TECNOLOGIAS DE SECAGEM DE FILAMENTOS	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
4.1 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DISPONÍVEIS NO MERCADO	21
4.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	23
4.3 COMPONENTES SELECIONADOS PARA O PROJETO	24
4.4 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO	26
4.4.1 DIAGRAMA DE MONTAGEM DO CIRCUITO	26
4.4.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO	27
4.4.3 SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE	29
4.4.4 CUSTO TOTAL DO PROJETO	31
4.4.5 FOTOS DO PROJETO FINALIZADO	32
4.4.6 PROGRAMAÇÃO	34
4.4.7 MENU VISUAL (IHM)	39
4.4.7.1 AJUSTE DE TEMPERATURA.....	39
4.4.7.2 AJUSTE DE TEMPO	40
4.4.7.3 INICIALIZAR.....	41
4.4.8 TESTES ANTES DA SECAGEM	42
4.4.9 TESTES DEPOIS DA SECAGEM.....	43
4.4.10 DADOS GRÁFICOS.....	44
5 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de impressão 3D tem evoluído rapidamente, tornando-se mais acessível e econômica, o que tem impulsionado a sua adoção por entusiastas, hobbyistas e pequenas empresas ao redor do mundo. Com o crescimento da utilização de filamentos como PLA, ABS e outros, a qualidade das impressões pode ser influenciada por diversos fatores, como a umidade nos filamentos, um problema comum em regiões de alta umidade, como a Amazônia.

1.1. JUSTIFICATIVA

A impressão 3D tem ganhado cada vez mais popularidade, sendo amplamente utilizada tanto em ambientes industriais quanto por hobbyistas, com aplicações que vão desde a prototipagem até a fabricação de peças finais. Contudo, um dos principais desafios enfrentados por usuários dessa tecnologia, especialmente em regiões de alta umidade como a Amazônia, é a absorção de umidade pelos filamentos, o que compromete diretamente a qualidade das impressões.

O excesso de umidade nos filamentos de impressão 3D pode causar diversos problemas, como entupimentos de bico, formação de teias nas peças, marcas ou deformidades na superfície e, até mesmo, comprometer a estrutura física das peças. Esses defeitos ocorrem devido à interação da umidade com o material, que ao ser aquecido, libera vapor, afetando a consistência do extrusor e a qualidade da impressão. Como resultado, o processo de fabricação de peças acaba sendo interrompido ou resulta em produtos com baixo desempenho e precisão.

Considerando esse cenário, o desenvolvimento de uma secadora de filamentos de baixo custo se torna fundamental para resolver esse problema. Ao proporcionar uma solução acessível e eficiente para a remoção de umidade dos filamentos, o projeto visa não apenas aumentar a durabilidade e a qualidade dos materiais utilizados, mas também garantir a integridade das peças produzidas, assegurando melhor desempenho nas impressões e evitando os custos adicionais com defeitos e retrabalho.

Além disso, uma secadora eficiente contribuirá diretamente para a otimização do tempo de produção e para a redução de desperdício de material, aspectos cruciais para a sustentabilidade e viabilidade econômica dos usuários de impressão 3D. Dessa forma, a solução proposta atende a uma necessidade real e urgente, especialmente em locais com condições climáticas adversas, como a região amazônica.

1.2. MOTIVAÇÃO

Como entusiasta da impressão 3D e morador de uma região com alta umidade, sempre enfrentei dificuldades relacionadas à qualidade das minhas impressões, como defeitos estéticos, técnicos e até mesmo problemas estruturais nas peças. Esses problemas eram diretamente causados pela absorção de umidade pelos filamentos, o que resultava em falhas constantes no processo de impressão. Diante disso, a busca por uma solução que permitisse remover a umidade dos filamentos tornou-se uma necessidade urgente.

De forma geral, usuários de impressoras 3D necessitam adquirir secadoras de filamentos, no entanto, custos elevados destes equipamentos dificultam aquisição dos mesmos. Além disso, há uma grande dificuldade de peças de reposição acessíveis, o que dificulta a utilização destes equipamentos.

Diante desse cenário, e baseado nos conhecimentos obtidos durante a formação no curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, este trabalho propõem-se a desenvolver uma solução própria, por meio do projeto e construção de uma secadora de filamentos de baixo custo que utilize componentes amplamente disponíveis no mercado da impressão 3D.

Utilizando componentes como dissipadores de calor, resistências de extrusora, ventoinhas de resfriamento, fontes e até mesmo microcontroladores Arduino, que são comuns no universo maker, decidi colocar em prática minha experiência técnica e acadêmica para criar um equipamento acessível e eficiente.

Essa iniciativa não só representa a busca por uma solução para o meu próprio problema, mas também visa contribuir com outros usuários de impressão 3D que enfrentam as mesmas dificuldades, especialmente em regiões de alta umidade. Ao desenvolver uma secadora acessível e funcional, espero tornar a impressão 3D mais viável e confiável para todos que enfrentam os mesmos obstáculos.

1.3. OBJETIVOS

1.4. OBJETIVO GERAL

Projetar e construir uma secadora de filamentos para impressão 3D, priorizando a eficiência e o baixo custo.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender como a umidade agride os filamentos para impressão 3d e quais as consequências do uso de um material contaminado por umidade.
- Selecionar e componentes que serão utilizados no projeto com base em funcionalidade, custos de aquisição e disponibilidade de peças de reposição no mercado.
- Determinar, como será utilizada a lógica de programação que atenda às necessidades do projeto.
- Comprovar a eficácia do uso do equipamento apresentando testes e dados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

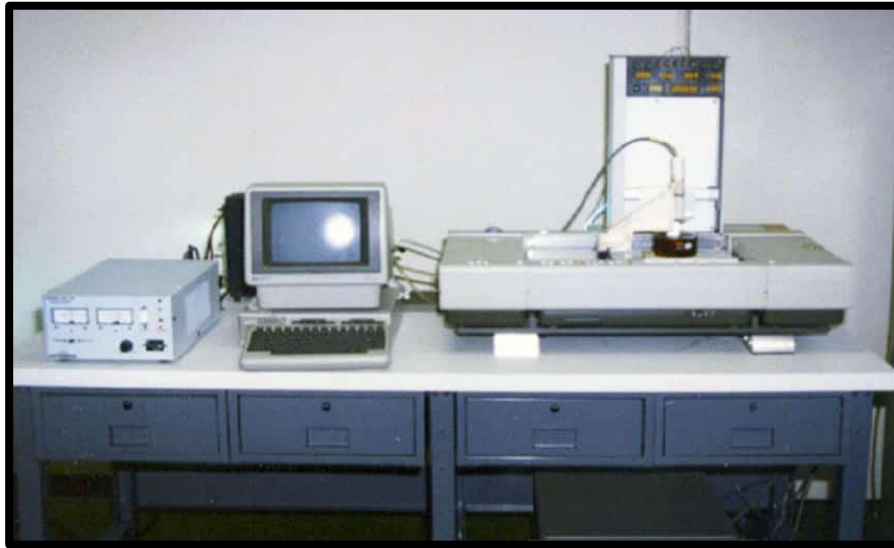
Foi realizada uma revisão teórica com o objetivo de estudar e fundamentar a implementação de uma secadora de filamentos de baixo custo para impressão 3D.

2.1 EVOLUÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, surgiu na década de 1980 como uma tecnologia inovadora que permite a criação de objetos tridimensionais a partir de modelos digitais. O primeiro marco significativo foi a invenção da estereolitografia (SLA) por Charles Hull, em 1983, que possibilitou a fabricação de protótipos rápidos. A partir daí, a impressão 3D passou a se expandir, ganhando destaque não apenas na indústria de prototipagem, mas também em setores como saúde, engenharia, arquitetura e até mesmo na fabricação de alimentos e roupas (Gibson et al., 2015).

O foco da impressão 3D está em sua capacidade de criar objetos de forma personalizada e sob demanda, permitindo a produção de peças complexas e geometria intrincada que seriam difíceis ou até impossíveis de fabricar com métodos tradicionais. Além disso, a impressão 3D tem se destacado por sua eficiência em termos de desperdício de material, uma vez que o processo constrói os objetos camada por camada, utilizando apenas a quantidade necessária de material.

Figura 1 - Primeira impressora 3d do mundo.



Fonte: 3dlab.com.br, 2025.

2.2 PRINCÍPIOS DO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

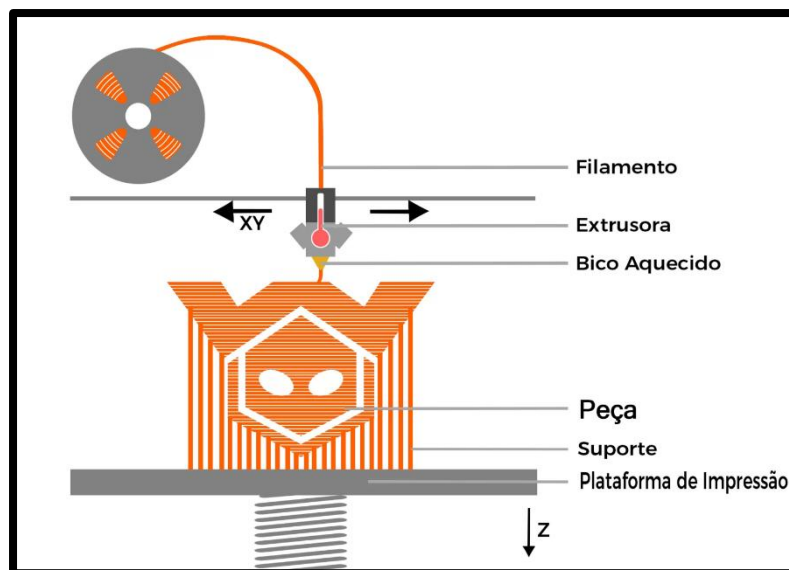
O processo de impressão 3D geralmente envolve várias etapas principais:

1. **Criação do Modelo Digital:** A primeira etapa é a criação de um modelo digital 3D do objeto que se deseja imprimir. Esse modelo é desenvolvido utilizando softwares de design assistido por computador (CAD, na sigla em inglês). O arquivo do modelo digital é então convertido para um formato compatível com a impressora 3D, como o *STL* ou *OBJ*.
2. **Fatiamento do Modelo:** O modelo digital é dividido em camadas horizontais finas por um software chamado "fatiador" (*slicer*). Esse processo cria um conjunto de instruções específicas para a impressora 3D, que descreve como cada camada será construída. A espessura das camadas pode variar dependendo do tipo de impressão e do nível de detalhe desejado.

