



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS-DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

REBECCA OLIVEIRA LOPES

SISTEMA IOT PARA MONITORAMENTO DE UMA ESTUFA DE SECAGEM DE
FILAMENTO PLA

MANAUS

2023

REBECCA OLIVEIRA LOPES

**SISTEMA IOT PARA MONITORAMENTO DE UMA ESTUFA DE SECAGEM DE
FILAMENTO PLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação do Campus Manaus Distrito Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (CMDI/IFAM), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Dr. Vitor Bremgartner da Frota

MANAUS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L864s Lopes, Rebecca Oliveira.
Sistema IoT para monitoramento de uma estufa de secagem de
filamento PLA / Rebecca Oliveira Lopes. — Manaus, 2023.
83f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de
Engenharia de Controle e Automação, 2023.

Orientador: Prof.º Vítor Bremgartner da Frota, Dr.

1. Internet das coisas. 2. IoT. 3. Sensores. 4. Estufa. I. Frota, Vítor
Bremgartner da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Amazonas. III. Título.

CDD 629.89

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

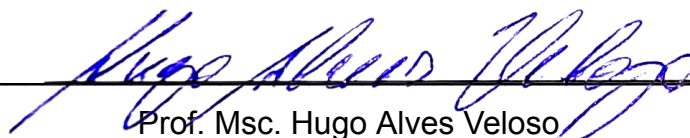
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vitor Bremgartner da Frota
Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campus CMDI
Orientador



Prof. Msc. Marcelo Chamy Machado
Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campus CMC



Prof. Msc. Hugo Alves Veloso
Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campus CMDI

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pois Ele quem me deu capacidade, paciência, perseverança e tem me acompanhado em minha jornada acadêmica até aqui.

Agradeço a minha mãe Delcimária Oliveira Lopes e meu pai Altamir da Silva Lopes, por sempre colocarem minhas necessidades acima das deles, por me apoiarem e me darem a oportunidade de estudar e me desenvolver academicamente e profissionalmente, tudo que sou agora é por causa deles.

Agradeço também aos meus amigos Pedro Palheta Neto, Ytalo, Ícaro, Janderson, Hylbert, Yure, entre outros, que me ajudaram com sua companhia, deixaram minha vida mais fácil de ser vivida, madrugadas de estudo mais divertidas, e salas de aula mais leves, à vocês meu eterno amor, contem comigo para tudo.

Agradeço também ao meu professor orientador, Vitor Bremgartner por sua orientação e oportunidades ao longo da minha jornada no campus.

Agradeço ao Instituto Federal do Amazonas, que ao longo do meu desenvolvimento acadêmico, me proveu de bons professores e acesso a bons materiais de estudo, contribuindo assim para a construção do meu conhecimento dentro da carreira de Engenharia de Controle e Automação.

Eu vou sofrer, e vou falhar inúmeras vezes, mas me render é um privilégio que não tenho.

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de um sistema para secagem de filamentos de PLA utilizando os princípios de internet das coisas para melhor monitoramento e controle dos parâmetros de temperatura e umidade com o objetivo de melhorar/tornar reutilizável os filamentos que foram danificados devido à umidade local da região. Proporcionando ao usuário a possibilidade de monitorar e controlar os parâmetros através de um dispositivo móvel.

Palavras Chaves: IoT, Sensores, Estufa, Controle de Temperatura, Controle de Umidade

ABSTRACT

In this work, a prototype of a system for drying PLA filaments was developed using the principles of the internet of things to better monitor and control temperature and humidity parameters with the aim of improving/making reusable filaments that were damaged due to local humidity. Of region. Providing the user with the possibility of monitoring and controlling parameters through a mobile device.

Keywords: IoT, Sensors, Greenhouse, Temperature Control, Humidity Control

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - ESP32	34
Figura 2 - Pinagem de Esp32	35
Figura 3 - Diagrama de blocos funcionais	35
Figura 4 - Sensor de Temperatura e Umidade DHT22.	37
Figura 5 - Sensor de Temperatura DS18B20	39
Figura 6 - Lâmpada Incandescente	40
Figura 7 - Relé de Estado Sólido de Dois Canais	41
Figura 8 - Mini Fonte Aberta AC/DC 100-220V para 5V	42
Figura 9 - Componentes do Blynk.io	44
Figura 10 - Diagrama de funcionamento	45
Figura 11 - Fluxograma de Funcionamento do Sistema.	48
Figura 12 - Site do Blynk.io	49
Figura 13 - Quickstart Blynk.io	50
Figura 14 - Biblioteca Blynk	51
Figura 15 - Tela Blynk.io	52
Figura 16 - Editor do app Blynk.	53
Figura 17 - Widgets do app Blynk.	53
Figura 18 -Configuração do firmware	53
Figura 19 - Boxes.py.	54
Figura 20 - Configurações na caixa no Boxes.py	55
Figura 21 - Caixa editada	56
Figura 22 - Desenho da caixa no RDWorksV8	56
Figura 23 - Foto do case completo	57
Figura 24 - Caixa de isopor 50L	58
Figura 25 - Estrutura Interna da Estufa	59
Figura 26 - Estrutura interna da caixa e posicionamento dos sensores	60
Figura 27 - Estrutura interna da caixa	61
Figura 28 - Estrutura externa da caixa	61
Figura 29 - Diagrama de funcionamento do projeto	63
Figura 30 - Bibliotecas utilizadas no código.	64
Figura 31 - Informações do template	65
Figura 32 - ID do projeto	65
Figura 33 - Blynk.begin	65
Figura 34 - Blynk.Write	66
Figura 35 - Blynk.virtualWrite	66
Figura 36 - Dashboard móvel	67
Figura 37 - Condições iniciais da estufa	69
Figura 38 - Condições iniciais da estufa	70
Figura 39 - Condições iniciais da estufa	70
Figura 40 - Gráfico de temperatura e umidade	71
Figura 41 - Interface Blynk.io web	73
Figura 42 - Botão de Start	73

Figura 43 - Botão de Reset	73
Figura 44 - Ajuste de Temperatura	74
Figura 45 - Rótulos dos parâmetros	75
Figura 46 - Rótulos dos parâmetros	75
Figura 47 - Interface Blynk.io IOS e Android	76
Figura 48 - Google Planilhas	77
Figura 49 - Dados coletados	77
Figura 50 - Gráfico de temperatura e umidade pelo tempo	78
Figura 51 - Gráfico de temperatura e umidade pelo Blynk.io	79
Figura 52 - Umidade - Hora	80
Figura 53 - Análise mecânica da resistência do filamento.	80
Figura 54 - Resultado da impressão após o processo de secagem.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais utilizados para montagem do projeto. (continua)	32
Tabela 1: Materiais utilizados para montagem do projeto. (conclusão)	33
Tabela 2 - Dados técnicos ESP32 (continua)	36
Tabela 3 - Especificações Técnicas do Sensor de Temperatura e Umidade DHT11	38
Tabela 4: Tabela de especificações técnicas do DS18B20 (continua)	39
Tabela 5: Especificações técnicas do módulo relé de estado sólido SSR de 2 canais.	41
Tabela 6: Pinagem módulo relé.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
FDM	Modelagem de deposição fundida
IOT	Internet das Coisas
PLA	Ácido polilático
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
MA	Manufatura aditiva
GPIO	General Purpose Input/Output
TCC	Trabalho de conclusão de curso
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
CAD	Computer Aided Design
PETG	Polietileno Tereftalato
PC	Personal Computer
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
RFID	Radio-frequency identification
TI	Tecnologia da Informação
WIFI	Wireless Fidelity
SOC	System-on-a-Chip
FPGA	Field-programmable gate array
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
WWW	World Wide Web
API	Application Programming Interface
IDE	Integrated Development Environment(Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
VCC	Common Collector Voltage
GND	Ground (Terra)
NC	Não conectado
SSR	Solid State Relay
V	Volts
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua
LCD	Display de Cristal Líquido
ID	Identification
CSV	Comma Separated Values (Valores Separados por Vírgulas)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
C°	Graus Celsius
Ω	Ohm
Cm	Centímetros
mm	Milímetros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	19
1.3 HIPÓTESES DO TRABALHO.....	19
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 GERAL.....	20
1.4.2 ESPECÍFICOS.....	20
1.5 DESCRIÇÃO DO TRABALHO.....	20
1.6 METODOLOGIA.....	21
1.7 CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 IMPRESSÃO 3D.....	23
2.2 ESTUFAS.....	24
2.3 FATORES CLIMÁTICOS.....	24
2.4 CARACTERÍSTICAS DO PLA.....	25
2.4.1 MÉTODOS TRADICIONAIS DE SECAGEM DE FILAMENTOS DE PLA.....	26
2.5 INTERNET DAS COISAS (IOT).....	28
2.6 SISTEMAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE REMOTO.....	30
2.6.1 PROTOCOLO HTTP.....	30
2.7 TRABALHOS RELACIONADOS.....	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 MATERIAIS.....	32
3.2 HARDWARE.....	33
3.2.1 ESP32.....	33
3.2.2 SENSORES.....	36
DHT22.....	37
DS18B20.....	38
3.2.3 ATUADORES.....	39
LÂMPADA INCANDESCENTE.....	40
MÓDULO RELÉ DE ESTADO SÓLIDO.....	40
MINI FONTE CONVERSOR AC/DC DE 110 A 220V PARA 5V.....	42
3.3 SOFTWARE.....	43
3.3.1 BLYNK.IO.....	43
3.3.2 ARDUINO IDE.....	45
3.4 MÉTODOS.....	46
3.4.1 FUNCIONAMENTO DO PROJETO.....	47
3.4.2 PLATAFORMA BLYNK.IO.....	49
3.4.5 DESENVOLVIMENTO DO CASE.....	54
4 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO.....	58
4.1 ESTRUTURA DA ESTUFA.....	58
4.1 FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO.....	62
4.2 CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE.....	63

4.2.1 VISUALIZAÇÃO DE DADOS.....	67
4.2.2 ESCOLHA DE PARÂMETROS.....	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	72
5.1.1 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA.....	72
5.1.2 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	77
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS.....	84

1 INTRODUÇÃO

A prototipagem 3D, também conhecida como Manufatura Aditiva tem se desenvolvido exponencialmente na fabricação de produtos mais complexos nos últimos tempos, por possuir uma alta praticidade, customização e versatilidade. Essa tecnologia proporciona a criação de peças tridimensionais a partir de modelos computacionais e possui matéria-prima com materiais diferentes, entre eles o ácido polilático, conhecido também como PLA, que é o objeto de estudo deste trabalho (RECH, Fernanda et al, 2021). O ácido polilático (PLA) é um dos mais utilizados nessa técnica de fabricação, sendo um termoplástico semicristalino ou amorfo, sintetizado a partir do ácido láctico obtido de fontes renováveis, podendo ser extraído do amido de milho e da batata, cana-de-açúcar e raízes de tapioca (MEDEIROS, 2022).

É um material que é amplamente utilizado na Manufatura aditiva, que possui inúmeras vantagens, entre elas são o fato de ser um material que não é tóxico, e por ser um termoplástico biodegradável e o mais ecológico do que a maioria dos filamentos 3D (BESKO, 2017). Outras das suas características são o baixo custo, a facilidade de impressão, pois possui uma baixa temperatura de fusão e se torna adequado a uma variedade de impressoras; possui também uma grande variedade de cores e que proporciona uma boa aparência estética, e por fim uma das características que é importante ressaltar é que ele possui algumas limitações, uma delas é que possui uma baixa resistência mecânica, ou seja, não é adequado para peças que precisam de resistência, também não é recomendado para aplicações que requerem altas temperaturas, em torno dos 60°C, pois possui um ponto de amolecimento relativamente baixo. Além disso é um material bastante higroscópico, ou seja, tende a acumular umidade, característica que pode danificar e estragar o material, muitas vezes afetar diretamente e de maneira negativa a qualidade da impressão, por isso, algumas vezes possui a necessidade de uma secagem prévia, precisa ser armazenado de maneira correta ou ser preparado previamente antes da impressão.

Por sua vez, a IoT é uma tecnologia que tem se tornado cada vez mais utilizada nos meios atuais, e por isso estando mais presente nos aspectos da vida

cotidiana e também em vários setores da indústria. IoT é a sigla para Internet das Coisas (em inglês, *Internet of Things*), conceito utilizado para descrever ambientes onde objetos se comunicam uns com os outros, se referindo à conexão de dispositivos e objetos do mundo físico à internet, permitindo que exista a troca de dados e informações entre eles. A ideia central é que dispositivos possam coletar informações sobre o ambiente em que se encontram, processá-las e compartilhá-las com outros dispositivos e usuários, dessa maneira criando um ecossistema de objetos conectados que podem ser monitorados e controlados remotamente. Quando essa tecnologia é integrada a sensores e atuadores, temos um ambiente inteligente e interconectado e a interconexão desses dispositivos cria uma gama de aplicações e benefícios. Dessa maneira, o IoT continua a se expandir e evoluir, impulsionando a transformação digital em vários setores. Sendo assim, o IoT se torna um método mais fácil e prático em quesito de capacidade de controlar e medir variáveis como temperatura e umidade, sendo uma ferramenta prática nos conceitos de controle de estufas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Filamentos de impressora 3D podem ser fabricados a partir de diferentes materiais, dependendo das propriedades e características desejadas na impressão, o PLA (ácido polilático), por possuir diversas vantagens como: a facilidade de impressão, baixa emissão de odores, biodegradabilidade e versatilidade de uso, porém esse tipo de filamento, assim como o nylon são suscetíveis a absorver umidade do ambiente. Por se tratar de um material higroscópico, esse tipo de filamento ao ficar exposto a umidade pode ter suas propriedades físicas e químicas alteradas. Uma das características principais de umidade em filamentos é a criação de bolhas, pois a umidade presa dentro do filamento de PLA pode criar vapor durante o processo de impressão. Além dessas bolhas comprometerem a integridade estrutural da peça e causar falhas, podem também produzir barulhos durante a impressão por conta das bolhas que estouram na medida que passam pelo bico, resultando também em inconsistências no fluxo do filamento. Outra característica é a má aderência das camadas, podendo causar uma delaminação ou separação das camadas após a impressão, problemas de extrusão. A falta de

resistência é outro problema, pois o filamento perde a rigidez e se torna quebradiço, fazendo com que ele se rompa antes mesmo de entrar no tracionador.