3. **Impressão do Modelo:** Após o fatiamento, a impressora 3D executa a construção do objeto camada por camada, de acordo com as instruções geradas. O processo de impressão pode variar conforme a tecnologia utilizada, sendo os métodos mais comuns a deposição de material fundido (FDM), a cura de resina líquida com luz (SLA) e a fusão seletiva de pó (SLS). Cada técnica possui características específicas que influenciam a qualidade, velocidade e o tipo de material utilizado na impressão.

- **FDM (Fused Deposition Modeling):** A impressora derrete um filamento de plástico e o deposita camada por camada para formar o objeto. É a tecnologia mais usada em impressoras 3D domésticas.

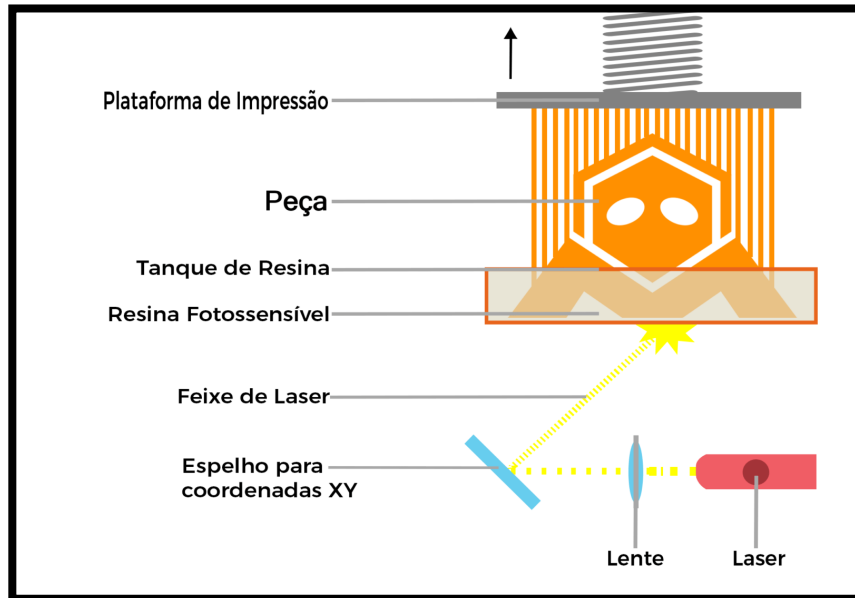
Figura 2 - Tecnologia FDM.



Fonte: wishbox.net.br, 2025.

- **SLA (Stereolithography):** Utiliza uma resina líquida que é solidificada camada por camada por meio de um feixe de luz ultravioleta.

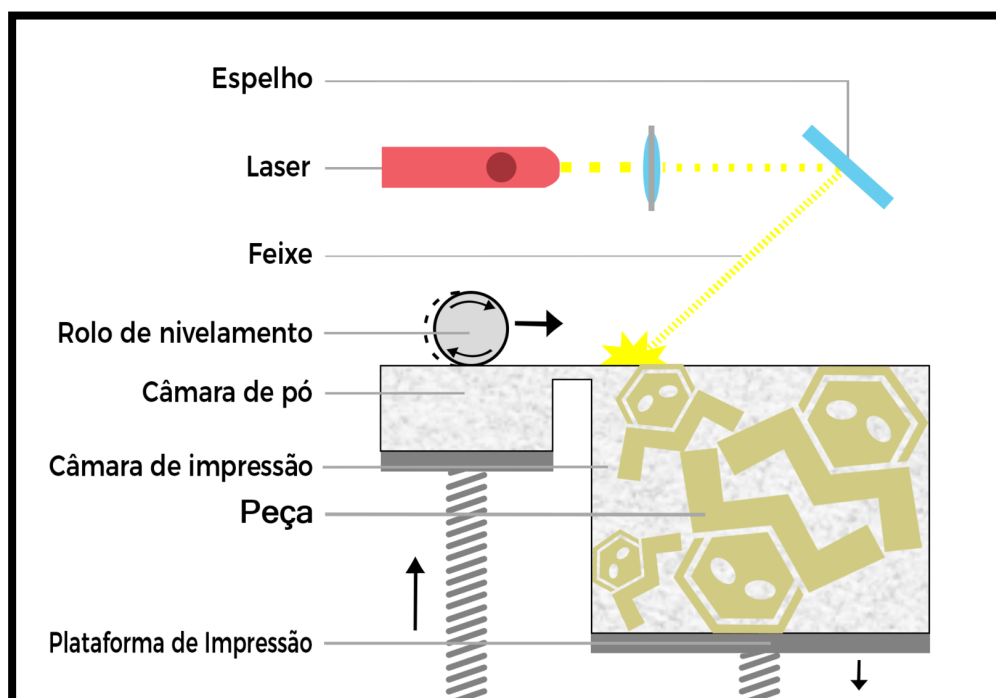
Figura 3 - Tecnologia SLA.



Fonte: wishbox.net.br, 2025.

- **SLS (Selective Laser Sintering)**: Utiliza um laser para fundir e solidificar partículas de pó, criando camadas sucessivas de material.

Figura 4 - Tecnologia SLS.



Fonte: wishbox.net.com, 2025.

4. **Pós-processamento:** Após a impressão, pode ser necessário realizar algum tipo de pós-processamento, como remoção de suportes, lixamento ou cura adicional (para resinas). O objeto impresso pode, então, ser usado ou, dependendo do material, pintado ou tratado para melhorar sua aparência ou durabilidade.

2.3 VANTAGENS DA IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D oferece diversas vantagens sobre os métodos de fabricação tradicionais:

- **Personalização:** É possível criar objetos personalizados ou sob demanda, o que é ideal para protótipos, peças únicas ou pequenas produções.
- **Redução de Desperdício:** Como a impressão 3D constrói o objeto camada por camada, ela utiliza apenas a quantidade de material necessário, o que reduz o desperdício em comparação com processos que removem material de blocos maiores.
- **Complexidade Geométrica:** A tecnologia permite a criação de formas e estruturas altamente complexas, que seriam impossíveis ou muito caras de produzir com técnicas convencionais.
- **Prototipagem Rápida:** A impressão 3D permite criar protótipos de maneira rápida e a baixo custo, o que acelera o desenvolvimento de novos produtos e designs.

2.4 APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D tem sido aplicada em diversas áreas, incluindo:

- **Indústria Automotiva e Aeroespacial:** Para criar peças sob demanda, protótipos e componentes personalizados.
- **Saúde:** Para a criação de próteses personalizadas, modelos anatômicos para planejamento cirúrgico e até mesmo bioprinting, que envolve a impressão de tecidos e órgãos.
- **Construção:** Impressoras 3D podem ser usadas para criar estruturas de construção, como casas e edifícios, de maneira mais rápida e econômica.
 - **Moda e Design:** Criação de roupas, acessórios e peças de decoração personalizadas.

2.5 DESAFIOS E LIMITAÇÕES

Embora a impressão 3D ofereça muitas vantagens, também existem alguns desafios e limitações, como:

- **Velocidade de Produção:** Embora o processo seja rápido para protótipos pequenos, a produção de grandes volumes de peças ainda pode ser demorada.
- **Materiais:** A variedade de materiais disponíveis para impressão 3D ainda é limitada em comparação com métodos de fabricação tradicionais.
- **Qualidade:** A qualidade das impressões 3D pode variar dependendo da tecnologia utilizada, da precisão da impressora e da escolha do material.

2.6 IMPÁCTOS DO EXCESSO DE UMIDADE NOS FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D

Os filamentos utilizados em impressoras 3D, como PLA, ABS e PETG, são altamente sensíveis à umidade. Quando expostos ao ar úmido, esses materiais podem absorver água, comprometendo suas propriedades físicas e afetando diretamente a qualidade das impressões.

A umidade causa uma série de problemas, incluindo:

- **Entupimento do bico de impressão;** A umidade presente nos filamentos pode provocar a formação de vapor dentro da extrusora, causando obstruções e entupimentos no bico (figura 5) da impressora (Peeters, 2018).
- **Deformidades na superfície das peças;** O vapor gerado pela umidade pode causar bolhas ou fissuras nas peças impressas, resultando em uma superfície irregular (figura 6) (Kang et al., 2020).
- **Problemas estruturais;** A absorção de umidade também compromete a resistência e a durabilidade das peças, que podem se tornar mais frágeis e propensas a deformações estruturais (figura 7) (Azuma et al., 2019).

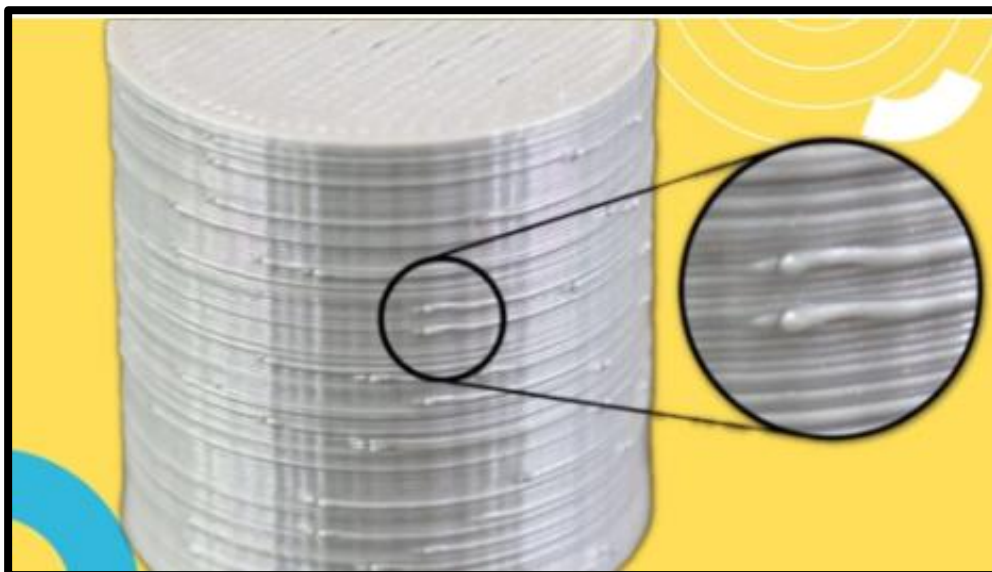
Estes problemas são particularmente significativos em regiões com alta umidade relativa do ar, como a Amazônia, onde o controle da umidade nos filamentos torna-se uma necessidade crítica para garantir a qualidade das impressões 3D.