Com isso, verificou-se que no Instituto Federal do Amazonas campus Manaus Distrito Industrial possui laboratórios e salas de estudos nos quais os alunos podem aprender conceitos básicos e exercer a prática de aprendizado, laboratório do qual uma das ferramentas de estudo e prática são impressoras 3D. No momento notou-se uma grande necessidade de locais adequados para preservar os filamentos de PLA, como citado na introdução deste trabalho, a umidade pode ter um impacto negativo nos filamentos de PLA de várias maneiras. Como o campus está localizado em uma zona tropical, é muito provável que a má preservação desses filamentos possa ter como consequência a inviabilização destes.

Diante desse contexto, é importante que seja feita uma secagem de forma adequada para os filamentos de PLA para garantir a qualidade das impressões, e com isso surge a necessidade de desenvolver um sistema que monitore e controle as condições ambientais de uma estufa de secagem a fim de garantir a qualidade e preservação deste produto. A necessidade de automação e monitoramento contínuo com um sistema de IoT que permita o controle preciso de variáveis ambientais, como temperatura e umidade, de forma automatizada, tal como possuir um acesso remoto de dados coletados que possibilite ao usuário monitorar e tomar medidas corretivas, mesmo não estando fisicamente no local, melhorando a eficiência do processo de secagem e facilitando a detecção precoce de quaisquer desvios ou problemas ambientais na estufa.

Possível obter uma visão em tempo real das condições ambientais permitindo ajustes imediatos e precisos para manter o ambiente ideal de secagem, e capacidade de acessar os dados de qualquer lugar a qualquer momento proporciona mais flexibilidade e facilidade de gerenciamento.

Na realização do mesmo, podemos garantir a otimização do processo de secagem e garantir a qualidade dos filamentos, oferecendo resultados melhores nas impressões, reduzindo falhas e desperdício do material, impactando diretamente a produtividade e a confiabilidade das impressões. Portanto, este

trabalho se justifica pela necessidade de desenvolver um sistema de monitoramento IoT em uma estufa para secagem de filamentos PLA, visando melhorar a qualidade e eficiência da secagem, proporcionando aos usuários acesso remoto aos dados e controle das condições ambientais e contribuindo para área de impressão 3D no campus.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho irá abordar o desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento baseado em IoT específico para a estufa de secagem de filamentos PLA, onde será considerado o monitoramento de parâmetros como temperatura, umidade e tempo de secagem. O foco será a secagem de filamento PLA, que é um dos materiais mais comuns e amplamente utilizados na impressão 3D, logo, não serão considerados outros tipos de filamentos ou materiais, também não será abordado outros tipos de estufa ou processos de secagem.

O presente trabalho irá explorar os aspectos técnicos relacionados à implementação do sistema de monitoramento IoT, como a seleção e integração de sensores e atuadores, a comunicação dos dados coletados e a visualização das informações em tempo real, e por fim, será realizada uma análise dos dados coletados pelo sistema de monitoramento IoT, com objetivo de avaliar a eficácia da secagem dos filamentos de PLA e identificar possíveis melhorias no processo.

1.3 HIPÓTESES DO TRABALHO

A implementação de um sistema de monitoramento IoT na estufa de secagem de filamentos PLA permitirá um controle mais preciso dos parâmetros de secagem, resultando em uma secagem mais eficiente e reduzindo os riscos de danos aos filamentos causados pela umidade, podendo trazer benefícios significativos para o uso desses filamentos em laboratório, reduzindo o desperdício e maximizando a qualidade da impressão.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GERAL

Desenvolver e implementar um protótipo de um sistema de monitoramento e controle baseado em IoT para o processo de secagem de filamentos PLA em uma estufa, visando garantir a viabilidade de uso de filamentos que apresentam umidade.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- a) Analisar os requisitos e as condições ideais para a secagem de filamentos PLA, levando em consideração a umidade e a temperatura.
- b) Projetar e desenvolver um sistema de monitoramento IoT para coletar dados das condições internas da estufa, como temperatura e umidade na estufa de secagem.
- c) Integrar sensores e dispositivos de medição ao sistema IoT, garantindo a leitura para o monitoramento dos parâmetros de umidade e temperatura.
- d) Implementar uma interface de usuário intuitiva para a visualização de dados coletados e controle remoto das condições ambientais da estufa.
- e) Analisar os resultados obtidos pelos sensores, considerando a melhoria na qualidade dos filamentos, a eficiência do processo de secagem e a facilidade de controle e monitoramento remoto proporcionados pelo IoT.

1.5 DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho se divide em 7 capítulos, na qual o primeiro é uma breve contextualização de conceitos sobre PLA e IoT, justificativa do trabalho, delimitação do tema, hipóteses, metodologia e contribuição do estudo e os objetivos que se pretende alcançar ao longo deste estudo. No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico, que serve como embasamento com os conceitos estudados e que compõem o desenvolvimento do trabalho, o terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para a composição e desenvolvimento do trabalho, tal como os materiais que foram utilizados para a formação do protótipo, o quarto capítulo é onde se encontra o desenvolvimento de como foi construído a estufa, como hardware e software. O capítulo 5 é onde será apresentada a síntese

dos resultados e análise, o capítulo 6 apresenta as considerações finais sobre o projeto, bem como sugestões para futuras implementações e melhorias, e por fim, o capítulo 7 é onde estão relacionadas as referências que foram utilizadas como base para a construção do projeto.

1.6 METODOLOGIA

A metodologia citada no presente trabalho acadêmico visa a criação de um sistema de controle e monitoramento remoto para uma estufa de filamentos. Para tal, será realizado uma pesquisa experimental a fim de estudar e participar ativamente na condução do fenômeno, podendo alterar as variáveis que serão estudadas a fim de observar os efeitos sobre o objeto de estudo, e ainda uma pesquisa aplicada, para estudar os conceitos e modelagem do sistema.

A pesquisa aplicada é o tipo cujo objetivo é produzir conhecimentos científicos para aplicação prática voltada para a solução de problemas concretos, pesquisa que além de produzir novos conhecimentos, também produz novos processos tecnológicos e novos produtos, com resultados práticos em termos econômicos e na melhoria da qualidade de vida.

Quanto a pesquisa experimental, é toda pesquisa que envolve algum tipo de experimento, nele o investigador seleciona as variáveis que serão estudadas, define a forma de controle sobre elas e observa os efeitos sobre o objeto de estudo, em condições pré-estabelecidas. Ao controlar e manipular essas variáveis e medir resultados é possível testar hipóteses ou avaliar a eficácia de determinadas intervenções. Sendo importante destacar que para uma pesquisa experimental adequada, é necessário definir claramente as variáveis controladas, condições experimentais, procedimentos de coleta de dados e os critérios de análise dos resultados.

1.7 CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO

O estudo pode proporcionar várias contribuições, como:

- Melhoria do processo de secagem, pois pode fornecer *insights* e dados relevantes para melhorar o processo de secagem de filamentos PLA, ao poder controlar os parâmetros de secagem, é possível otimizar o tempo, a temperatura e a umidade ideal para obter filamentos secos.

- Redução de desperdícios, pois é possível evitar o descarte de filamentos de PLA danificados pela umidade, contribuindo para redução de desperdícios de material e os custos associados a substituição de filamentos defeituosos.
- Monitoramento remoto e controle em tempo real, a implementação desse sistema permite o acompanhamento remoto e em tempo real dos parâmetros de secagem da estufa, além da possibilidade do usuário poder controlar e definir os próprios parâmetros de secagem.
- Contribuindo para pesquisas acadêmicas, o estudo fornece conhecimentos e informações úteis para a comunidade acadêmica e científica. Através da documentação detalhada dos resultados e metodologia, outros pesquisadores podem se beneficiar das descobertas e desenvolver pesquisas relacionadas, ampliando o conhecimento na área.

Essas são apenas algumas das possíveis contribuições do estudo, pois a relevância e impacto podem variar dependendo do contexto específico do projeto, das necessidades que são apresentadas pela indústria e das aplicações práticas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar embasamento teórico para compreender os fundamentos da impressão 3D, a importância da secagem adequada dos filamentos de PLA, os conceitos básicos de IoT, sensores e dispositivos de medição envolvidos, as técnicas de controle, bem como pesquisas e projetos relacionados às noções teóricas necessárias para as discussões práticas deste trabalho de conclusão de curso, esse capítulo fornecerá o suporte teórico que corresponde aos itens aplicados neste projeto, para o desenvolvimento da aplicação deste trabalho.

2.1 IMPRESSÃO 3D

O termo impressão 3D, também chamado de fabricação aditiva, cobre na verdade uma diversa gama de processos e tecnologias, que oferecem a capacidade de produzir frações ou produtos completos desenhados em softwares de modelagem, como por exemplo, AutoCAD, *SolidWorks* e *Inventor*. Ao longo do tempo surgiram vários outros métodos de impressão como sendo um deles *Fused Deposition Modeling* (FDM), que tem sido o método mais utilizado no mundo, pois a partir de 2009 com a expiração da patente de tecnologia FDM, a impressão 3D deu salto de desenvolvimento e acessibilidade, devido a sua popularização através de *startups*, possibilitando acesso caseiro à impressão 3D, e permitindo que várias impressoras de baixo custo fossem criadas. Esse processo consiste na deposição de camadas ultrafinas de material termoplástico, extrudado a 1°C acima do seu ponto de fusão, em uma plataforma própria para sua construção (HUANG et al., 2013). A impressão 3D tem aplicações em uma variedade de setores, incluindo manufatura, medicina, arquitetura, engenharia, moda, design de produtos, entre muitas outras.

Essa tecnologia tem potencial de reduzir os custos e o tempo de produção, uma vez que não são necessários moldes ou ferramentas específicas para cada produto, o que torna a impressão 3D uma opção viável para produção de pequenas séries, protótipos funcionais e peças de reposição, eliminando a necessidade de estoques excessivos. O que difere o FDM dos demais métodos de impressão é que o material é acrescentado a uma pressão constante e em um fluxo contínuo através de um bocal de diâmetro reduzido (REVILLA-LEÓN; ÖZCAN, 2019). A

impressora mais utilizada no método FDM possui uma estrutura cartesiana padrão e um cabeçote de extrusão, que pode ter até três bicos extrusores, com uma câmara aquecida por resistências, cujo filamento é aquecido de forma a aumentar sua viscosidade (CALIGNANO et al., 2017). A vantagem desse processo é a menor exposição do operador durante o processo de fabricação, o operador deve somente realizar as etapas de preparação dos materiais, parametrização da máquina, retirada e limpeza da peça. (Volpato, N. (2021))

2.2 ESTUFAS

Estufas são lugares com o objetivo de acumular e conter a temperatura em seu interior, dessa maneira mantendo uma temperatura maior ou menor no seu interior que ao seu redor. É um aparato que permite a criação de um ambiente adequado para que plantas possam se desenvolver sem sofrerem com condições ambientais diversas (MARANGONI, DE SOUZA e MOREIRA, 2014). Apesar de as estufas terem essa definição, também pode ser um dispositivo utilizado para executar a secagem de algum material.

Uma estufa de secagem é composta por um sistema de controle, que tem a função de ajustar a temperatura do interior da estufa de acordo com as suas necessidades e da leitura de sensores. Por se tratar de um equipamento que utiliza calor para conseguir executar a secagem de algum produto, pode ser considerado um sistema térmico.

O monitoramento e controle do ambiente dentro de uma estufa desempenha um papel vital na reutilização de filamentos de PLA que foram danificados de alguma maneira pela umidade local da região amazônica. Por ser uma opção de baixo custo e prática de se realizar, a utilização de estufas é um dos métodos efetivos em relação a reutilização e secagem desses filamentos, por ser uma maneira segura e que possibilita ter um controle mais assíduo de dados fiéis aos reais, e por ser um ambiente fácil de monitorar e automatizar.

2.3 FATORES CLIMÁTICOS

Como citado anteriormente, é importante analisar as condições das regiões em que se é usado o filamento de PLA, para poder considerar o impacto que o clima local pode ter nas características desse filamento e na qualidade das

impressões. Principalmente na região amazônica por possuir um clima úmido e tropical, existem desafios que podem afetar o desempenho deste filamento, como por exemplo:

- **Temperatura:** o clima tropical amazônico é caracterizado por suas altas temperaturas ao longo do ano, em alguns momentos a alta temperatura pode afetar o filamento durante a sua impressão, levando ao amortecimento do material em momentos indesejados, o que pode resultar em deformações e falta de precisão nas peças finais.
- **Umidade:** A umidade relativa do ar é o quanto de água em forma de vapor existe na atmosfera no momento em relação ao total máximo que poderia existir, na temperatura observada, é o vapor de água que determina a umidade relativa do ar e sofre influência direta da temperatura.

2.4 CARACTERÍSTICAS DO PLA

Os principais materiais utilizados na categoria de máquinas de filamentos termoplásticos são: Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Poli (ácido láctico) (PLA), Politereftalato de Etileno Glicol (PETG), Policarbonato (PC) e Nylon. (SANTANA, 2018). O ácido polilático (PLA), é o principal filamento utilizado nas impressoras 3D, ele possui uma temperatura de impressão menor que acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), por isso não necessita de mesa aquecida para impressão (BESKO, 2017).

PLA é um poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo, bi compatível e biodegradável, sintetizado a partir do ácido láctico obtido de fontes renováveis. As fontes renováveis de onde é derivado o PLA são oriundas do amido de milho, cana-de-açúcar, raízes de tapioca e amido de batata (Brito et al, 2011). Não é tóxico e por ser um termoplástico biodegradável, e por isso mais ecológico do que a maioria dos filamentos de impressoras 3D. Por ser um material de fácil manipulação é bastante indicado aos iniciantes de impressão 3D, pode ser usado em louças descartáveis, produtos de higiene, embalagens de alimentos e têm menor propensão à deformação quando comparado com ABS (BESKO, 2017). Entre os entusiastas da impressão 3D, as chamadas comunidades “*makers*”, o PLA caracteriza-se por ser um dos materiais mais populares.

Por se tratar de um material quebradiço, deve-se evitar usá-lo em peças que requerem resistência mecânica, e também com exposições a temperaturas em torno de 60°C ou mais. Possui uma maior facilidade de entupir o bico do extrusor e seu armazenamento requer um cuidado maior devido ao fato do PLA absorver facilmente umidade do ar, caso aconteça, será necessário uma maior temperatura de extrusão (BESKO, 2017).

A maior parte dos filamentos de impressão 3D são higroscópicos, ou seja, são materiais que tendem a absorver umidade, por serem polímeros plásticos, eles são feitos de cadeias de moléculas unidas, as moléculas de água presente na umidade quebram essas cadeias, estragando a integridade do material. Algumas das características que é importante caracterizar dos PLA's são:

- **Biodegradabilidade:** uma das características do PLA é que ele é biodegradável, característica essa que é atribuída a sua estrutura molecular, que consiste em cadeias poliméricas de ácido láctico, portanto o clima úmido da região amazônica pode prejudicar essas propriedades.
- **Higroscopicidade:** um material higroscópico é aquele que possui propensão a absorver a umidade do ar, característica que o PLA possui, fazendo com que ocorra falhas de impressão por falhas de adesão das camadas, bolhas ou falhas estruturais nas peças, prejudicando também a resistência e durabilidade das peças finais.

2.4.1 MÉTODOS TRADICIONAIS DE SECAGEM DE FILAMENTOS DE PLA.

Essa seção apresenta alguns métodos que são utilizados para a secagem desses materiais, muitas vezes durante o uso desses materiais deixamos o carretel de filamento durante o uso na máquina e até mesmo depois, o que não é o recomendado pois no ambiente pode absorver bastante umidade, o mais adequado seria em uma caixa com sílica, isolado do ambiente externo, dependendo também das condições climáticas da região, em regiões mais úmidas é mais provável que os filamentos estraguem com mais frequência. Sendo assim, existem maneiras de minimizar os impactos causados pela alta umidade e temperaturas da região

amazônica e assim obter resultados melhores durante a impressão ao utilizar esse material, sendo essas recomendações:

- Secador de Filamentos:

Existem dispositivos projetados especificamente para secar filamentos, que consiste basicamente em por o rolo de filamentos dentro do dispositivo, selecionar a configuração desejada e esperar que o processo ocorra, normalmente esses dispositivos precisam de uma fonte de energia e funcionam através de um elemento de aquecimento que gera calor para evaporar toda umidade do filamento e do ar ao seu redor, dependendo do filamento utilizado, é possível setar uma temperatura ideal para o material.

- Forno/estufa:

Provavelmente a maneira mais fácil e comum de secar filamentos, e inclusive o objeto de nosso estudo, o forno ou estufa convencional é o método mais convencional, a temperatura normalmente é definida como um pouco abaixo da temperatura de transição vítrea do material plástico que está sendo utilizado, e após 6-8 horas é provável que toda umidade presente no material tenha evaporado. Os materiais possuem temperaturas adequadas, como por exemplo:

- PLA: 40-55° °C
- ABS: ~80 °C
- Nylon: ~80-90 °C

É aconselhado nestes casos a presença de um termômetro de forno para uma medição mais precisa.

- Desidratador de alimentos:

Também são ótimas ferramentas para secar filamentos, em caso de não ter um forno ou estufa adequado. Desidratadores foram criados originalmente para secar alimentos, por esse motivo foram projetados para operar em temperaturas mais baixas que fornos, tendo portanto uma melhor estabilidade de temperaturas dentro da faixa desejada.

- Armazenamento adequado:

Depois de um processo de secagem adequado ou quando o produto é novo, é necessário que o material fique armazenado em um ambiente com a umidade controlada, podendo ser uma caixa hermética com pacotes dessecantes até soluções especializadas, como a utilização de aditivos para repelir a umidade, um material muito comumente usado é a sílica.

2.5 INTERNET DAS COISAS (IOT)

Internet das Coisas é um conceito que tem ganhado força no mundo da tecnologia e também no acadêmico, o IoT se baseia em uma comunicação *wireless*, na qual é possível conectar vários objetos como sensores, *tags* RFID, *smartphones*, computadores e até objetos de uso comum. Esses objetos geram um fluxo de dados e a conexão permite que transmitam estes dados para outro objeto no meio, formando assim uma Internet das Coisas (WANZELER, FULBER, MERLIN, 2016). De maneira resumida, refere-se a um sistema de interconexão de dispositivos físicos através da internet, possibilitando que coletem e compartilhem dados de maneira autônoma, objetos que podem ser eletrodomésticos inteligentes, sensores, atuadores ou outros dispositivos.

Atualmente, é possível automatizar toda uma residência e controlá-la por um celular ou *tablet*, assim como sensores espalhados por uma cidade podem monitorar temperatura, e dispositivos como relógios podem constantemente monitorar o estado de saúde de uma pessoa, possibilitando acionar um médico imediatamente em caso de problemas. Com o avanço da tecnologia da informação (TI) em diversas áreas, o espaço de IoT expandiu de forma exponencial e levou a numerosos debates sobre sua definição (SILVA, 2019).

É preciso entender que existem elementos que são fundamentais para compreender o funcionamento de IoT, sendo seis principais elementos necessários para a construção de uma solução para Internet das Coisas, são esses: Identificação, sensores/atuadores, comunicação, computação, serviços e semântica (AL-FUQAHA, Ala et al, 2015).

- A identificação é uma parte crucial para que o IoT nomeie e corresponda serviços com a sua demanda. É importante que haja a identificação de forma individual dos dispositivos para entender cada um deles como um nó exclusivo dentro da rede, sendo possível atuar e coletar dados específicos de um determinado dispositivo (AL-FUQAHA, Ala et al, 2015).
- Os sensores e atuadores são os mais importantes para o desenvolvimento de soluções na Internet das Coisas, pois são responsáveis pela coleta de dados do meio em que eles foram aplicados, e responsáveis também pela troca de dados para os servidores de armazenamento (*data warehouse*, base de dados ou nuvem). Desta maneira, eles recebem comandos e agem provocando alterações ou registrando dados do contexto em que se encontram (AL-FUQAHA, Ala et al, 2015).
- A comunicação é utilizada para promover a conexão entre os dispositivos, as mais utilizadas no meio de IoT são; WiFi, Bluetooth, LoRa, entre outros (AL-FUQAHA, Ala et al, 2015).
- A computação se refere às unidades processadoras, como microcontroladores, microprocessadores, SOC's, FPGA's, e aplicações de software que representam o cérebro e a habilidade computacional do IoT, sendo incluídas também as plataformas de *hardware* (e.g, Arduino, Raspberry Pi, Esp32) (AL-FUQAHA, Ala et al, 2015)..
- Os serviços fornecidos por IoT de maneira resumida, são divididos entre: Serviços de Identificação; responsáveis por identificar dispositivos do mundo real trazidos para o mundo digital; Serviços de Agregação de Informação; coletam e sintetizam dados obtidos através de sensores dos dispositivos, Serviços de colaboração e inteligência; que agem sobre os Serviços de Agregação da Informação e utilizam dados para tomar decisões e reagir de acordo com determinados cenários e os Serviços Ubíquos, que visam fornecer Serviços de Colaboração e Inteligência sempre que forem necessários, em qualquer lugar e quem precise deles, esse sendo o objetivo principal de toda aplicação IoT (AL-FUQAHA, Ala et al, 2015). (REVISAR)
- A semântica de IoT se refere à habilidade de extrair conhecimento dos dados de forma inteligente, elemento que abrange a descoberta de conhecimento, incluindo reconhecimento e a análise dos dados e também a

associação de demandas aos recursos apropriados (AL-FUQAHA, Ala et al, 2015).

O IoT pode ser considerado como o aumento da “terceirização de máquinas”, onde novos dispositivos conectados monitoram e controlam outras máquinas usadas na produção, pois a princípio foi introduzido por pesquisadores do setor de indústria, porém foi absorvido por outros setores rapidamente e se tornou bastante popular no processo (SILVA, 2019). O IoT possui um potencial de trazer uma série de benefícios para diversos setores, como o de automação residencial, indústria, agricultura, saúde entre outros. Uma questão desafiadora que o IoT enfrenta é o fato da não utilização de um padrão comum e compartilhado que descreva as interfaces dos sensores e dispositivos, pelo fato da criação de novas redes de sensores e a expansão das existentes vem se tornando uma necessidade crescente a criação de uma padronização que representam as interfaces dos sensores (SILVA, 2019). Outros desafios enfrentados pelo IoT são a disponibilidade, a confiabilidade, a mobilidade, o desempenho, o gerenciamento, [...], a segurança e a privacidade.

2.6 SISTEMAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE REMOTO

Em paralelo ao avanço das tecnologias de comunicação de redes de computadores foram se desenvolvendo e após a popularização do *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) chegaram as redes WiFi, que garantiram a mobilidade de disponibilidade, dispensando a utilização de fios para a conexão com a internet (SILVA, 2019).

2.6.1 PROTOCOLO HTTP

O HTTP - Protocolo de transferência de Hipertexto (*Hypertext Transfer Protocol*) é um protocolo de camada de aplicação da internet, este está dividido em duas partes, o programa cliente e o programa servidor, os dois programas são executados em máquinas diferentes, conversam um com o outro por meio de mensagens HTTP (LIMA, s.d.). É um protocolo de transferência utilizado em toda *Word Wide Web* (WWW) desde 1990, sendo responsável pela especificação das mensagens que os navegadores podem enviar aos servidores e que respostas eles

receberão, sendo portanto, baseado em requisição e resposta (SILVA JUNIOR, 2021).

O HTTP API (*Application Programming Interface*) é um conjunto de padrões e regras que permitem a comunicação entre diferentes sistemas através deste protocolo, é uma forma de permitir que aplicativos, serviços e dispositivos se comuniquem uns com os outros, possibilitando o compartilhamento de dados e execução de operações de forma remota, este protocolo utiliza os métodos HTTP, como *GET*, *POST*, *PUT* e *DELETE* para determinar a ação a ser realizada na API, outra característica é que são utilizados cabeçalhos HTTP que contém informações adicionais sobre a solicitação ou resposta, ou seja, podem ser usados como forma de autenticação e controle de cache, também muitas API's requerem autenticação, que são feitos por forma de *tokens*, chaves de API ou outro mecanismos de segurança.

2.7 TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura existente, foram encontrados poucos projetos que têm abordado a importância da secagem adequada de filamentos de PLA. Um estudo relevante conduzido pelos criadores do site 3D.on apresentou uma abordagem inovadora na criação de uma estufa para secagem de filamentos, neste trabalho os autores destacam a influência positiva de condições controladas de secagem na prevenção de problemas como a absorção de umidade, resultando em um melhor desempenho durante a impressão, deram os parâmetros ideais para o material que utilizaram em questão. Esse enfoque forneceu insights valiosos e serviu de base para o desenvolvimento do protótipo de estufa para secagem de filamentos de PLA utilizando IoT. Neste trabalho, é descrito a construção de uma estufa simples e de baixo custo para secar filamentos utilizados em impressões 3D, onde é utilizado uma caixa térmica de isopor dividida em dois compartimentos, aquecendo o ar no compartimento inferior para secar filamentos no compartimento superior, a troca manual de ar é realizada periodicamente dependendo dos parâmetros fornecidos no visor do case. (3Don)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo proporcionar uma visão clara e completa do processo experimental, além dos instrumentos e materiais utilizados e procedimentos utilizados para coletar dados e realizar análises. Sendo assim os materiais utilizados para a confecção deste projeto estão listados na tabela abaixo

3.1 MATERIAIS

Tabela 1: Materiais utilizados para montagem do projeto. (continua)			
Materiais	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Placa ESP32 WROOM-32 WiFi	1	R\$ 71,70	R\$ 71,70
Sensor de Umidade e Temperatura DHT22	1	R\$ 38,50	R\$ 38,50
Sensor de Temperatura Encapsulado a Prova D'água DS18B20	1	R\$ 24,00	R\$ 24,00
Módulo Serial I2C para display LCD - Sem jumper Backlight	1	R\$ 13,00	R\$ 13,00
Módulo relé de estado sólido SSR de 2 Canais	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Display LCD 16x2 Backlight Azul	1	R\$ 32,50	R\$ 32,50
Protoboard 400 Furos	2	R\$ 18,00	R\$ 36,00
Kit Cabo Jumper Macho-Fêmea 10 unidades 10cm	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Kit Cabo Jumper Fêmea-Fêmea 10 unidades 10cm	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00

Tabela 1: Materiais utilizados para montagem do projeto. (conclusão)			
Caixa de Isopor 50L	1	R\$ 59,50	R\$ 59,50
Lâmpada Eco Halógena Transparente ELGIN	2	R\$ 4,00	R\$ 8,00
Soquete E27 de Plástico com Rabicho	2	R\$ 1,50	R\$ 3,00
Materiais	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Cabo flexível de 2mm	1		
Papel Junta 0,8M-1/32"25M	1	R\$ 61,05	R\$ 61,05
Lençol de Borracha 1MMx1Mx20M UTANIKO	1	R\$ 69,15	R\$ 69,15
Fonte: Autor, 2023.			

3.2 HARDWARE

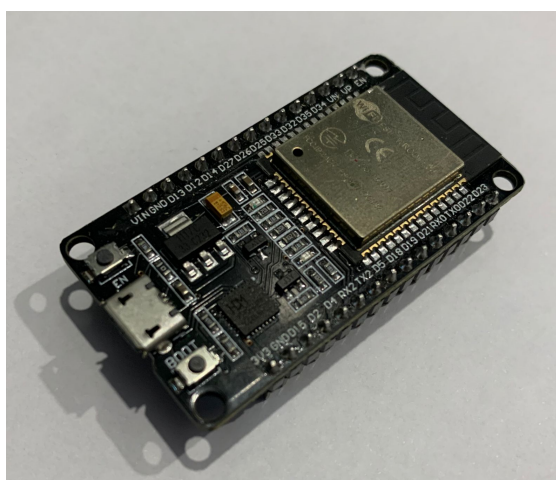
3.2.1 ESP32

Neste trabalho optou-se pelo uso da ESP32 *dual-core*, que é um microcontrolador desenvolvido pela empresa chinesa *Expressif Systems*, esse se trata de uma evolução da ESP8266, trazendo mais recursos e capacidades de processamento, se trata de um circuito totalmente integrado e que permite a conexão com redes WiFi e comunicação via protocolo TCP/IP (SILVA, 2020). O ESP32 é constituído por um robusto processador, que pode ser *single* ou *dual-core* de 32 *bit* (com dois núcleos físicos de processamento), além de ser superior em várias categorias quando comparado a outros microcontroladores. Possui também um limitador de tensão de 5V para proteção caso a alimentação exceda o valor recomendado (SILVA, 2021).

A ESP32 é conhecida por sua versatilidade e ampla gama de recursos, e apresenta conexão com WiFi e Bluetooth embutidas, dispensando a necessidade

de programação das mesmas, por possuir um tamanho pequeno, pode facilmente ser incorporada em placas de circuito impressos ou eletrônicos, tornando-se um módulo viável para a implementação de um produto de IoT. Por ser um microcontrolador de baixo custo e ter potência de processamento superior a outros microcontroladores é bastante comum que seja utilizado em projetos acadêmicos e pesquisas. A ESP32 foi uma solução de uso eficaz, econômica e de fácil utilização para monitoramento do sistema em questão.