Figura 5 - Entupimento de bico.



Fonte: impressoras3d.com, 2025.

Figura 6 - Deformidade superficial.



Fonte: blog3dfila.com, 2025.

Figura 7 - Danos estruturais.



Fonte: blog.3dfila.com.br, 2025.

2.7 TECNOLOGIAS DE SECAGEM DE FILAMENTOS

Para mitigar os efeitos da umidade nos filamentos, a secagem é uma solução eficaz. A secagem dos filamentos pode ser realizada por diferentes métodos, sendo os mais comuns o uso de fornos de secagem e secadores específicos para filamentos. Esses dispositivos geralmente funcionam aquecendo o filamento a uma temperatura controlada abaixo da temperatura de transição vítrea, removendo a umidade de forma eficiente e segura. A temperatura deve ser ajustada de acordo com as especificações do material, para evitar danos ao filamento e garantir que a secagem seja eficaz (Huang et al., 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A construção de uma secadora de filamentos de baixo custo deve levar em consideração não apenas os aspectos técnicos relacionados aos componentes, mas também a facilidade de uso, a segurança e a durabilidade do equipamento. Além disso, é importante garantir que o projeto seja escalável e modular, permitindo que ele seja adaptado para diferentes tipos de filamentos e necessidades do usuário. O design do equipamento deve ser

simples, com foco na funcionalidade e no custo-benefício, usando materiais e componentes com boa disponibilidade no mercado de impressão 3D.

3.1 MÉTODO

Para execução do projeto e construção de uma secadora de filamentos de baixo custo serão adotadas as seguintes etapas:

- 1- Análise de tecnologias disponíveis no mercado, avaliando vantagens e desvantagens.;
- 2- Estudar nas opções de mercado, os princípios de funcionamento e investigar que componentes com baixo custo e alta disponibilidade podem ser usados para desenvolvimento de um novo projeto
- 3- Determinar componentes e tecnologias necessárias para execução do projeto
- 4- Fabricação da secadora
- 5- Realização de testes para medir comportamento da umidade
- 6- Análise qualitativa de defeitos de fabricação utilizando a secadora

3.2 MATERIAIS

Para a idealização e construção de uma secadora de filamentos de baixo custo, diversos componentes e tecnologias podem ser utilizados, baseando-se em tecnologias amplamente acessíveis no universo da impressão 3D. Alguns dos principais componentes incluem:

- **Resistências de extrusora:** As resistências são essenciais para o processo de aquecimento controlado, permitindo que a temperatura interna da secadora seja mantida de forma constante e controlada (Huang et al., 2019).
- **Dissipadores de calor:** São componentes importantes para evitar o superaquecimento e para garantir a dissipação de calor eficiente, mantendo a temperatura ideal dentro da câmara de secagem (Bhandari et al., 2020).
- **Ventoinhas de resfriamento:** Essenciais para a circulação de ar, ajudando a distribuir o calor de maneira uniforme e a garantir que o processo de secagem seja homogêneo (Zhao et al., 2018).

- **Sensor de temperatura e umidade:** A inclusão de sensores como o AM2320 ou DHT22 permite o monitoramento em tempo real das condições internas da secadora, fornecendo dados fundamentais para o controle do ambiente de secagem. Esses sensores permitem ajustar automaticamente o funcionamento do sistema de aquecimento, evitando variações indesejadas e garantindo maior eficiência na remoção da umidade dos filamentos.
- **Microcontroladores Arduino:** A utilização de microcontroladores, como o Arduino, permite o controle preciso da temperatura, a automação do processo e a implementação de funcionalidades como temporizadores, sensores de umidade e monitoramento remoto, o que torna o processo mais eficiente e fácil de operar para o usuário (Memon et al., 2019).

Tais componentes são amplamente disponíveis e largamente utilizados na comunidade maker, o que contribui para a viabilidade do projeto tanto em termos de custo quanto de facilidade de implementação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DISPONÍVEIS NO MERCADO

Analisando o mercado atual vi que existem vários modelos prontos, porém um limitante é o alto custo, pouca produtividade e falta de peças de reposição no mercado nacional, um exemplo disto são os modelos **creality 2.0 Dry Box** (figura 8) custando R\$ 366,00, **solvol printAlot s1**(figura 9) custando R\$ 479,00 e **sunlu oem** (figura 10) custando R\$ 839,00.

Figura 8 - Creality Dry Box 2.0.



Fonte: mercadolivre.com, 2025.

Figura 9 - printAlot S1.



Fonte: mercadolivre.com, 2025.

Figura 10 - sunlu OEM.



Fonte: mercadolivre.com, 2025.

VANTAGENS

- Pronta para uso: Basta ligar e usar.
- Design compacto e estético: Ótimo acabamento e bem compacta.

DESVANTAGENS

- **Pouca capacidade:** comporta apenas 1 carretel de material por vez.
- **Preço:** Estão na faixa de 366 a 839 reais
- **Software fechado:** não possibilitam alterações de software.
- **Limite baixo de temperatura:** Aquecem até 65 graus célsius apenas.
- **Baixo limite de tempo:** Se limitam ao tempo máximo de operação de 24 horas.
- **Falta de peças:** Não possuem peças de reposição no mercado nacional.

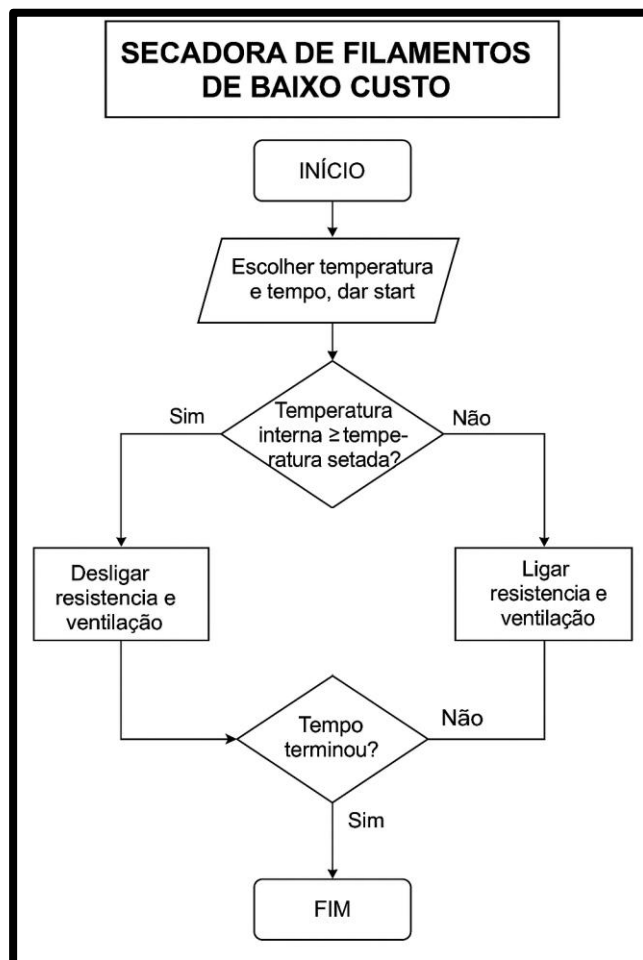
Diante destas condições entendo que esse equipamento não atende às minhas principais necessidades que seria uma capacidade elevada de secagem e os tipos de materiais pois 65 graus não são suficientes para uma secagem rápida de materiais como ABS. Então creio ser mais viável produzir um equipamento que me atenda.

4.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Após análise das soluções usualmente utilizadas, percebe-se que as secadoras comerciais são compostas por um sistema embarcado responsável por coletar um tempo e uma temperatura (menor que a temperatura de transição vítrea do material) limite escolhida pelo usuário, que por sua vez ao ser inicializado passa a aquecer o compartimento onde está armazenado o filamento utilizando uma resistência elétrica elevando a temperatura do ar causando a evaporação da água que estava no filamento.

Para executar a mesma função que as opções de mercado, a secadora projetada deve ter um funcionamento seguindo o fluxograma abaixo (figura 11):

Figura 11 - Fluxograma.



Fonte: O próprio autor, 2025.

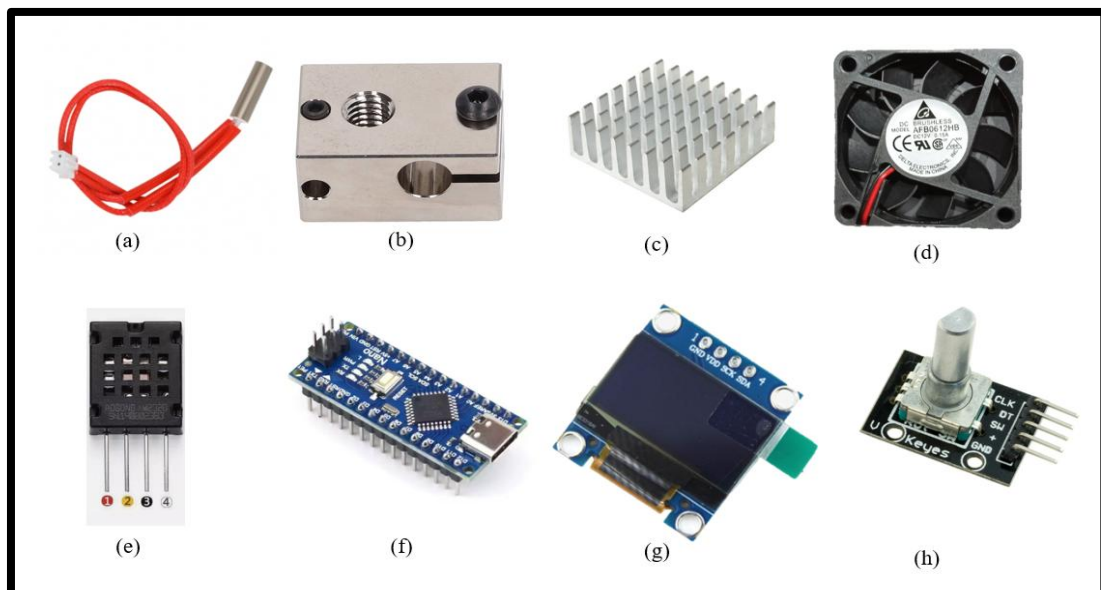
4.3 COMPONENTES SELECIONADOS PARA O PROJETO

Para construir uma secadora de filamentos selecionamos os seguintes componentes:

- **Resistência de extrusora:** Utilizada para gerar calor (figura 12, a).
- **Bloco aquecedor:** Utilizado para conectar a resistência ao dissipador de calor (figura 12, b).
- **Dissipador de calor:** Utilizado para dissipar o calor gerado pela resistência (figura 12, c).
- **Ventoinha de resfriamento:** Utilizada para distribuir o calor de forma homogênea (figura 12, d).
- **Sensor de temperatura e umidade:** Utilizado para coletar dados de temperatura e umidade dentro da secadora de filamentos (figura 12, e).