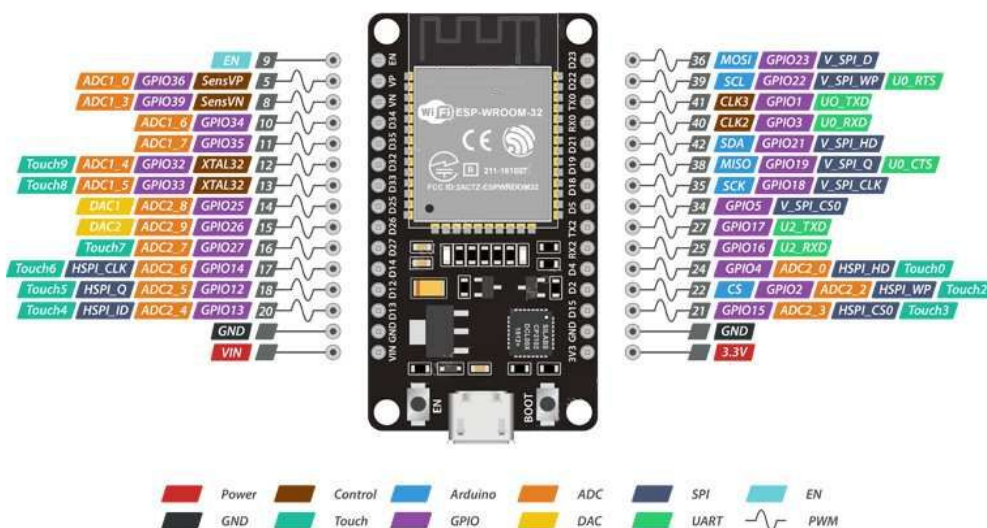
Figura 1 - ESP32



Fonte: Autor, 2023.

É importante observar os pinos da ESP32 e como eles podem ser utilizados, os pinos GPIO (*General Purpose Input Output*) são portas que servem como interface de integração entre o microcontrolador e periféricos, tais como sensores e atuadores, ou também outros circuitos integrados e microcontroladores. Na imagem abaixo é possível ver a pinagem de um DOIT Esp32 DevKit v1 de 30 pinos. Possui um total de 25 pinos GPIO's com níveis de tensão 0V e 3.3V para níveis digitais 0 e 1 respectivamente, com corrente máxima de 12mA por GPIO.

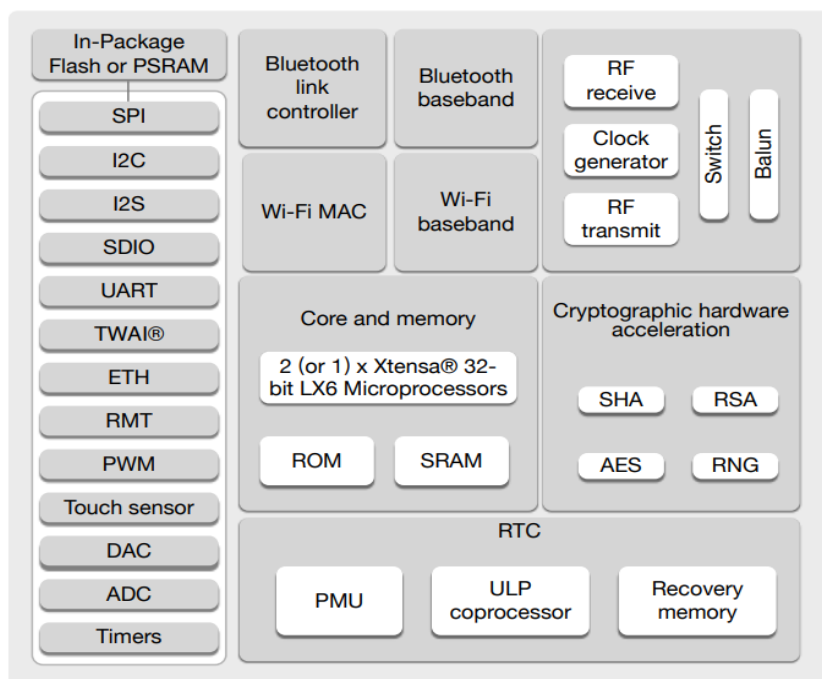
Figura 2 - Pinagem de Esp32



Fonte: Albuquerque, Yure, 2021.

Os periféricos presentes no módulo Esp32 podem ser melhor visualizados no diagrama de blocos como ilustrado na Figura 3, imagem que pode ser facilmente encontrada em ficha de dados.

Figura 3 - Diagrama de blocos funcionais



Fonte: ESPRESSIF SYSTEMS, 2023, p.2.

A Esp pode ser programada em variadas linguagens de programação, as mais comuns são: C/C++, pois a maioria dos frameworks e bibliotecas são escritos em C/C++ tornando uma escolha popular para o desenvolvimento na plataforma por possuir maior quantidade de recursos e suporte disponíveis; Arduino, a Esp32 é compatível com a plataforma Arduino IDE, inclusive sendo a plataforma de estudo para esse trabalho, outras linguagens como MicroPython, Lua e JavaScript.

Na tabela 2 pode-se ver algumas das especificações técnicas da Esp32.

Tabela 2 - Dados técnicos ESP32 (continua)	
Dimensões	27,5 x 51,0 x 7,0 mm
Tensão de Alimentação	4,5 a 12V DC
Tensão de Nível Lógico	3,3 V DC
Corrente de Consumo	80 à 500 mA
Temperatura de Operação	-40 à 85 C°
Fonte: Autor, 2023.	

3.2.2 SENSORES

Sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que podem ser luminosas, térmicas, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc (WENDLING, 2010). Sensores são de extrema importância para um sistema de monitoramento de IoT, pois são responsáveis por coletar dados de um ambiente físico e transformá-los em informações digitais que podem ser processados e analisados, utilizando essas informações para que o sistema possa agir e tomar decisões de acordo com os parâmetros coletados.

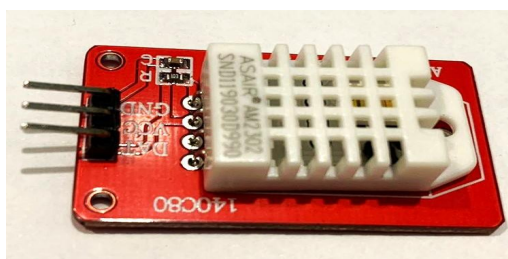
As funcionalidades que os sensores possuem dentro de um sistema como o de uma estufa de filamentos é a coleta de dados contínua e em tempo real de informações de dentro do ambiente, sendo possível a detecção de mudanças para entender o comportamento do sistema, sendo possível que o sistema tome

decisões de acordo com o dados coletados, aumentando a eficiência e ajudando a otimizar recursos.

DHT22

O sensor DHT22, também conhecido como AM2302, é um sensor de temperatura e umidade digital de alta precisão e pode ser amplamente utilizado em projetos de IoT , automação residencial e sistemas de monitoramento, é fácil de usar e fornece leituras digitais confiáveis. São dispositivos que modificam uma variável controlada, recebem um sinal proveniente do controlador e agem sobre o sistema controlado. Geralmente trabalham com potência elevada. Esse sensor possui apenas um único pino de dados para enviar e receber sinais, possui um encapsulamento com quatro pinos, sendo estes: VCC (alimentação), GND (terra), DATA (pino de troca de dados) e NC (não conectado). No presente trabalho foi utilizado o módulo DHT22 é um circuito que contém o sensor DHT22 soldado a uma pequena placa na qual seus terminais estão soldados, de maneira que simplifica a conexão com o microcontrolador, fornecendo somente os pinos de alimentação, terra e dados facilmente acessíveis. É importante citar que ao utilizar o DHT22 é que não é um sensor indicado para uso de ambientes com condensação excessiva, pois pode afetar a precisão de leitura do mesmo, porém, em geral, é um ótimo sensor para projetos que requerem medições precisas de temperatura e umidade, que proporciona informações confiáveis sobre as condições ambientais do sistema em questão.

Figura 4 - Sensor de Temperatura e Umidade
DHT22.



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 3 - Especificações Técnicas do Sensor de Temperatura e Umidade DHT11	
Tensão de Alimentação	3,3V a 6V(recomenda-se o uso de 5V) DC
Faixa de Corrente	0,5 a 2,5mA
Faixa de Medição de Umidade	0 a 100% RH
Precisão de Umidade	± 2%
Faixa de Medição de Temperatura	-40° a 80°C
Comunicação	Utiliza um único pino para comunicação digital
Fonte: Autor, 2023.	

DS18B20

O sensor DS18B20 é um sensor de temperatura digital de alta precisão, amplamente utilizado em projetos eletrônicos e de automação. Possui uma interface de comunicação de 1-Wire, que significa que pode transmitir dados de temperatura através de um único fio, simplificando a conexão e facilitando a integração com microcontroladores e outros dispositivos. Uma característica do DS18B20 é que ele possui uma alta precisão e resolução e também uma resolução ajustável de 9 a 12 *bits*.

A conexão do DS18B20 é relativamente simples, requer apenas três conexões: VCC(alimentação), GND (terra) e o pino de dados, que é utilizado para a comunicação 1-Wire. Além disso, é necessário a inserção de um resistor pull-up de 4,7kΩ para manter o nível lógico correto na linha de dados.

Figura 5 - Sensor de Temperatura DS18B20



Fonte: RoboCore

Esse sensor se mostrou promissor para ser usado no projeto, por possuir uma boa acurácia na coleta de dados e fácil usabilidade.

Tabela 4: Tabela de especificações técnicas do DS18B20 (continua)	
Tensão de alimentação	3.0 - 5.5VDC
Leitura de temperatura	-55°C a +125°C;
Tempo de atualização	<750ms
Precisão	± 0.5%
Resolução	9 ou 12 bits
Interface	1 fio (1 wire)
Diâmetro	6mm
Comprimento	100 cm
Fonte: Autor, 2023..	

3.2.3 ATUADORES

São dispositivos que modificam uma variável controlada, recebem um sinal proveniente do microcontrolador e agem sobre um sistema controlado e

geralmente trabalham com potência controlada, eles podem ser relés, válvulas (pneumáticas ou hidráulicas), motores, e etc (WENDLING, 2010). Podem ser mecânicos como os motores e válvulas, térmicos, como resistores de aquecimento, ou luminosos como a lâmpada incandescente. O sinal dos atuadores é normalmente feito por meio de comandos enviados a partir do núcleo de processamento IoT, respostas que podem ser programadas ou acionadas automaticamente em resposta a determinadas condições ou sinais detectados pelos sensores.

LÂMPADA INCANDESCENTE

A lâmpada incandescente é o principal atuador deste projeto, justamente por ser responsável por ser a principal fonte de calor da estufa, acelerando a secagem dos filamentos de PLA, possibilitando a criação de um ambiente de secagem com temperaturas específicas controladas. As lâmpadas utilizadas no projeto foram lâmpadas incandescentes de 72 W.

Figura 6 - Lâmpada Incandescente



Fonte: Autor, 2023.

MÓDULO RELÉ DE ESTADO SÓLIDO

Um relé de estado sólido (SSR - Solid State Relay) de dois canais é um componente eletrônico que desempenha a função de interruptor no circuito para

controlar o fluxo de corrente elétrica. A diferença principal entre um relé de estado sólido para um relé eletromecânico tradicional é que o SSR não possui partes móveis, como bobinas e contatos, o que consequentemente aumenta sua vida útil, eficiência e confiabilidade.

Figura 7 - Relé de Estado Sólido de Dois Canais



Fonte: SmartProjects, 2023.

Um relé de estado sólido é uma excelente escolha para o controle e desligamento de luzes, oferecendo uma facilidade de integração com diferentes tipos de sistema elétricos, confiabilidade e eficiência, apesar do relé escolhido ser de dois canais, no circuito deste presente trabalho foi utilizado somente um canal, que foi responsável pelo controle de desligamento e energização das lâmpadas incandescentes.

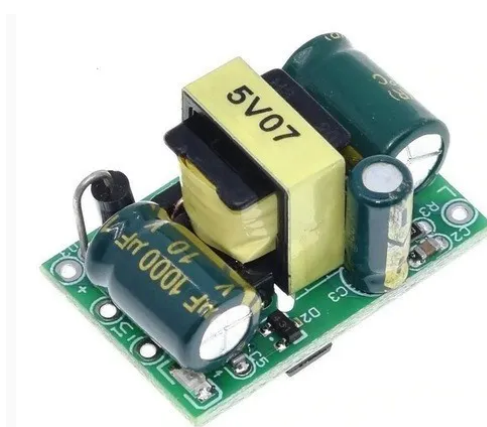
Tabela 5: Especificações técnicas do módulo relé de estado sólido SSR de 2 canais.	
Tensão de Operação	5V
Tensão Máxima de Carga	240VAC
Corrente Máxima de Carga	2A
Dimensões	55 x 33 x 25mm
Fonte: Autor, 2023..	

Tabela 6: Pinagem módulo relé.	
CH1	Sinal Relé 1
CH2	Sinal Relé 2
DC+	5V
DC-	GND
Fonte: Autor, 2023..	

MINI FONTE CONVERSOR AC/DC DE 110 A 220V PARA 5V

Microcontroladores como a ESP32 são dispositivos que operam com tensões mais baixas, geralmente em torno de 3,3V ou 5V, o que os torna mais eficientes em termos de consumo de energia, para que a alimentação da ESP32 fosse feita de forma confiável e segura, foi necessário contar com uma fonte adequada, no presente trabalho foi utilizado uma mini-fonte de alimentação 110-220V para 5V, a mini-fonte utilizada possui circuitos reguladores que mantêm a tensão de saída estável, independente da variação na tensão de entrada.