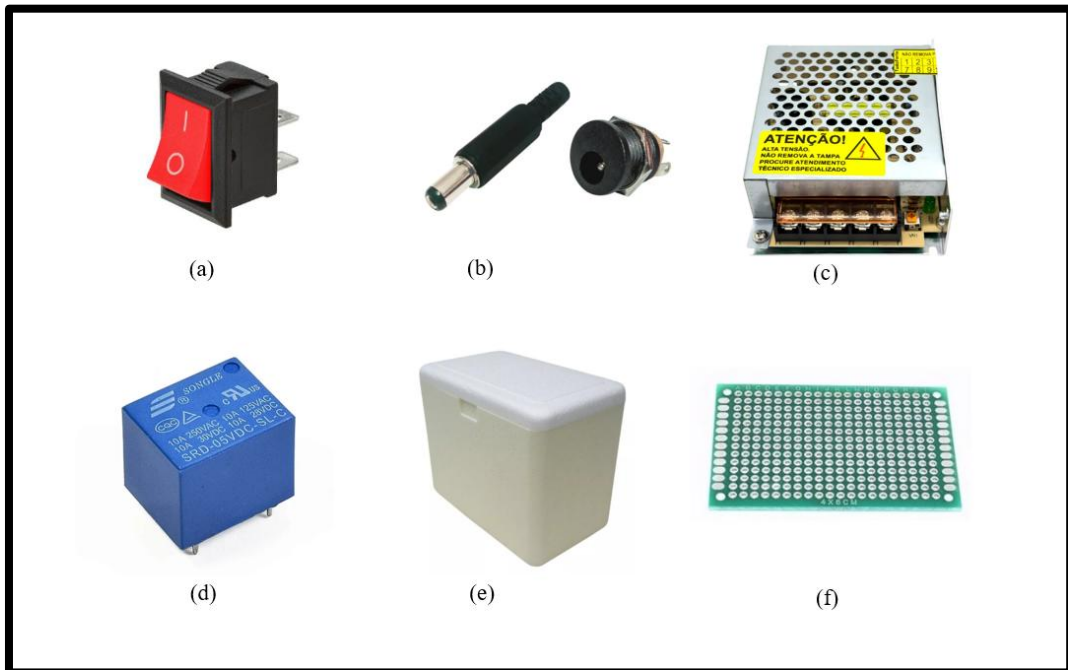
- **Microcontroladores Arduino:** Utilizado para controlar o funcionamento da secadora de filamentos (figura 12, f).
- **Display oled:** Utilizado para visualizar as informações do equipamento (figura 12, g).
- **Rotary encoder:** Utilizado para navegar e entrar com dados (figura 12, h).
- **Chave power:** Utilizada para ligar/desligar (figura 13, a).
- **Plug power jack:** Utilizado para conectar a fonte ao Arduino (figura 13, b).
- **Fonte chaveada:** Utilizada para fornecer energia para todos os sistemas da secadora de filamentos (figura 13, c).
- **Relé:** Utilizado para ligar/desligar a ventoinha e a resistência (figura 13, d).
- **Caixa de isopor:** utilizada como estrutura para armazenar os filamentos e toda parte eletrônica da secadora de filamentos (figura 13, e).
- **Placa de circuito:** Utilizada para fixar todos os componentes necessários (figura 13, f).

Figura 12 - Componentes do projeto.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 13 – Demais componentes do projeto.

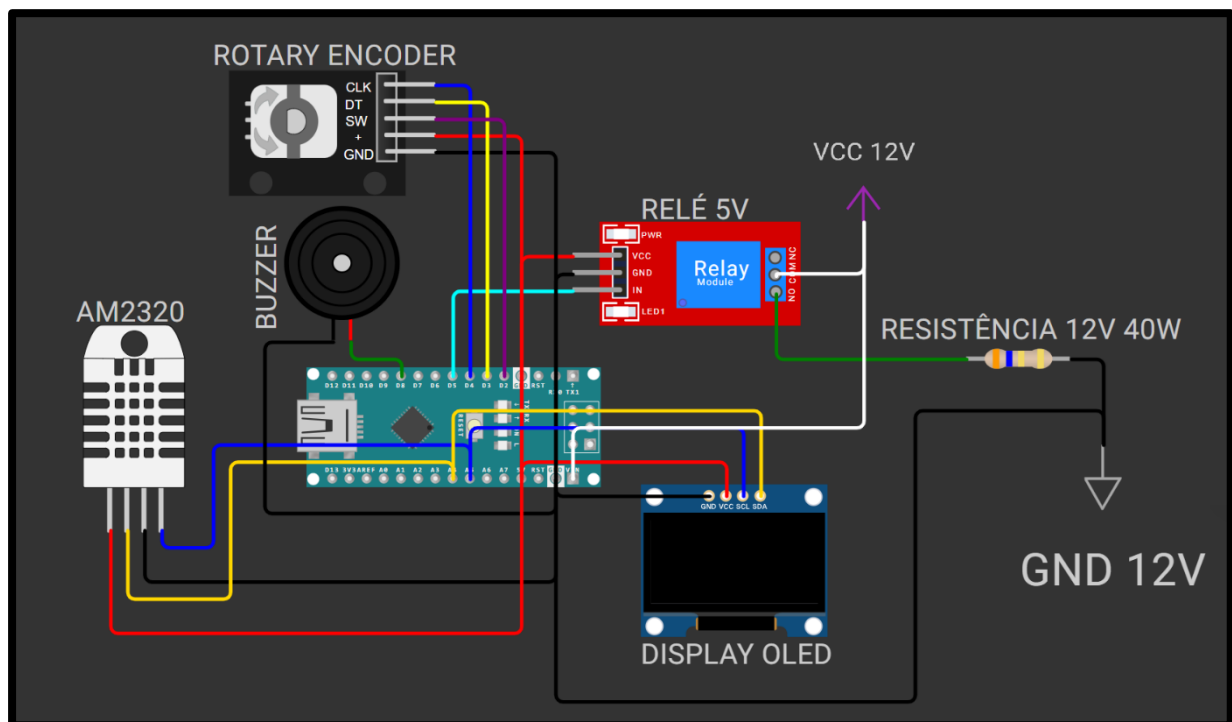


Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

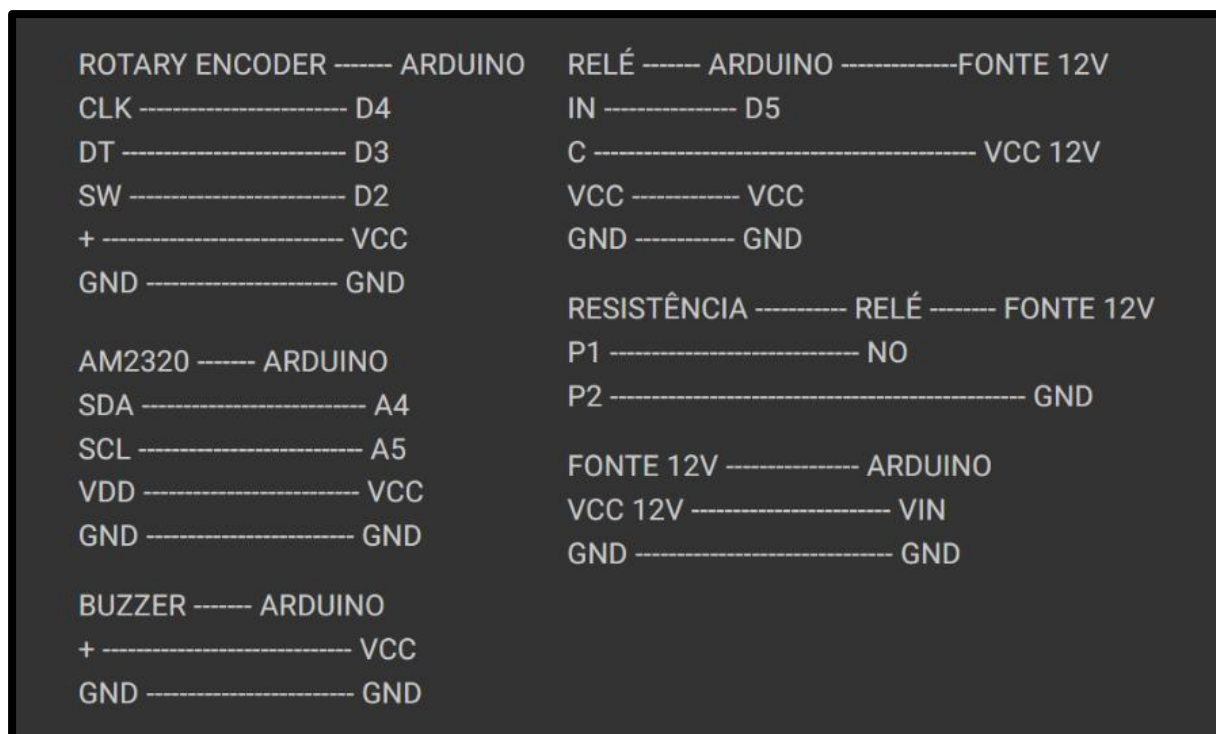
4.4.1 DIAGRAMA DE MONTAGEM DO CIRCUITO

Figura 14 - Diagrama de montagem.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 15 - Descrição de pinos e conexões.