Figura 8 - Mini Fonte Aberta AC/DC 100-220V para 5V



Fonte: SmartKits

3.3 SOFTWARE

3.3.1 BLYNK.IO

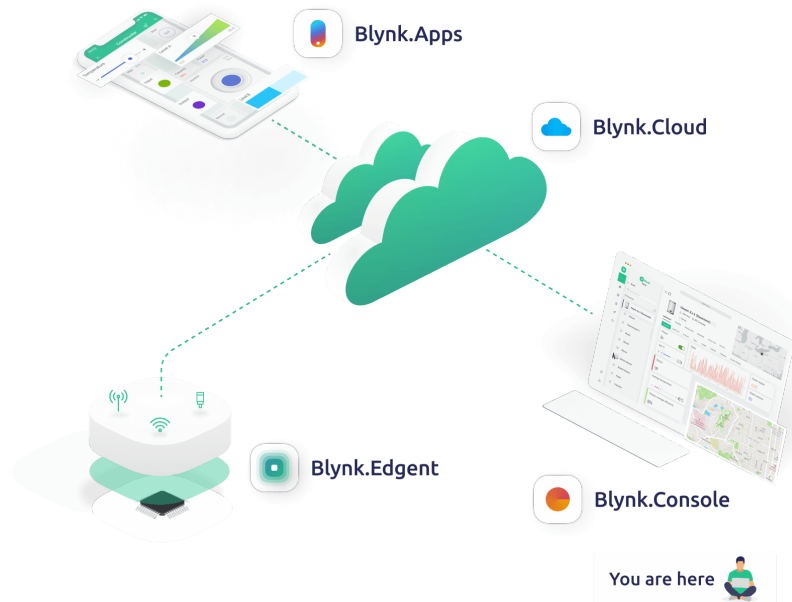
Blynk é uma plataforma de Internet das Coisas que permite controlar dispositivos eletrônicos remotamente usando um aplicativo disponibilizado em iOS e Android, e também por um dashboard web usado no navegador, essa plataforma foi desenvolvida para simplificar a criação de aplicativos móveis que interagem com placas de desenvolvimento e módulos IoT. Blynk oferece uma interface amigável e prática que permitindo que usuários criem aplicativos personalizados para controlar e monitorar dispositivos IoT, outra característica é que possui uma ampla variedade de compatibilidade com diversos microcontroladores, como Arduino, Raspberry Pi, ESP32 entre outros. Existem variados tipos de conexão que a plataforma Blynk pode conectar o microcontrolador ao Blynk Cloud e *server* pessoal, tal como *Ethernet*, *WiFi*, Bluetooth, Serial. O Blynk oferece uma variedade de *widgets* pré-construídos, o que permite uma velocidade maior na parte de desenvolvimento de aplicativos IoT, além de operar através de um serviço de nuvem que atua como intermediário para facilitar a comunicação entre o aplicativo móvel e os dispositivos IoT.

De maneira geral, o Blynk App é disponibilizado de maneira gratuita para ser baixado, o acesso ao servidor é ilimitado e as bibliotecas são gratuitas, existem 4 componentes na qual o Blynk se baseia, são esses:

- **Blynk.Edgent:** *software* que roda no dispositivo e se comunica com a Blynk.Cloud.
- **Blynk.Console:** É a aplicação Web que pode ser configurada, conectada e é possível ver os dispositivos em funcionamento, analisar os dados dos sensores e gerenciar como outros usuários e organizações têm acesso aos dispositivos.
- **Blynk.Apps:** aplicativos mobile que são disponibilizados e que podem ter uma interface configurada para os dispositivos sem necessidade de código ou compartilhamento com outros usuários.

- **Blynk.Cloud:** É um server que manda dados de maneira segura entre os dispositivos e os aplicativos.

Figura 9 - Componentes do Blynk.io

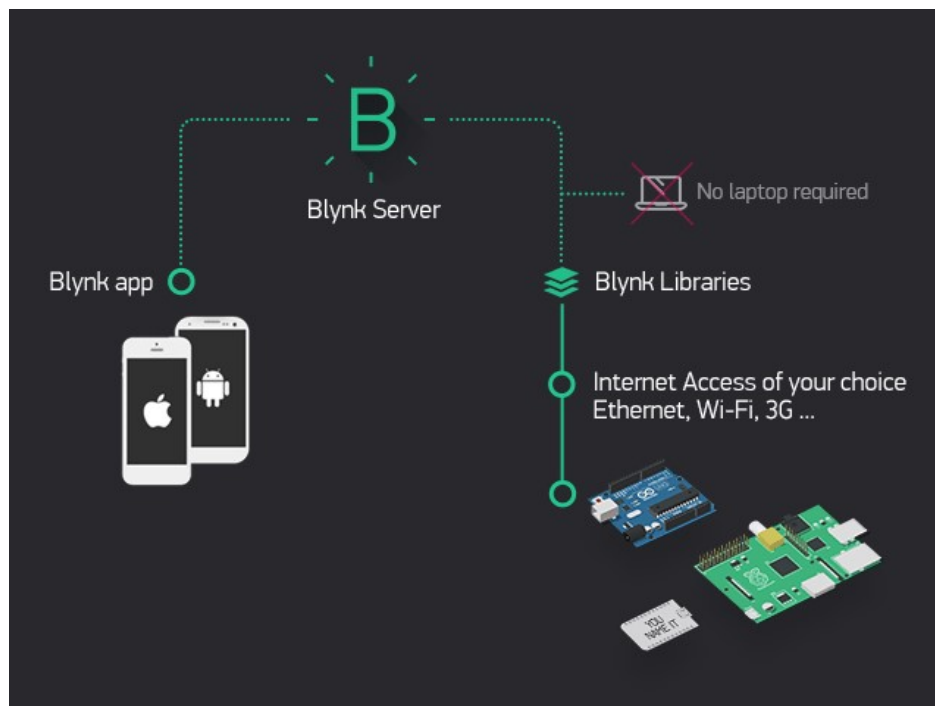


Fonte: Blynk.Documentation

A estrutura geral e interconexão do Blynk pode ser baseada em:

- **Blynk App Builder:** Permite a criação de aplicativos exclusivos para o projeto, utilizando vários widgets, além de estar disponibilizados para as plataformas iOS e Android.
- **Blynk Server:** É responsável pela comunicação entre os dispositivos móveis que estão controlando através do aplicativo e o *hardware* do projeto. Por ser uma plataforma de código aberto tem a capacidade de integrar vários dispositivos.
- **Blynk libraries:** Responsável por gerir toda a conexão do hardware com o servidor Blynk, permitindo gerir as requisições de entrada e saída de dados e comandos.

Figura 10 - Diagrama de funcionamento



Fonte: Blynk.Documentation

O Blynk.io utiliza o protocolo de comunicação HTTP API, que possibilita que qualquer dispositivo que tenha a habilidade de se conectar à internet possa ser usado, o dispositivo se conecta a nuvem e transfere os dados coletados em tempo real, que acaba sendo uma ferramenta muito útil para os dispositivos como os dispositivos móveis.

3.3.2 ARDUINO IDE

Para o desenvolvimento do projeto o ambiente de desenvolvimento integrado escolhido foi o Arduino IDE, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, que permite a criação de projetos interativos de maneira simplificada e acessível, por ser compatível com a ESP32 se tornou uma boa escolha para fazer a programação do projeto, é um ambiente que se resume em variáveis declaradas, as instruções são inseridas dentro das funções de `setup()` e `loop()`. ela é baseada na linguagem de programação C/C++ e oferece inúmeras funções e bibliotecas que facilitam o desenvolvimento de projetos.

Algumas das características principais da interface Arduino IDE, é que possui uma interface simples, por possuir uma alta compatibilidade com diversos sistemas operacionais, como Windows, Linux e macOS é considerado um suporte multiplataforma, também possui bibliotecas embutidas que simplificam o desenvolvimentos de projetos, pois fornece funções já prontas para o uso de diversos dispositivos e sensores. Em resumo, a Arduino IDE é uma ferramenta prática e de fácil acesso para criar projetos de eletrônica e automação utilizando microcontroladores como arduino, ESP32, entre outros, tornando-o ideal para a prototipação e desenvolvimento do projeto.

3.4 MÉTODOS

Neste capítulo será apresentado uma visão geral da Estufa de Secagem de Filamentos, descrevendo o desenvolvimento do projeto, através da utilização de todos os componentes exibidos na tabela 1 e os conhecimentos prévios adquiridos que envolvem Manufatura Aditiva, elétrica, eletrônica, análise de dados, modelagem e sustentabilidade. Neste trabalho inserimos todos os componentes elétricos antes citados para uma questão de dimensionamento dos componentes na região interna do projeto, feito isso, quando a parte de modelagem foi concluída, foram realizados testes de usuário, testes de temperatura e resistência dos materiais utilizados.

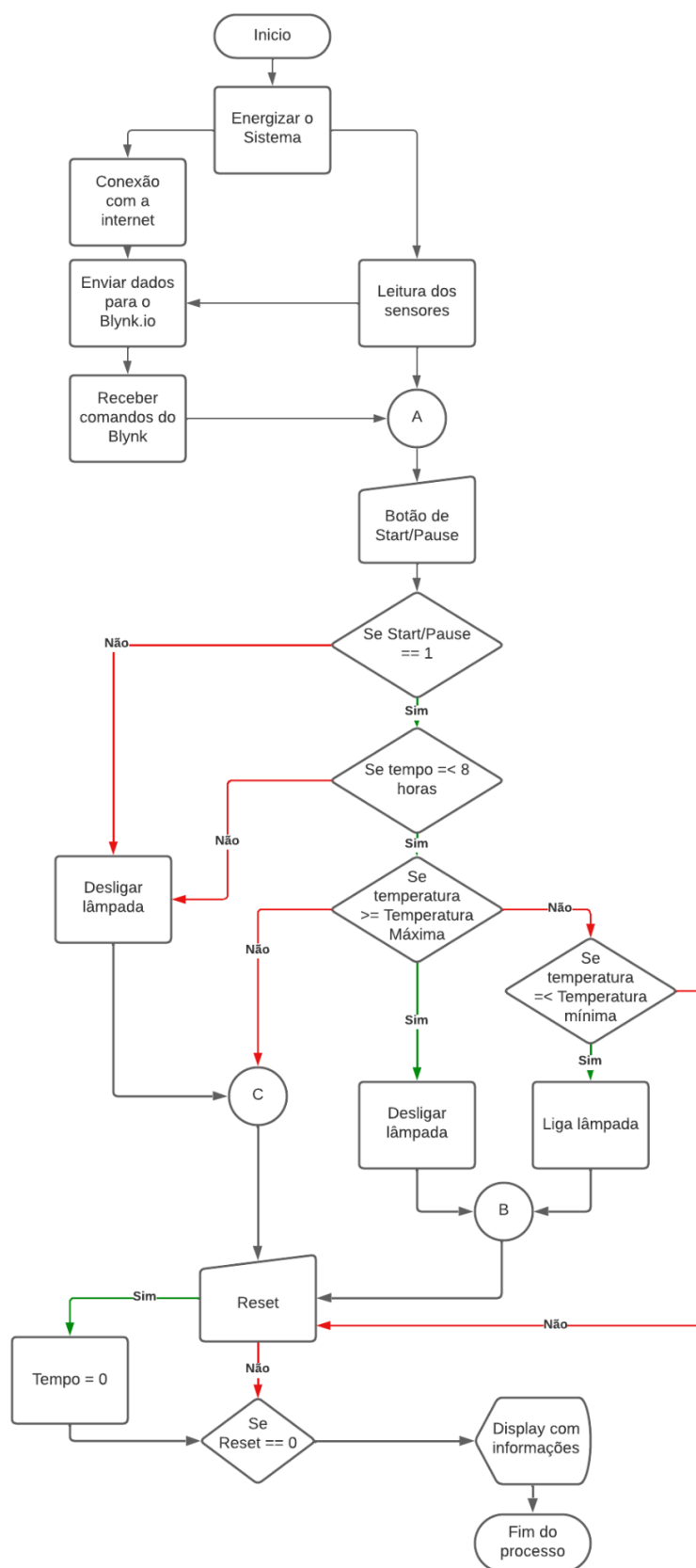
A estrutura da estufa é uma caixa térmica de isopor usada comumente para conservar alimentos e bebidas em baixas temperaturas durante viagens. A ideia implementada é que o interior da estufa esteja dividido em 2 partes: um compartimento menor separado por barras metálicas que separam duas lâmpadas incandescentes que são responsáveis por gerar calor dentro da estufa, sustentados por um material plástico e resistente para sustentar o peso dos filamentos que serão colocados posteriormente, e a parte superior com os filamentos que se encontram com sua integridade corrompida após passarem muito tempos expostos a umidade do ar.

O desenvolvimento da parte elétrica foi realizada com os conhecimentos prévios adquiridos durante o curso de Engenharia de Controle e Automação. O microcontrolador escolhido para o projeto foi a ESP32, por ter seu design compacto, ser um microcontrolador de alto desempenho, ter Bluetooth e *WiFi* embutidas em seu módulo, baixo consumo de energia, preço acessível, entre outras qualidades. Um dos objetivos principais do projeto era a praticidade do processo de secagem e monitoramento da secagem dos filamentos, tendo isso em vista, todos os comandos podem ser feitos através de um aplicativo mobile ou um dashboard web. O sistema é ligado direto na tomada a 127V, que alimenta os atuadores e o microcontrolador, e as ligações da ESP32 aos sensores e atuadores foi feita através de um protoboard.

3.4.1 FUNCIONAMENTO DO PROJETO

O Funcionamento do projeto é mostrado na Figura 11, onde podemos ver os elementos principais e o fluxo de funcionamento que o sistema segue.

Figura 11 - Fluxograma de Funcionamento do Sistema.

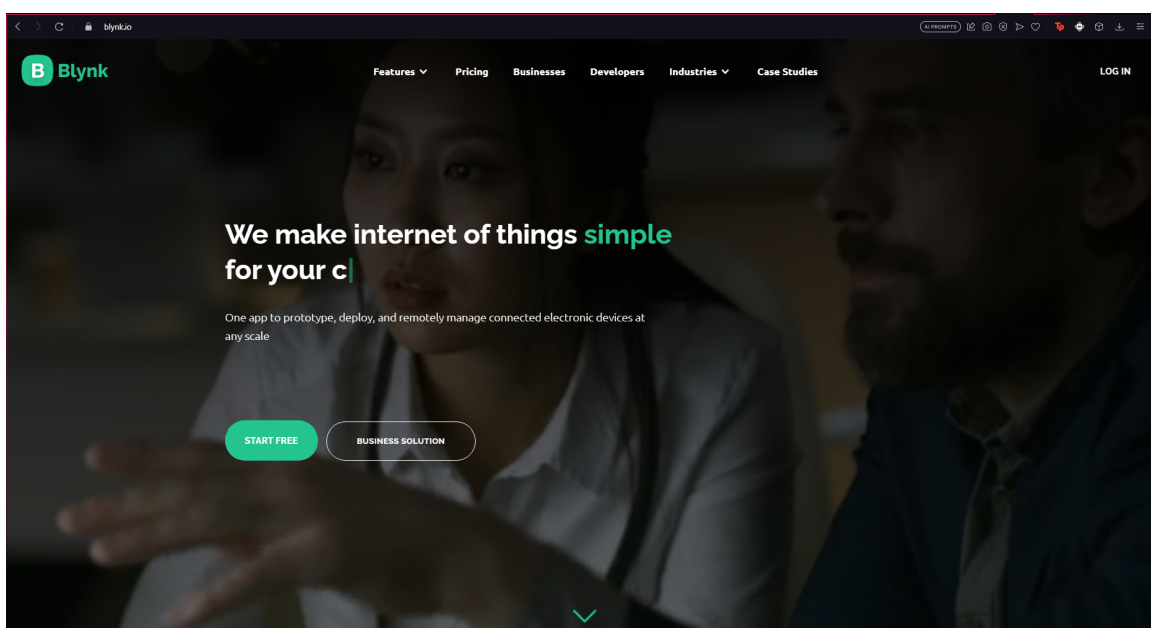


Fonte: Autor, 2023.