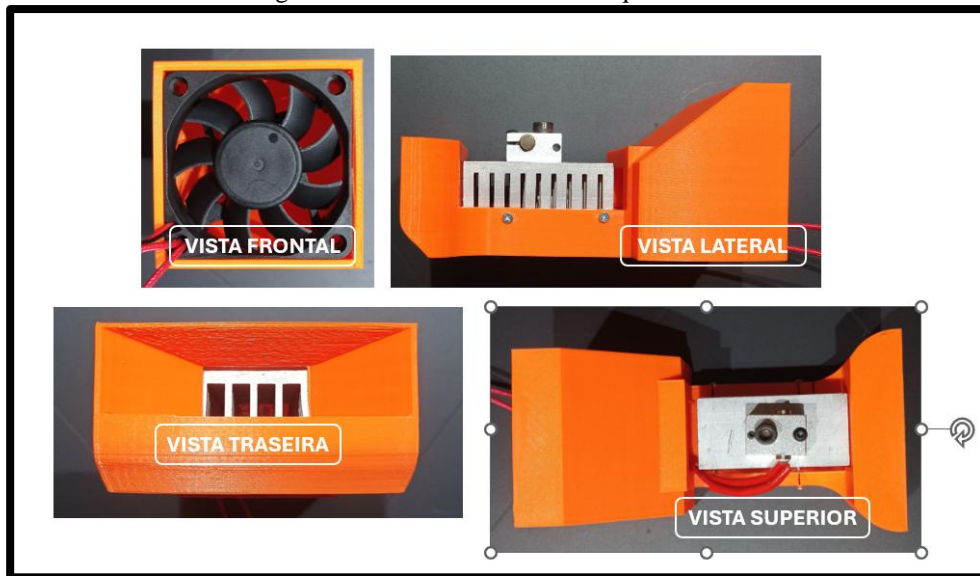


Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO

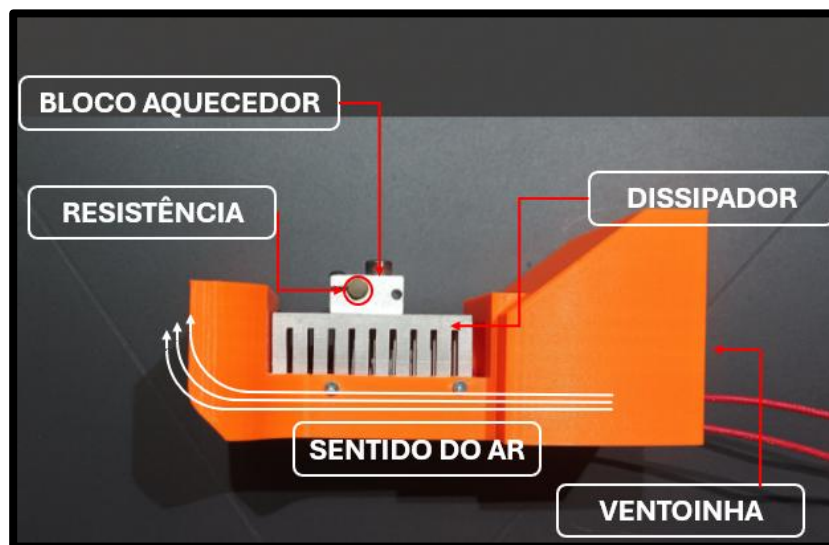
O sistema de aquecimento foi desenvolvido para gerar calor e distribuir de forma homogênea dentro da secadora, criando um design em forma de túnel de vento onde a ventoinha direciona o ar do ambiente para um túnel de vento onde está localizado o dissipador aquecido pela resistência e bloco aquecedor fazendo assim o ar aquecer, na saída temos uma leve inclinação direcionando o ar quente para que o mesmo entre em sentido de rotação dentro da secadora, detalhes nas (figura 16), (figura 17) e (figura 30).

Figura 16 - Vistas do sistema de aquecimento.



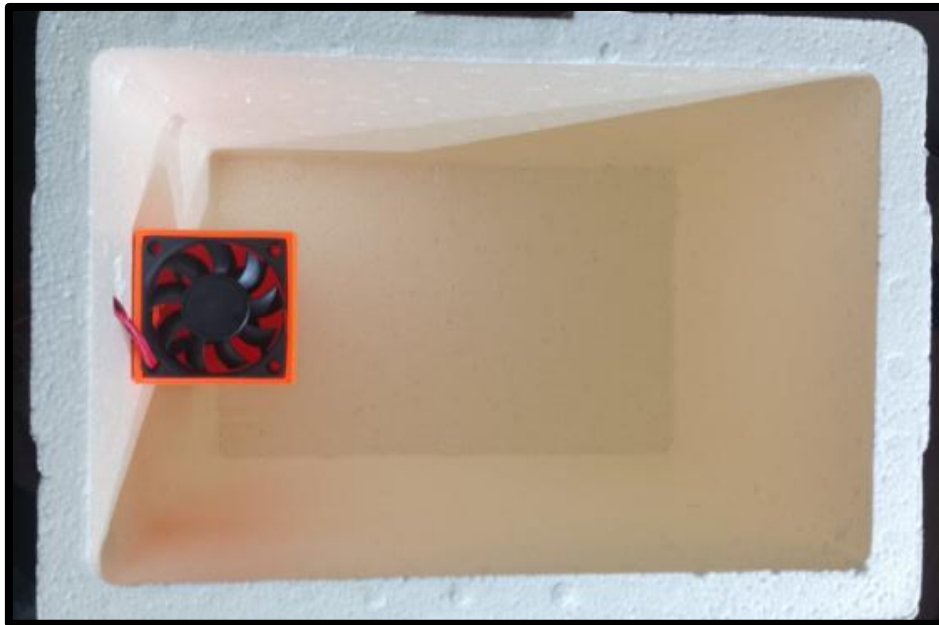
Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 17 - Detalhes do sistema de aquecimento.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 18 - Sistema de aquecimento instalado.



Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.3 SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE

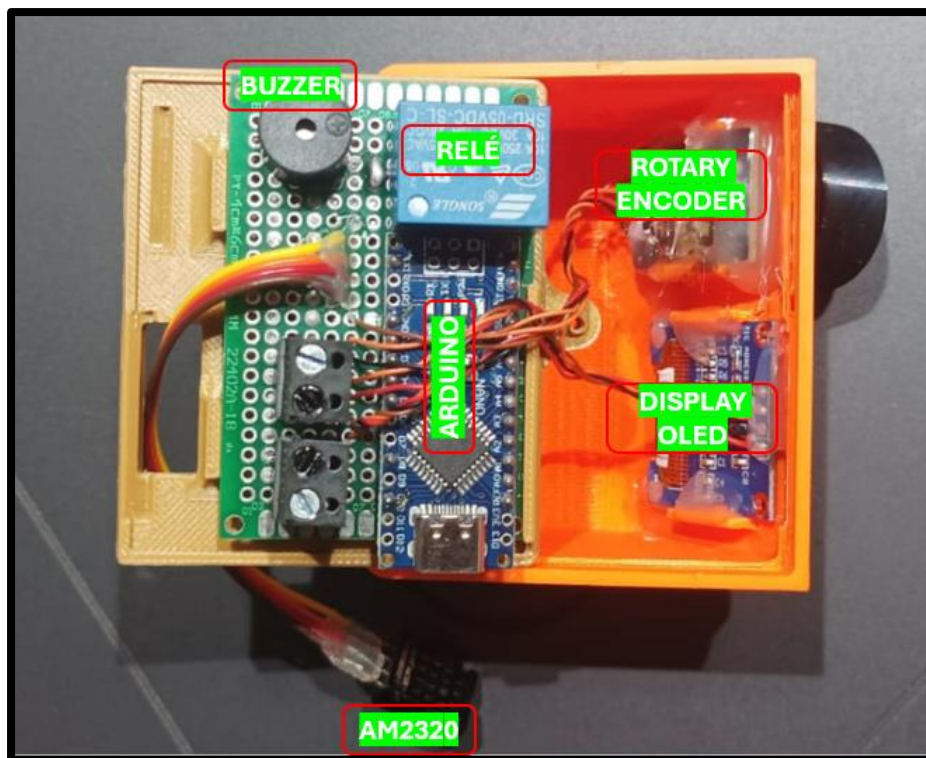
O sistema de monitoramento e controle foi projetado para em sua maior parte ficar fora da caixa (figura 19), isolado do calor interno pois é composto por circuitos eletrônicos (figura 20) que não devem ser expostos a temperaturas mais altas.

Figura 19 - Painel de monitoramento e controle instalado.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 20 - Circuito de monitoramento e controle.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 21 - Parte do sistema de aquecimento e monitoramento.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 22 - Chave power e entrada jack fêmea
12V 5A.



Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.4 CUSTO TOTAL DO PROJETO

Abaixo (figura 35) seguem os valores de cada componente usado totalizando R\$ 278,70, custo 23,85% menor que o valor da concorrente mais barata, a creality Dry Box 2.o.

Figura 23 - Valores gastos no projeto.

ÍTEM	VALOR
ARDUINO NANO	R\$ 46,50
CAIXA DE ISOPOR 14 LITROS	R\$ 22,00
ROTARY ENCODER	R\$ 15,00
RESISTÊNCIA 12V 40W	R\$ 15,50
BLOCO AQUECEDOR	R\$ 14,00
CHAVE POWER	R\$ 3,50
PLUG POWER JACK FÊMEA	R\$ 3,80
PLUG POWER JACK MACHO	R\$ 2,00
FONTE CHAVEADA 12V 5A	R\$ 42,00
DISPLAY OLED	R\$ 30,00
VENTOINHA	R\$ 15,00
DISSIPADOR	R\$ 9,00
SENSOR AM2320	R\$ 28,90
PEÇAS IMPRESSAS	R\$ 19,00
BUZZER	R\$ 2,50
PLACA PCI 4X6	R\$ 5,00
RELÉ 5V	R\$ 5,00
TOTAL	R\$ 278,70

Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.5 FOTOS DO PROJETO FINALIZADO

Figura 24 - vista frontal.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 25 - vista traseira.



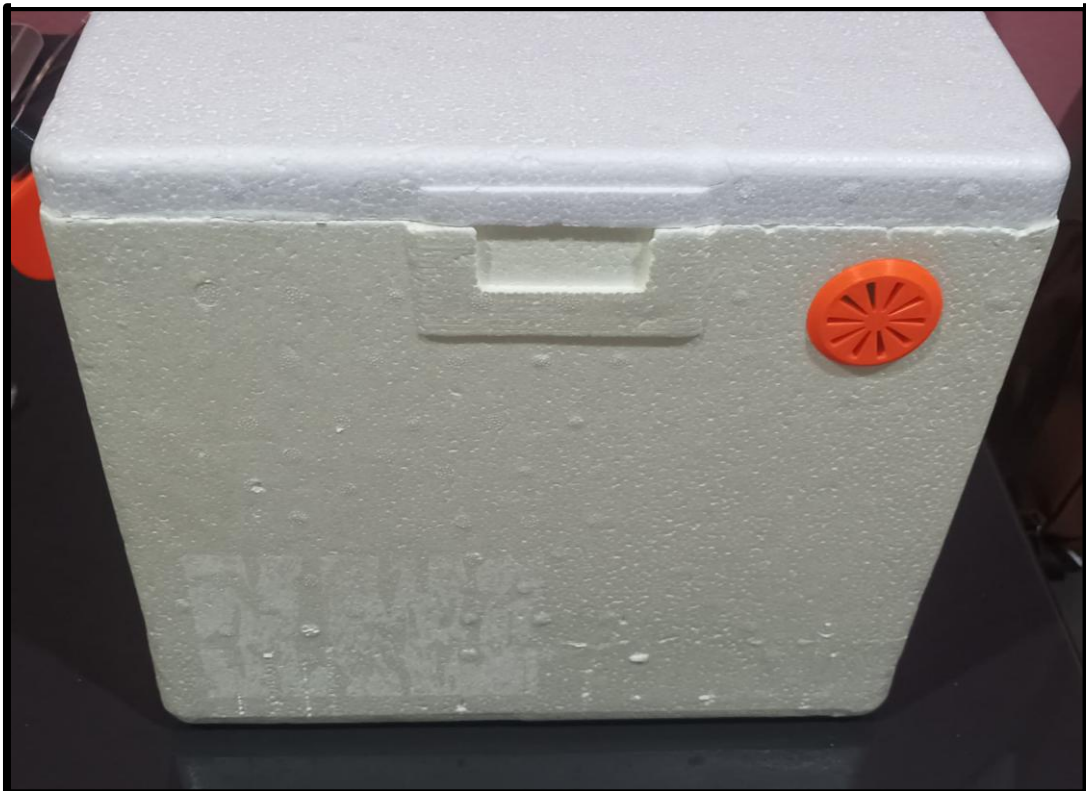
Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 26 - vista lateral esquerda.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 27 - vista lateral direita.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 28 - vista superior.



Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.6 PROGRAMAÇÃO

Após a montagem de todo o hardware partimos para a programação visando atender às necessidades descritas no fluxograma (figura 11).

Para podermos entender melhor, dividimos o código final em partes.

1. **Inclusão de bibliotecas e definições iniciais:** importar bibliotecas e configurar parâmetros essenciais do sistema.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_AM2320.h>
#include <Encoder.h>

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 32
#define OLED_RESET -1
```

```
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,  
OLED_RESET);
```

```
Adafruit_AM2320 am2320 = Adafruit_AM2320();
```

```
#define RELAY_PIN 5
```

```
#define BUZZER_PIN 8
```

```
#define ENCODER_CLK 4
```

```
#define ENCODER_DT 3
```

```
#define ENCODER_SW 2
```

Nesta seção são incluídas bibliotecas responsáveis pela comunicação com os periféricos: Wire (I2C), Adafruit_SSD1306 (display OLED), Adafruit_AM2320 (sensor de temperatura e umidade) e Encoder (encoder rotativo). Também são definidos os pinos utilizados e as dimensões do display.

2. **Declaração de objetos e variáveis globais:** Inicializar variáveis e objetos que serão utilizados ao longo do programa.

```
Encoder myEnc(ENCODER_CLK, ENCODER_DT);
```

```
int setTemperature = 25;
```

```
int setTime = 0;
```

```
bool isRunning = false;
```

```
bool buzzerActive = false;
```

```
unsigned long startTime = 0;
```

```
unsigned long buzzerStartTime = 0;
```

```
int menuIndex = 0;
```

```
bool selecting = true;
```

```
int lastPosition = 0;
```

```
unsigned long lastBlinkTime = 0;
```

```
bool showUnit = true;
```

```
bool buttonPressed = false;
```

```
unsigned long lastDebounceTime = 0;
```

```
const unsigned long debounceDelay = 50;
```

Define variáveis que controlam o estado do sistema, como temperatura e tempo definidos, controle do menu, debounce do botão, status do processo de secagem, além de variáveis auxiliares para controle visual e interação com o usuário.

3. **Configuração inicial (setup):** Realizar a configuração dos dispositivos e periféricos no início do funcionamento.

```
void setup() {  
    pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(ENCODER_SW, INPUT_PULLUP);  
  
    Serial.begin(115200);  
    Wire.begin();  
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);  
    display.clearDisplay();  
    display.display();  
  
    am2320.begin();  
    myEnc.write(0);  
}
```

Configura os pinos do relé, buzzer e botão do encoder, inicia a comunicação I2C, o display OLED e o sensor AM2320. Também zera a posição do encoder para garantir uma leitura correta desde o início.

4. **Loop Principal (loop):** Executa continuamente a lógica de controle do sistema, interação com o usuário e monitoramento de variáveis.
 - **Leitura e Tratamento do Encoder Rotativo:** Lê a posição atual do encoder e, dependendo do modo (selecionando ou editando), altera o índice do menu ou os valores de temperatura e tempo configurados.

```
int newPosition = myEnc.read() / 2;
```

```
// Blinking das unidades
```

```
// Mudança de menu ou edição de valores
```

- **Leitura do Botão com Debounce:** Detecta o pressionamento do botão do encoder com controle de debounce. Dependendo do estado atual, inicia ou cancela o processo de secagem, ou entra/sai do modo de edição.

```
if (digitalRead(ENCODER_SW) == LOW) {  
    if (!buttonPressed && (millis() - lastDebounceTime >  
debounceDelay)) {  
        buttonPressed = true;  
        lastDebounceTime = millis();  
  
        if (!isRunning) {  
            if (menuIndex == 2 && selecting) {  
                isRunning = true;  
                startTime = millis();  
                buzzerActive = false;  
                digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);  
            } else {  
                selecting = !selecting;  
            }  
        } else {  
            isRunning = false;  
            digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);  
            buzzerActive = false;  
            digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);  
        }  
    }  
} else {  
    buttonPressed = false;  
}
```

- **Leitura dos Sensores AM2320:** Realiza a leitura da temperatura e da umidade ambiente utilizando o sensor digital AM2320.

```
float temperature = am2320.readTemperature();
int humidity = (int)am2320.readHumidity();
```

- **Cálculo de Tempo Restante:** Calcula o tempo decorrido desde o início da operação e, a partir disso, determina o tempo restante de secagem.

```
unsigned long elapsedTime = (millis() - startTime) / 1000;
    unsigned long remainingTime = (setTime * 3600UL > elapsedTime)
? (setTime * 3600UL - elapsedTime) : 0;
    int hours = remainingTime / 3600;
    int minutes = (remainingTime % 3600) / 60;
    int seconds = remainingTime % 60;
```

- **Controle do Relé:** Controla o aquecimento através de um sistema ON/OFF obedecendo os limites de $\pm 1^\circ\text{C}$ em relação à temperatura definida para evitar oscilações rápidas do relé.

```
if (temperature < setTemperature - 1) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
} else if (temperature >= setTemperature + 1) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
}
```

- **Controle do Buzzer:** Ativa o buzzer por 5 segundos com som intermitente para indicar o fim do processo de secagem.

```
if (buzzerActive) {
```

```

    if (millis() - buzzerStartTime <= 5000) {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, (millis() / 500) % 2 == 0 ? HIGH :
LOW);
    } else {
        buzzerActive = false;
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    }
}

```

- **Atualização do Display OLED:** Atualiza o conteúdo visual mostrado ao usuário, alternando entre o menu de configuração e os dados de operação em tempo real, como temperatura, umidade e tempo restante.

```

display.clearDisplay();
// Mostra o menu ou dados em tempo real
display.display();

```

5. **Delay Final:** Pequeno atraso no loop principal para reduzir o consumo de processamento e evitar leituras múltiplas excessivas.