3.4.2 PLATAFORMA BLYNK.IO

Como citado anteriormente, a plataforma utilizada para a integração do *hardware* e *software* do projeto foi a plataforma Blynk.io. Podemos facilmente encontrá-lo acessando o site por um navegador ou baixando o aplicativo de celular através de um Android ou iOS, pela plataforma Web podemos acessar nossos *templates* de projetos através de *Login* caso o usuário já possua uma conta.

Figura 12 - Site do Blynk.io



Fonte: Autor, 2023.

Para a criação do projeto de IoT utilizando a plataforma Blynk, será necessário seguir os seguintes passos:

1. Configurar uma conta no Blynk

Caso seja o primeiro acesso à plataforma, será necessário acessar Start Free no início da página, que nos leva a uma página para criar um perfil na qual o usuário disponibilizará um email para uso da plataforma, ao fazer isso o Blynk.io envia um email de confirmação ao usuário cadastrado para a criação de uma senha de acesso ao site. Feito isso, podemos ter acesso à plataforma e ela disponibiliza um pequeno resumo sobre como criar um projeto, começando com

quais são os componentes que compõem a plataforma, os modos de usuário, dispositivos, como os microcontroladores que serão utilizados no projeto, e por fim a criação de um *template*.

Todos os dispositivos criados precisam estar em um *template*, pois facilita o uso de vários dispositivos dessa maneira, como por exemplo é possível utilizar o mesmo sensor para diferentes aplicações.

Os templates consiste em:

- *Datastreams*
- *Mobile App UI*
- *Web Dashboard UI*
- *Notifications*

2. Criar um projeto novo

Após a conta ser criada podemos desenvolver o primeiro *template*, o primeiro passo para a execução de um dispositivo em um template é a escolha de qual microcontrolador iremos usar, no caso do presente projeto foi utilizado uma ESP32 com conexão à internet via WiFi.

Figura 13 - Quickstart Blynk.io

Which hardware are you using?

We will help you prepare the code for you board

ESP32

What is your device connectivity type

Blynk supports various connection types (BLE is not supported yet).

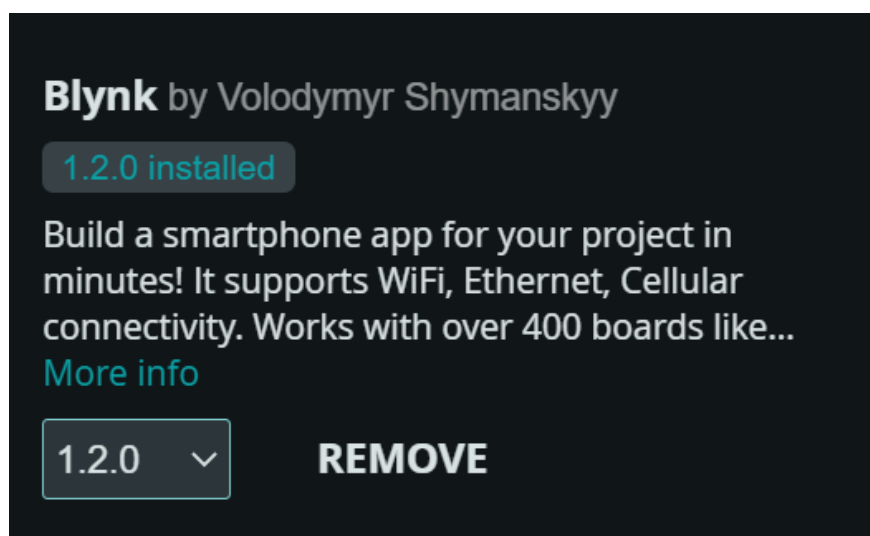
WiFi

Fonte: Autor, 2023.

3. Obter o token do projeto

Depois da criação de um projeto o Blynk.io disponibiliza um token específico e um cabeçalho de código para o template, após isso selecionamos a IDE que será utilizada como ambiente de programação do trabalho. Feito isso, será necessário o *download* da biblioteca do Blynk.io e instalar a versão mais recente.

Figura 14 - Biblioteca Blynk



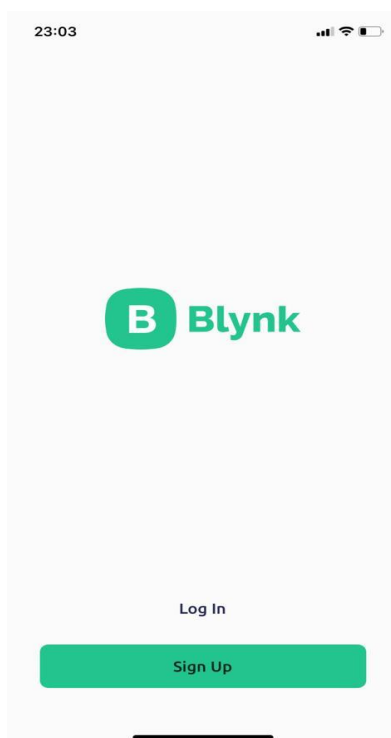
Fonte: Autor, 2023.

Neste projeto foi utilizada a biblioteca Blynk de Volodymyr Shymanskyy, versão 1.2.0, por motivos que a versão mais atual apresentou problemas de comunicação com o servidor. É também requerido a senha e nome da WiFi que será utilizada, após essas informações serem adicionadas, é necessário copiar e colar o código na IDE escolhida, em seguida o Blynk iniciará a conexão com o microprocessador e estará pronto para a adição de mais comandos.

4. Instalação do aplicativo Blynk

Será necessário a instalação do aplicativo Blynk em um smartphone (disponível para Android e iOS)

Figura 15 - Tela Blynk.io

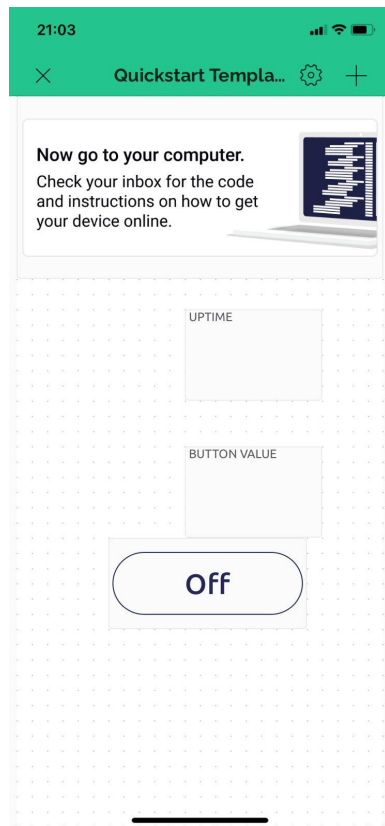


Fonte: Autor, 2023.

5. Adição de Widgets ao projeto

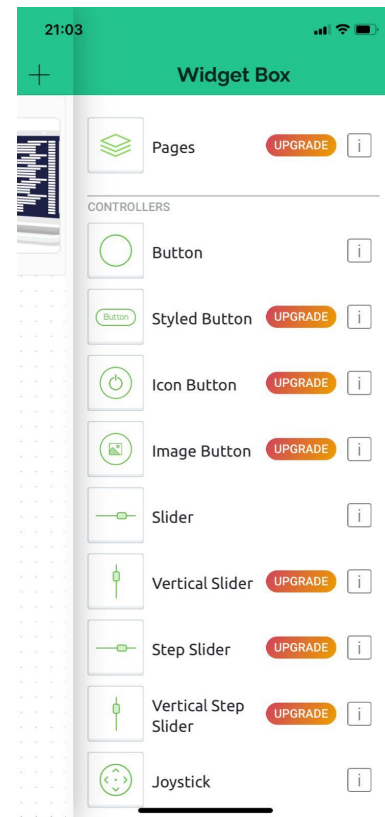
Ao logar no app é necessário selecionar o modo desenvolvedor no topo do aplicativo, e ao fazer isso, o aplicativo disponibilizará vários widgets para o desenvolvimento dos projetos. É necessário apenas arrastar e soltar os widgets (botões, sliders, gráficos, etc) na tela para criar a interface do seu projeto.

Figura 16 - Editor do app Blynk.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 17 - Widgets do app Blynk.



Fonte: Autor, 2023.

6. Configuração do Hardware do projeto

Parte responsável pela organização e composição do *hardware* do projeto, onde é configurado a ESP32, Arduino para se configurar e conectar ao Blynk utilizando o token de autenticação disponibilizado pelo Blynk, importante ressaltar que é necessário o microcontrolador estar conectado à internet na qual ele foi configurado pelo Blynk.