```

delay(50);

```

4.4.7 MENU VISUAL (IHM)

O menu visual foi elaborado pensando em uma interface de operação simples e intuitiva usando as funções do Rotary encoder, onde o giro no sentido horário incrementa/avança, sentido anti-horário decrementa/volta e o click do switch tem a função entrar.

4.4.7.1 AJUSTE DE TEMPERATURA

O ajuste de temperatura permite que o usuário escolha uma temperatura entre 25°C até 70°C graus célsius com incrementos de 5 em 5 graus exemplo: 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, ...

Figura 29 - Menu de seleção de temperatura.



Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.7.2 AJUSTE DE TEMPO

O ajuste de tempo funciona de forma semelhante ao ajuste de temperatura visto anteriormente, porém, dentro dos limites de 0 até 80 horas, com incrementos de 2 em 2 exemplo: 0h, 2h, 4h, ...

Figura 30 - Menu de seleção de tempo.



Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.7.3 INICIALIZAR

Ao entrar na opção START o usuário será direcionado para a tela de monitoramento onde será possível visualizar dados como temperatura atual e tempo restante localizados na parte superior da tela, como também dados de temperatura e umidade atual dentro da câmara de secagem, mostrado na parte inferior da tela, caso o usuário acione o click o programa de secagem será interrompido voltando para os menus de seleção.

Figura 31 - Menu iniciar.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 32 - Tela de monitoramento.

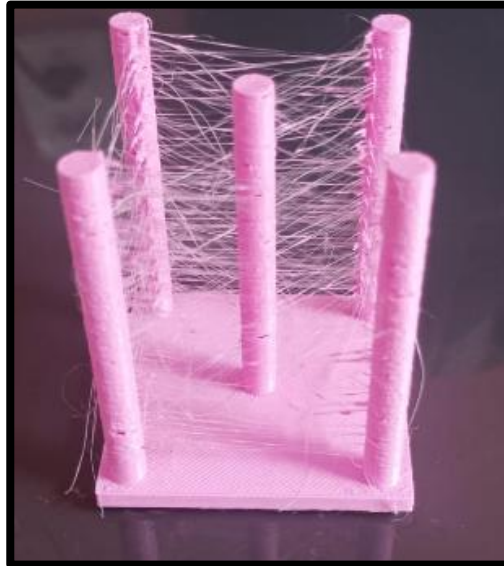


Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.8 TESTES ANTES DA SECAGEM

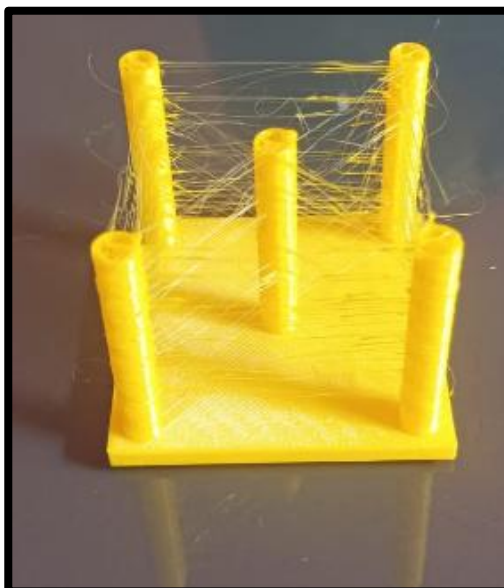
Foram realizadas impressões de teste utilizando filamentos PLA (figura 45) e ABS (figura 46) armazenados por um período prolongado e que não se encontravam em estado de novos, com o objetivo de analisar os efeitos da umidade acumulada nos materiais durante a impressão 3D.

Figura 33 - Impresso em PLA com excesso de umidade.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 34 - Impresso em ABS com excesso de umidade.



Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.9 TESTES DEPOIS DA SECAGEM

Após 8 horas de secagem a uma temperatura de 45°C graus para o PLA (figura 47) e 70°C para o ABS (figura 48), chegamos a uma melhora significativa, onde fica visível a diferença de qualidade entre as peças de antes e depois da secagem

Figura 35 - Impresso em PLA após secagem de 8 horas.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 36 - Impresso em ABS após secagem de 8 horas.



Fonte: O próprio autor, 2025.

4.4.10 DADOS GRÁFICOS

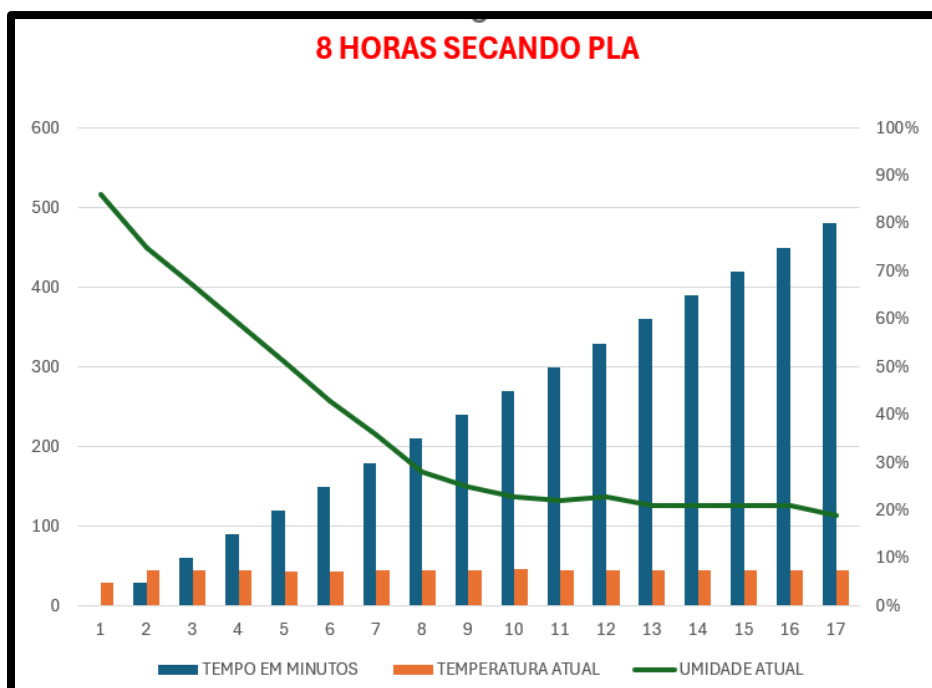
Abaixo estão expostas as tabelas e os gráficos gerados a partir de dados coletados durante período de secagem do PLA e do ABS, acompanhados também de fotos da pesagem dos materiais antes e depois evidenciando a perda de peso através da evaporação da água.

Figura 37 - Monitoramento da secagem do PLA.

MATERIAL: PLA TEMPERATURA: 45°C TEMPO: 8 HORAS PERÍODO DE COLETA: 30 MINUTOS		
TEMPO EM MINUTOS	TEMPERATURA ATUAL	UMIDADE ATUAL
0	30,1	86%
30	44,5	75%
60	45,2	67%
90	45,8	59%
120	44	51%
150	44,3	43%
180	44,8	36%
210	44,9	28%
240	45,3	25%
270	45,9	23%
300	45,8	22%
330	45,1	23%
360	44,5	21%
390	45	21%
420	45,3	21%
450	45,6	21%
480	44,7	19%

Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 38 - Gráfico da secagem do PLA.



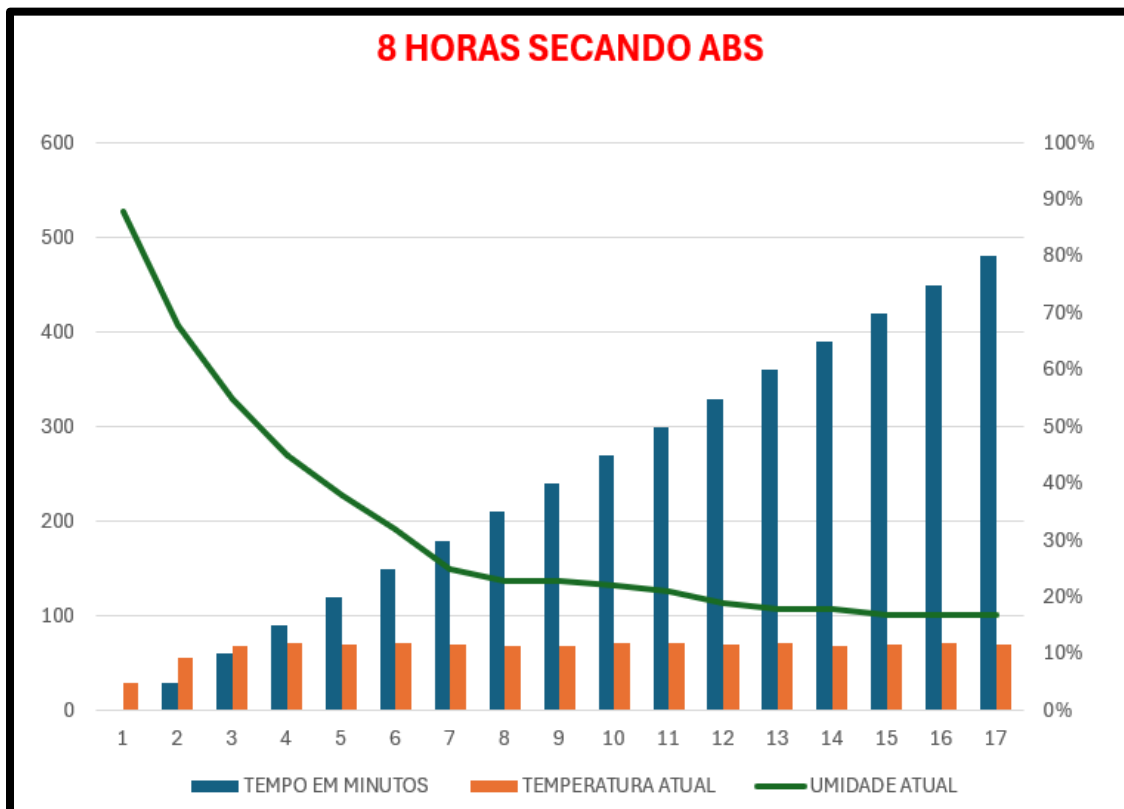
Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 39 – Monitoramento da secagem do ABS.

MATERIAL: ABS TEMPERATURA: 70°C TEMPO: 8 HORAS PERÍODO DE COLETA: 30 MINUTOS		
TEMPO EM MINUTOS	TEMPERATURA ATUAL	UMIDADE ATUAL
0	30,1	88%
30	55,3	68%
60	69,1	55%
90	71,2	45%
120	70,3	38%
150	71,5	32%
180	69,5	25%
210	69,3	23%
240	69	23%
270	71,3	22%
300	71,8	21%
330	69,8	19%
360	71,4	18%
390	69,2	18%
420	70,6	17%
450	71,8	17%
480	69,9	17%

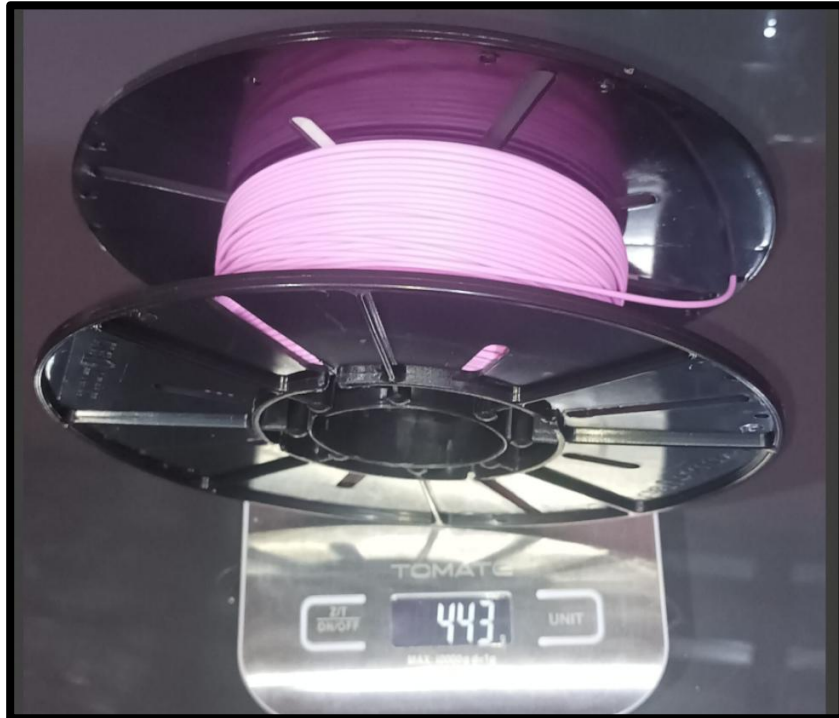
Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 40 - Gráfico de secagem do ABS.



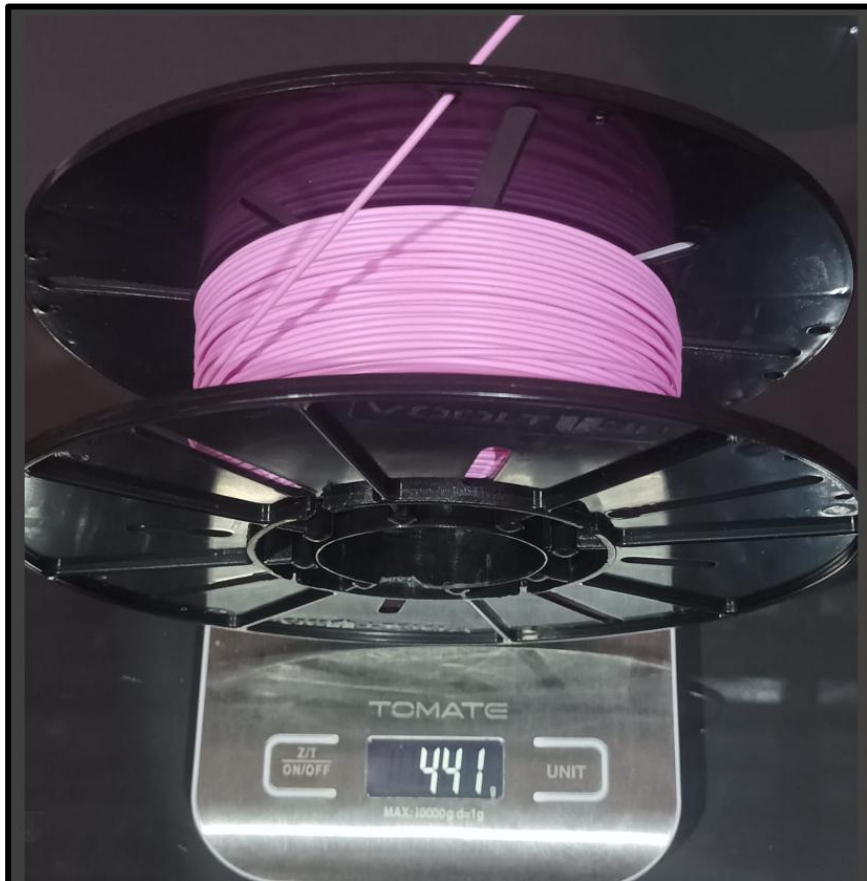
Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 41 - PLA antes da secagem.



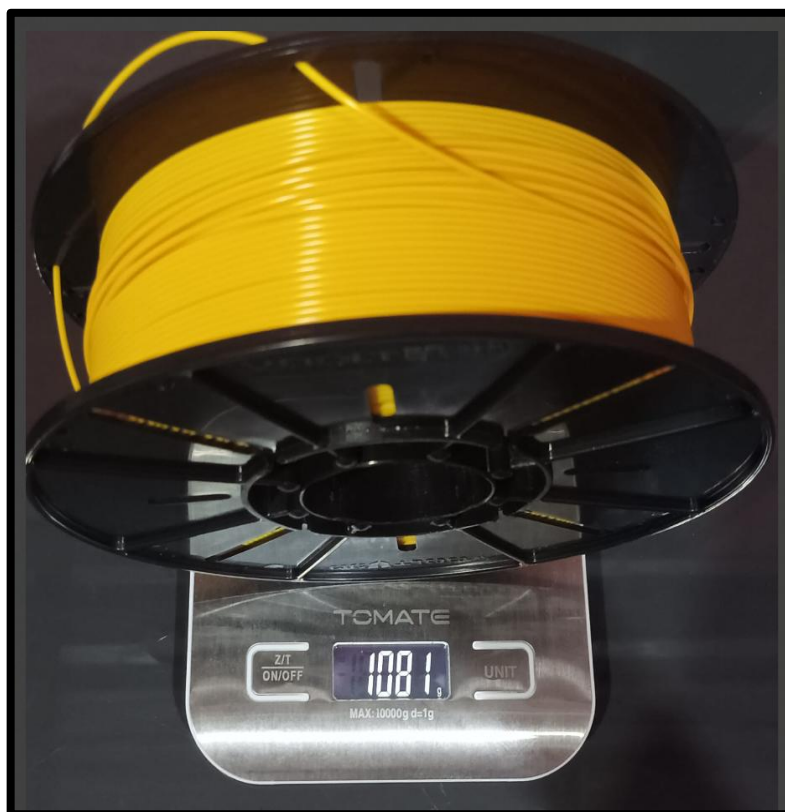
Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 42 - PLA depois da secagem.



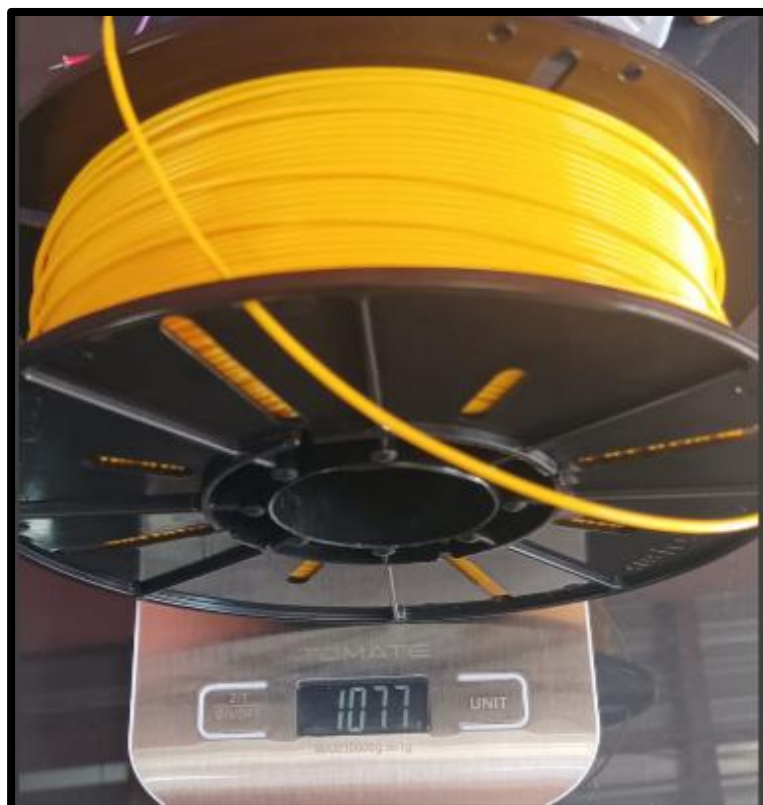
Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 43 - ABS antes da secagem.



Fonte: O próprio autor, 2025.

Figura 44 - ABS depois da secagem.



Fonte: O próprio autor, 2025.

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados e evidências obtidos por meio de testes práticos, é possível afirmar que o projeto de uma secadora de filamentos de baixo custo atingiu com êxito seus objetivos. Os resultados demonstraram desempenho superior à solução concorrente desenvolvida neste trabalho, destacando-se pela capacidade de secar dois carretéis simultaneamente, alcançar temperaturas finais mais elevadas, oferecer um tempo de secagem mais prolongado e ser inteiramente construída com componentes disponíveis no mercado nacional. Além disso, o software embarcado permanece aberto a futuras melhorias, permitindo personalizações e avanços conforme a necessidade do usuário. O projeto também apresenta potencial para ampliação, seja por meio da inclusão de novos sensores, automação mais precisa ou adaptação para diferentes escalas de uso, o que o torna uma solução versátil e promissora no contexto da impressão 3D. Algumas melhorias podem ser aplicadas ao projeto visando melhorar ainda mais o seu desempenho, como a troca do display por outro maior, utilizar uma caixa maior para aumentar a capacidade de materiais secando ao mesmo tempo, melhorias e adição de mais funcionalidades aos menus, adição de saídas com tubos PTFE visando imprimir direto da secadora, dentre outras coisas.

REFERÊNCIAS

AZUMA, S. et al. *Effects of moisture on the mechanical properties of 3D printed PLA*. Materials Science and Engineering, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860418304779>>. Acesso em: 12 abril 2025.

BHANDARI, A. et al. *Cooling mechanisms in 3D printing technology*. Journal of Manufacturing Processes, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860418304779>>. Acesso em: 12 abril 2025.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2. ed. New York: Springer, 2015. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Additive-Manufacturing-Technologies-Printing-Prototyping/dp/1493921126>>. Acesso em: 12 abril 2025.

HUANG, Y. et al. *Effect of moisture absorption on the mechanical properties of 3D printed filaments*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-024-14041-5>>. Acesso em: 12 abril 2025.

KANG, S.; LIM, Y.; KIM, S. *The effect of filament moisture on the printing quality in FDM 3D printers*. Journal of 3D Printing and Additive Manufacturing, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860418304779>>. Acesso em: 15 abril 2025.

MEMON, R.; SYED, A.; RAZA, S. *Arduino-based 3D printing filament dryer*. Journal of Engineering Science and Technology, 2019. Disponível em: <<https://www.irjet.net/archives/V6/i2/IRJET-V6I2423.pdf>>. Acesso em: 13 abril 2025.

MORANDINI, M. M.; DEL VECHIO, G. H. *Impressão 3D, tipos e possibilidades: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências.* Revista Interface Tecnológica, 2020. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/866>>. Acesso em: 14 abril 2025.

MOURA, R. B. de. *Os efeitos da variação nos parâmetros de fabricação e do percentual de umidade nas propriedades mecânicas de componentes fabricados por FDM em poliamida.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/240159>>. Acesso em: 12 abril 2025.

PEETERS, M. *Impact of filament moisture on extrusion and print quality.* 3D Printing Journal, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860418304779>>. Acesso em: 13 abril 2025.

ZHAO, J.; LI, L.; WANG, L. *Study on thermal management and cooling of 3D printing.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-heat-and-mass-transfer/vol/121/suppl/C>>. Acesso em: 13 abril 2025.