Figura 18 -Configuração do *firmware*

FIRMWARE CONFIGURATION

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL [REDACTED]"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Teste ESP32"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "S3k [REDACTED]"
```

Template ID, Template Name, and AuthToken should be declared at the very top of the firmware code.

Fonte: Autor, 2023.

7. Programação do hardware

Neste passo é onde será programado tanto as entradas do microcontrolador quanto dos sensores e atuadores do projeto, e utilizando a plataforma Blynk associar os comandos dos widgets aos sensores e atuadores do hardware.

8. Testar o projeto

Após toda a parte da programação ter sido concluída, os sensores e atuadores integrados ao *hardware* do sistema, é necessário que se façam testes. Após verificar se está conectado a internet que foi configurada, inicializamos o sistema através do aplicativo ou *dashboard* online para iniciar a comunicação com o dispositivo.

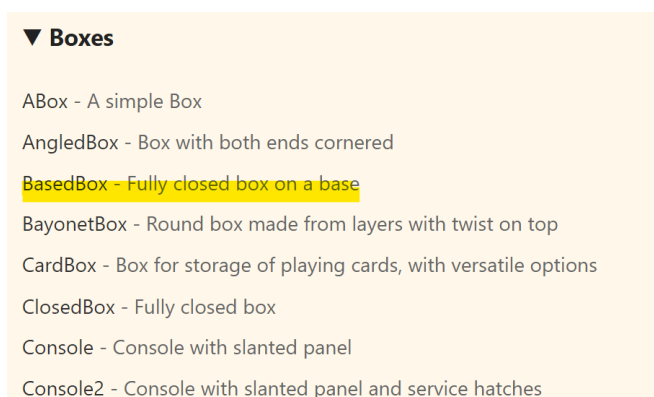
3.4.5 DESENVOLVIMENTO DO CASE

Neste projeto foi optado por desenvolver um case em MDF usando o *software* AutoCAD, após a decisão de quais seriam as proporções perfeitas que guardasse o circuito porém que fosse compacta suficiente. Através de uma pesquisa, o site Boxes.py, que é um site gerador de caixas para cortes a laser desenvolvido em Python e pode ser encontrado em “<https://festi.info/boxes.py/?language=en>”, foi escolhido para a confecção da caixa.

É confeccionar a caixa seguindo os seguintes passos:

- 1 - Acessamos o site através do link disponibilizado acima.
- 2 - Na opção menu podemos encontrar preferência de modelos de caixa.
- 3 - Selecionamos a opção “Boxes” e então selecionamos “BasedBox”.

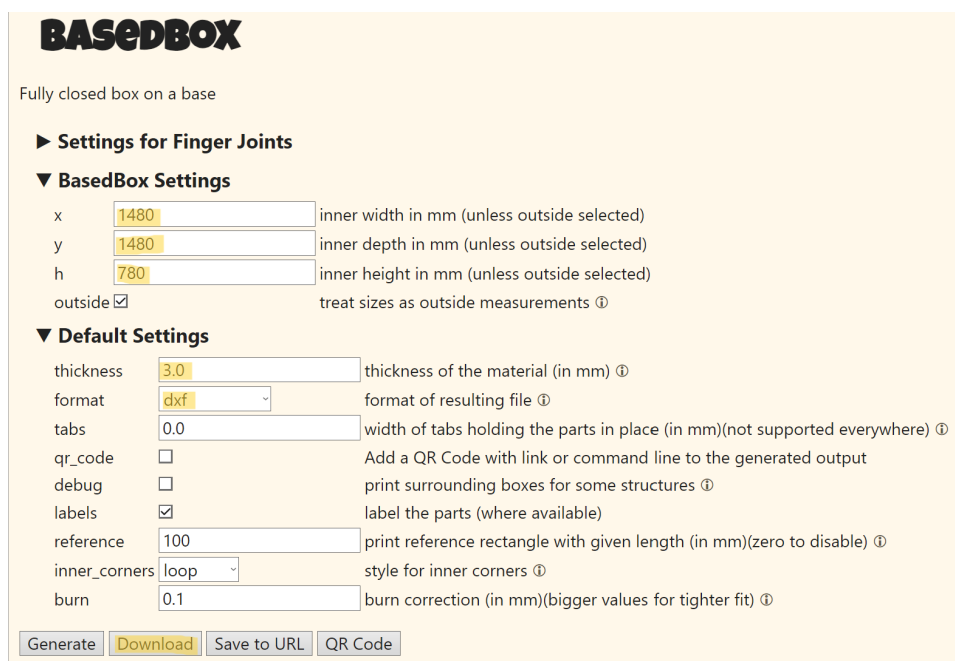
Figura 19 - Boxes.py.



Fonte: Autor, 2023.

4 - Após isso, poderemos configurar o tamanho ideal da caixa, foram escolhidas as seguintes dimensões 1480mm x 1480mm x 780mm. Foi utilizado um MDF de 3mm e o formato salvo foi em .dxf, após essas configurações forem definidas pode-se fazer o download do arquivo.

Figura 20 - Configurações na caixa no Boxes.py



BASEDBOX

Fully closed box on a base

► Settings for Finger Joints

▼ BasedBox Settings

x inner width in mm (unless outside selected)

y inner depth in mm (unless outside selected)

h inner height in mm (unless outside selected)

outside ☒ treat sizes as outside measurements ⓘ

▼ Default Settings

thickness thickness of the material (in mm) ⓘ

format format of resulting file ⓘ

tabs width of tabs holding the parts in place (in mm)(not supported everywhere) ⓘ

qr_code ☐ Add a QR Code with link or command line to the generated output

debug ☐ print surrounding boxes for some structures ⓘ

labels ☒ label the parts (where available)

reference print reference rectangle with given length (in mm)(zero to disable) ⓘ

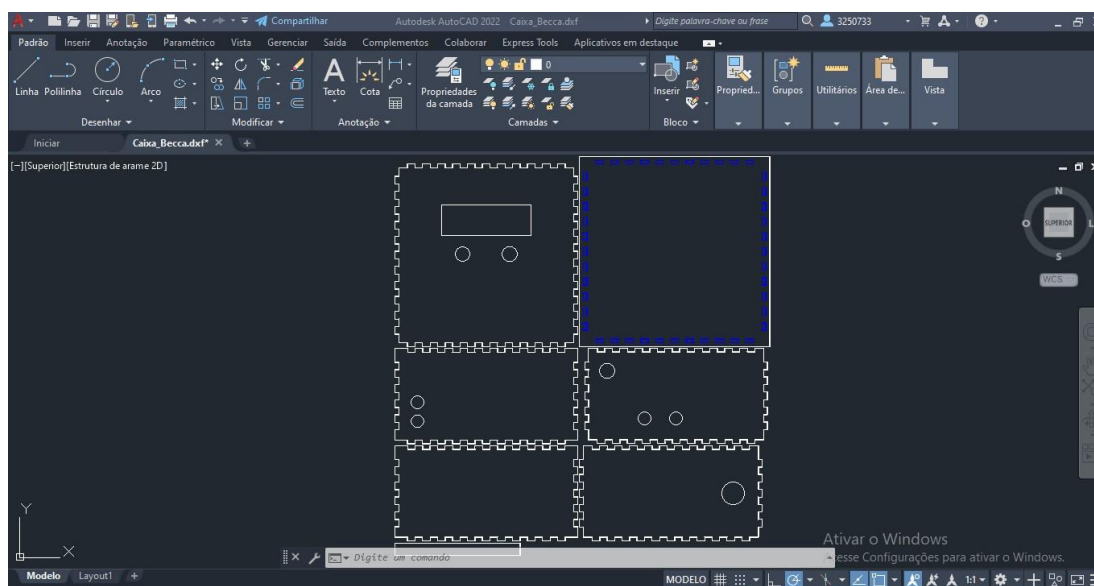
inner_corners style for inner corners ⓘ

burn burn correction (in mm)(bigger values for tighter fit) ⓘ

Fonte: Autor, 2023.

5 - Em seguida, podemos modificar a estrutura da caixa no AutoCAD ou qualquer programa que abra arquivos dxf, podemos adicionar os furos dos botões e um espaço para o LCD e outros furos por onde a fiação de alimentação do sistema irá passar. Por fim, após essas adições podemos ver que o desenho da caixa ficou da seguinte maneira:

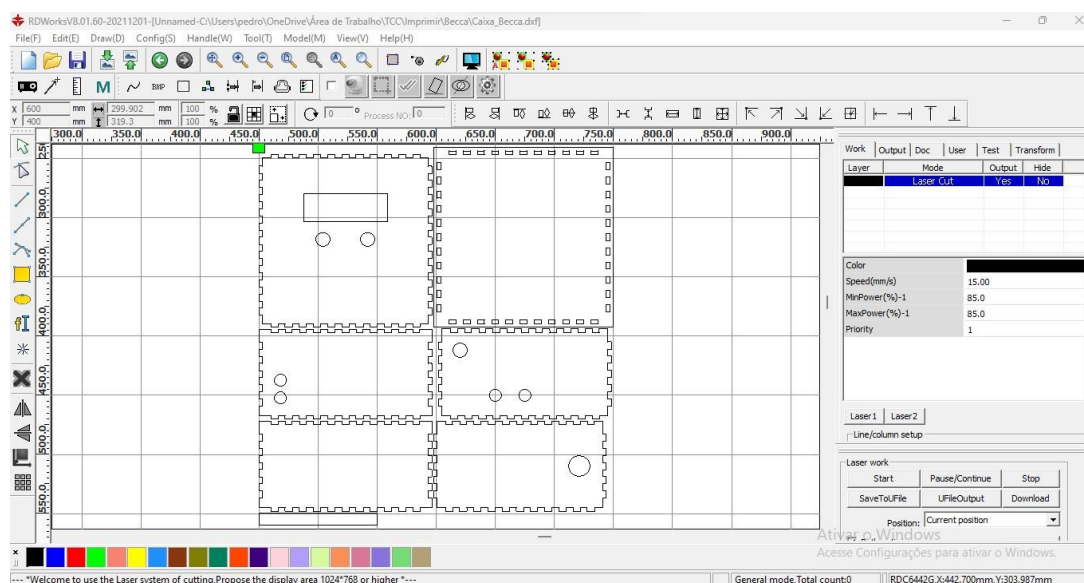
Figura 21 - Caixa editada



Fonte: Autor, 2023.

6 - A partir disso, é utilizado o arquivo da caixa já editado e é possível importar o arquivo da caixa para o software RDWorksV8, *software* que transforma desenhos vetoriais em comandos para a cortadora laser, com as seguintes configurações:

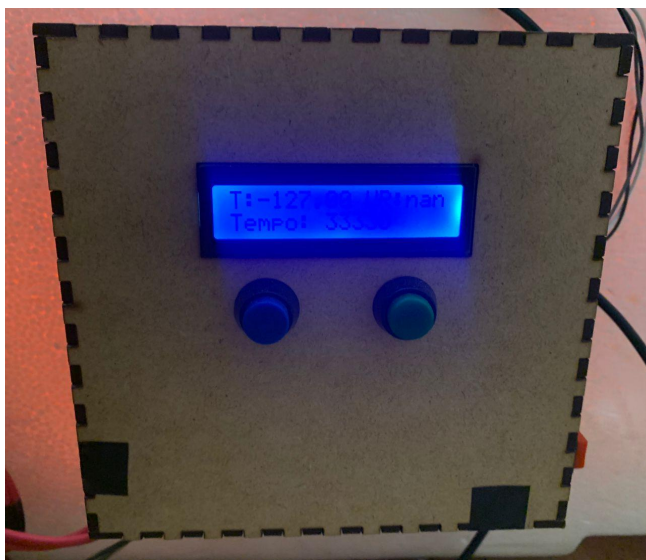
Figura 22 - Desenho da caixa no RDWorksV8



Fonte: Autor, 2023.

Feito isso, após colocar o material na cortadora e inicializar o processo, seguidamente podemos recolher o material da máquina e montá-lo, tivemos o seguinte resultado:

Figura 23 - Foto do case completo



Fonte: Autor, 2023.

4 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo discutiremos sobre como foi feito o desenvolvimento do projeto, como é executado seu funcionamento e outros aspectos que garantem o sucesso e a eficácia dessa iniciativa, e será feita uma discussão de uma série de etapas desde o planejamento até o produto final desse trabalho. A estufa de secagem de filamentos é um sistema que abrange tecnologias de aquecimento controlado e conectividade para garantir uma secagem adequada dos filamentos de PLA, a estrutura básica deste projeto envolve componentes eletrônicos para a criação de um ambiente controlado, entre eles estão:

4.1 ESTRUTURA DA ESTUFA

Primeiramente, a estrutura principal da estufa consiste em uma caixa térmica de isopor de 50 Litros, feita de poliestireno expandido se trata de um material isolante que ajuda a manter uma temperatura interna estável, reduzindo as trocas térmicas com o ambiente externo, característica importante para garantir que a temperatura interna da estufa seja mantida na faixa desejada para a secagem do filamentos de PLA. Por se tratar de um material leve, se torna mais fácil manusear e ajustar a posição da caixa quando vazia, também se trata de um material barato, a caixa custou em torno de 60 reais e pode facilmente ser encontrada em supermercados.

Figura 24 - Caixa de isopor 50L

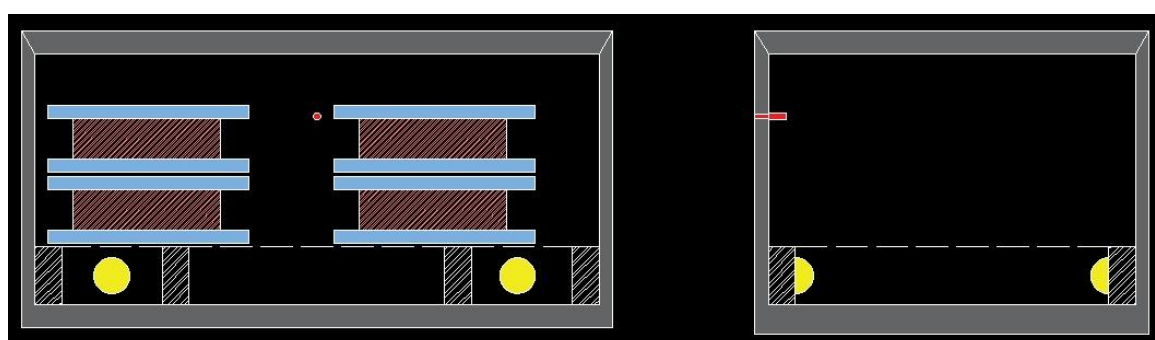


Fonte: Autor, 2023.

O isopor também se trata de um material que é fácil de cortar e modelar, característica que permite a personalização da caixa, pois foi possível escolher onde ficariam as posições das lâmpadas, então foi possível fazer as aberturas sem muitos problemas, tal como a instalação das grades de sustentação dos filamentos e posicionamento dos sensores. A caixa de isopor foi escolhida também por possuir uma boa vedação, evita a entrada de umidade externa e se trata de um material que não é higroscópico. O tamanho da caixa foi especificamente escolhido de 50L por se tratar de um tamanho razoável, e comportar uma boa quantidade de filamentos, em média de 4 a 5 rolos de filamentos, dependendo de como eles são organizados na caixa.

A estrutura interna da caixa foi dividida horizontalmente em dois compartimentos através de grades de alumínio suspensas por suportes plásticos modelados por uma fresa. O material foi escolhido para que suportasse grandes temperaturas, sendo o compartimento de cima com 17 cm de altura, o suficiente para dois carretéis de filamento deitados na horizontal, e o compartimento de baixo com cerca de 7 cm para acomodar as duas lâmpadas incandescentes. O fundo da caixa, onde estão as lâmpadas, foi forrado com duas camadas, sendo uma de emborrachado e uma folha de papelão para que a parte de isopor que fica em contato direto com a lâmpada não queimasse.

Figura 25 - Estrutura Interna da Estufa



Fonte: Autor, 2023.

Podemos observar que esse tipo de divisão foi escolhida por vários motivos, por exemplo:

- Distribuição de calor: posicionamos as lâmpadas na parte inferior da caixa pois o calor tende a subir naturalmente devido a convecção, a troca de calor por convecção é a melhor maneira de espalhar o calor uniformemente pela caixa, se as lâmpadas estivessem posicionadas na parte superior da caixa, o calor seria mais propenso a se acumular no teto da estufa, resultando em uma distribuição de temperatura menos homogênea.
- Aquecimento eficiente: A convecção natural do ar quente para cima faz com que o calor seja transferido para os filamentos de maneira mais eficaz, sendo a maneira mais rápida de esquentar os filamentos e retirar a umidade dos mesmos.
- Distância do filamento: é importante que exista uma distância segura entre as fontes de calor e os filamentos para que eles não se derretam.
- Eficiência Energética: Uma vez que o calor das lâmpadas se eleva naturalmente, as lâmpadas não precisam trabalhar tanto para que alcancem o calor desejado dentro da caixa.

A posição dos sensores dentro da caixa é crucial para monitorar e controlar a temperatura de maneira eficaz, foi necessário que os sensores não ficassem muito perto das lâmpadas para que a temperatura ficasse fiel à homogeneidade de dentro da caixa, do contrário, se os sensores ficassem muito perto das lâmpadas eles captariam valores exorbitantes dos parâmetros de temperatura e umidade.

Figura 26 - Estrutura interna da caixa e posicionamento dos sensores



Fonte: Autor, 2023.

A localização escolhida foi na parte superior da caixa, pois foi possível obter uma temperatura mais precisa da distribuição de calor dentro da mesma, evitando

também a obstrução de possíveis objetos que pudessem influenciar na leitura de temperatura dos sensores.

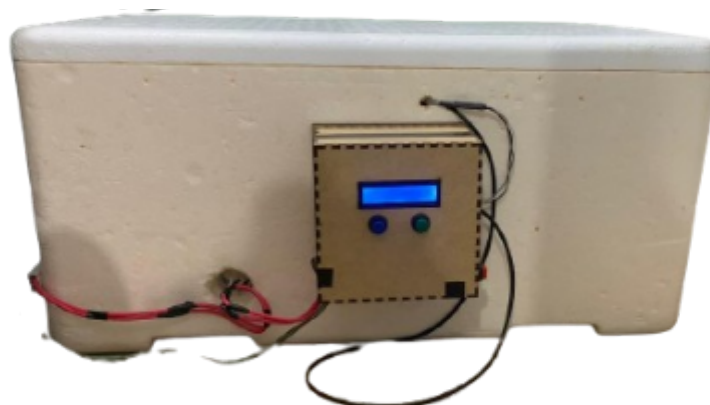
Os furos na caixa para os bocais das lâmpadas foram feitos usando uma serra copo de aproximadamente 50mm, e as posições foram escolhidas de maneira que o calor fosse distribuído igualmente por toda extensão da caixa, ou seja, foram postas na posição diagonal da caixa, assim tendo uma melhor distribuição de calor. A fiação do projeto foi feita utilizando um cabo de 2mm para a alimentação das lâmpadas e 1,5mm para a alimentação do sistema, para uma melhor organização dos fios, foi utilizado uma canaleta de 20x12 com divisória e adesivo para melhor fixação na caixa e uma melhor estética no projeto. Por fim, alcançamos os resultados apresentados nas figuras 27 e 28.

Figura 27 - Estrutura interna da caixa



Fonte: Autor, 2023.

Figura 28 - Estrutura externa da caixa

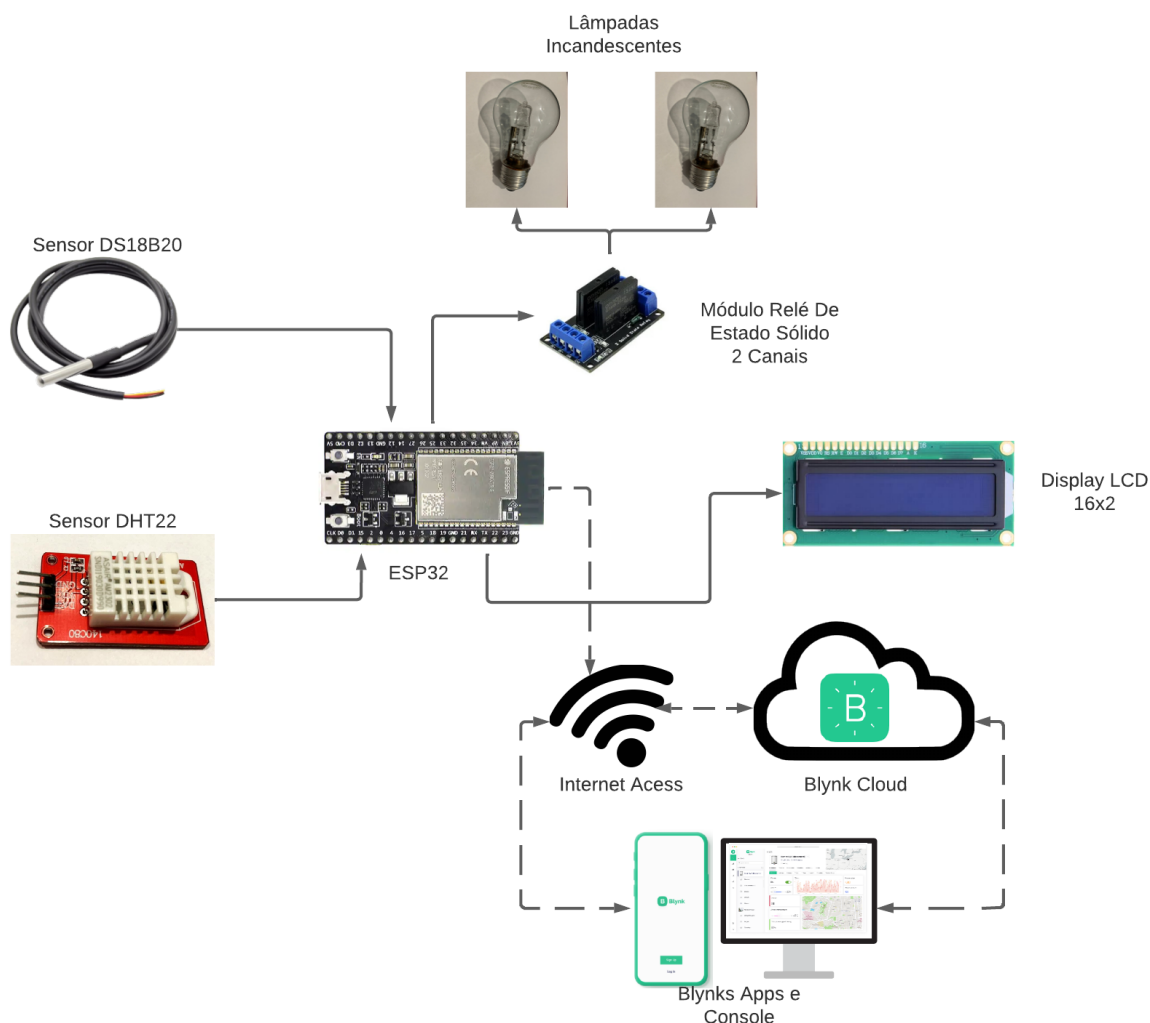


Fonte: Autor, 2023.

4.1 FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO

O funcionamento principal do projeto pode ser visto na figura 29, onde são mostrados os principais elementos que permitem o funcionamento da estufa para secagem de filamentos e o fluxograma do projeto. Podemos ver que todo o sistema é interligado e controlado pela ESP32, que por sua vez recebe os parâmetros dos sensores DS18B20 e DHT22 e envia os comandos para os atuadores, ao mesmo tempo que compartilha esses dados com o *dashboard web* e o aplicativo através da internet. A parte elétrica para que se tornasse viável a movimentação da caixa e que para o sistema não precisasse ficar ligado no computador o tempo inteiro, a fonte de alimentação foi dividida em para que a mesma tomada recebesse energia para as lâmpadas também fornecesse energia para a ESP32 e sensores, para isso foi utilizado um regulador de tensão para a ESP32.

Figura 29 - Diagrama de funcionamento do projeto



Fonte: Autor, 2023.

4.2 CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE

Como citado na seção 3.3.1, a plataforma IoT utilizada no projeto foi o Blynk.io, que é um *software* que permite a prototipação, implementação e gerenciamento remoto de dispositivos eletrônicos conectados em qualquer escala.

O desenvolvimento do código foi feito através da Arduino IDE, versão 2.1.0. Para comunicação e processamento de dados foram utilizadas bibliotecas oficiais

e de terceiros para simplificar o desenvolvimento, algumas dessas bibliotecas estão sendo mostradas na figura 30.

Figura 30 - Bibliotecas utilizadas no código.

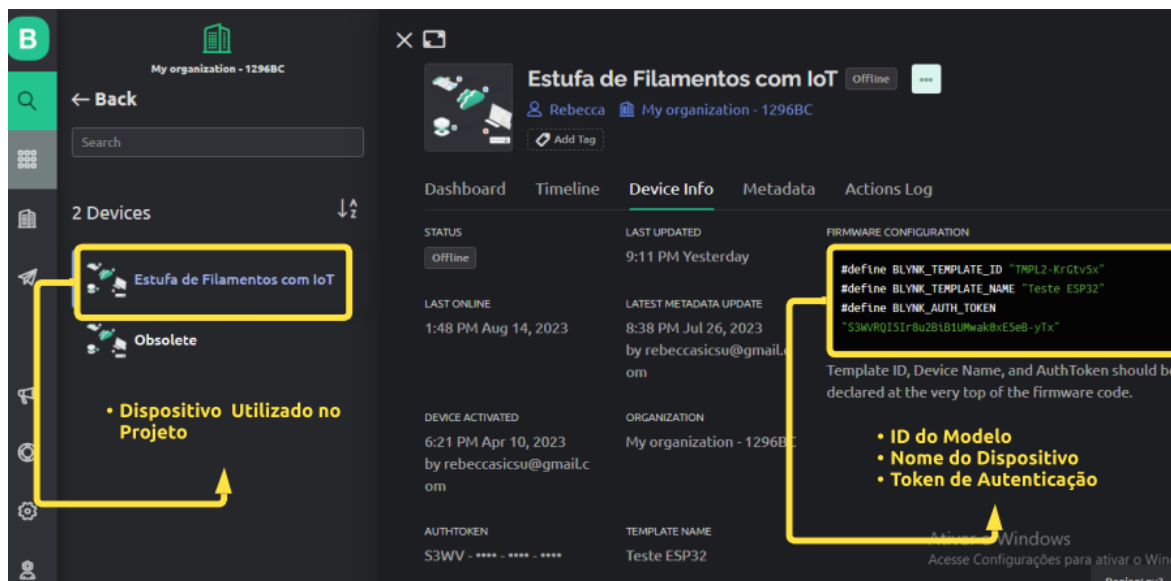
```
// --- Bibliotecas ---  
#include <WiFi.h>  
#include "DHT.h"  
#include <DallasTemperature.h>  
#include <OneWire.h>  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
```

Fonte: Autor, 2023.

Através das bibliotecas “Wifi.h” e “BlynkSimpleEsp32.h” foi possível a criação de um *Web Service*, assim sendo possível enviar e receber dados com os servidores do Blynk. O Blynk fornece três modos de ativação do dispositivo, e o modo escolhido foi através da ativação manual do dispositivo, método que pode ser utilizado por qualquer dispositivo suportado pelo Blynk. É comumente utilizado durante a prototipagem, que vem a ser o caso deste projeto.

Para que ocorra a conexão do dispositivo com a plataforma é preciso do ID do modelo, o nome do Template e o Token de autenticação, que pode ser obtido acessando o “*Search*” e selecionando o “*Devices*” do projeto em questão. Como podemos ver na figura 31 a localização dessas opções no painel do Blynk.

Figura 31 - Informações do template



Fonte: Autor, 2023.

Essas 3 linhas de código foram copiadas e adicionadas ao código para serem utilizadas durante o estabelecimento da conexão pelo "Blynk.begin". Na figura 32 podemos visualizar como esses parâmetros se apresentam.

Figura 32 - ID do projeto

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2-KrGtv5x"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Teste ESP32"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "S3WVRQ151r8u2B1B1Uwak8xE5eB-yTx"
```

Fonte: Autor, 2023.

O Blynk é iniciado através do "Blynk.begin" que vai utilizar o token de autenticação seguido do nome da rede Wifi e da senha de rede para se conectar. Na figura 33 podemos visualizar a sintaxe.

Figura 33 - Blynk.begin

```
Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, "OLIVEIRA 2G", "12345678901234567890");
```

Fonte: Autor, 2023.

Existem várias variáveis que podem ser modificadas pelo dashboard através do navegador ou aplicativo mobile, e elas proporcionam o controle sem a necessidade estar presencialmente com a estufa. Para realizar esta operação foi utilizado a função "BLYNK_WRITE()" quando essa função é chamada ocorre uma verificação se houve alteração do valor do "Pin Virtual" através do (Servidor, Dashboard, aplicativo).

Os parâmetros que serão recebidos através do servidor são o ajuste da temperatura, estado do botão *start* e estado do botão *reset*. Essas variáveis recebem o valor por meio do método "param.asInt()", 'param' se refere ao parâmetro declarado na função, que no caso é o valor do pino virtual e "asInt" diz respeito ao tipo de variável que no caso é um inteiro para nossas 3 variáveis. Na figura 34 podemos ver a parte do código responsável por receber dados do servidor.

Figura 34 - Blynk.Write

```
//Recebe dados do pino virtual "V1" (Dados vindo da plataforma Blynk).
BLYNK_WRITE(V1) {
  ajuste_temperatura_ds18b20 = param.asInt(); // assigning incoming value from pin V1 to a variable
}

//Recebe dados do pino virtual "V4" (Dados vindo da plataforma Blynk).
BLYNK_WRITE(V4) {
  estado_botao_start = param.asInt(); // assigning incoming value from pin V1 to a variable
}

//Recebe dados do pino virtual "V5" (Dados vindo da plataforma Blynk).
BLYNK_WRITE(V5) {
  estado_botao_reset = param.asInt(); // assigning incoming value from pin V1 to a variable
}
```

Fonte: Autor, 2023.

Figura 35 - Blynk.virtualWrite

```
//Função para enviar dados.
void enviar_blink() {
  Blynk.virtualWrite(V0, temperatura_ds18b20); // Temperatura porta virtual V6
  Blynk.virtualWrite(V2, umidade_dht22); // Umidade porta virtual V4
  Blynk.virtualWrite(V3, tempo_em_minutos); // Tempo porta virtual V7
  Blynk.virtualWrite(V4, estado_botao_start); // Tempo porta virtual V7
  Blynk.virtualWrite(V5, estado_botao_reset); // Tempo porta virtual V7
}
```

Fonte: Autor, 2023.

4.2.1 VISUALIZAÇÃO DE DADOS

Os dados são visualizados de forma simples e intuitiva, conforme pode ser observado na figura 36, através do aplicativo podemos observar alguns parâmetros como temperatura, umidade relativa e o tempo decorrido, também é possível realizar o ajuste de temperatura através de um *slider* no *dashboard web* que pode variar até 80°C, apesar de ser uma temperatura configurável, não é recomendado o uso acima de 55°C, pois temperaturas muito altas podem danificar a integridade dos filamentos de PLA e também a estufa não possui uma estrutura adequada para suportar tais parâmetros.

Figura 36 - Dashboard móvel



Fonte: Autor, 2023.

Pelo aplicativo Blynk são disponibilizados vários padrões de resolução de tempo, por exemplo, podemos observar os parâmetros da estufa ao vivo e em outras escalas de tempo, tanto para os gráficos de temperatura como os de umidade.

4.2.2 ESCOLHA DE PARÂMETROS

Através de uma pesquisa exploratória, coleta e uso de informações já publicadas e no contexto de filamentos de PLA (ácido polilático), é crucial garantir a qualidade e desempenho do material. Serão apresentados alguns motivos pelos quais a faixa de 30-35% de umidade é considerada aceitável nesse contexto.

- Higroscopicidade do material de PLA. significa que ele tem propensão natural para absorver a umidade do ambiente ao seu redor, podendo afetar propriedades físicas e mecânicas.
- Efeito na qualidade de impressão 3D, após serem realizados múltiplos testes com parâmetros diferentes de umidade presente no material, o melhor desempenho começou a ser notado por volta de 40% de umidade ou menos, o comportamento ideal, como a inserção no extrusor e sua facilidade de aquecimento foram notáveis quando a umidade alcançou 35%, foi possível minimizar os problemas e aprimorar a qualidade da impressão.
- O armazenamento adequado do filamento também é um grande fator para que o PLA continue com uma qualidade aceitável, é mais efetivo se logo após o processo de secagem usar o produto e conservar em local adequado.

Em resumo, a escolha da faixa de 30-35% para umidade aceitável em filamentos de PLA visa garantir a consistência na qualidade das impressões, manter as propriedades mecânicas do material e prevenir problemas operacionais durante o processo de impressão. Controlar a umidade é uma prática fundamental para assegurar o sucesso e a durabilidade das peças impressas em PLA.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testes neste protótipo de estufa, foi escolhido um filamento de PLA que foi disponibilizado pelo professor orientador, este filamento que já possuía sua integridade corrompida e que não tinha a mesma resistência inicial recomendada, foram realizados testes manuais em pequenas amostras de filamentos, e foi constatado que a amostra não tinha resistência suficiente para passar pelo extrusor, rompendo antes disso.

Após alguns testes mecânicos (tração, dureza, e dobramento), e algumas amostras serem retiradas, o rolo de filamento foi posto no protótipo de estufa e foram realizados testes por 8 horas. Ao início dos testes, as condições registradas foram de 30°C e 79% de umidade relativa no ar (UR) presente, as melhores condições foram configuradas, e foi configurado pela plataforma web do Blynk.io 55°C, para que a temperatura ficasse alternando de 50° à 55° por cerca de 480 minutos.

Figura 37 - Condições iniciais da estufa



Fonte: Autor, 2023.

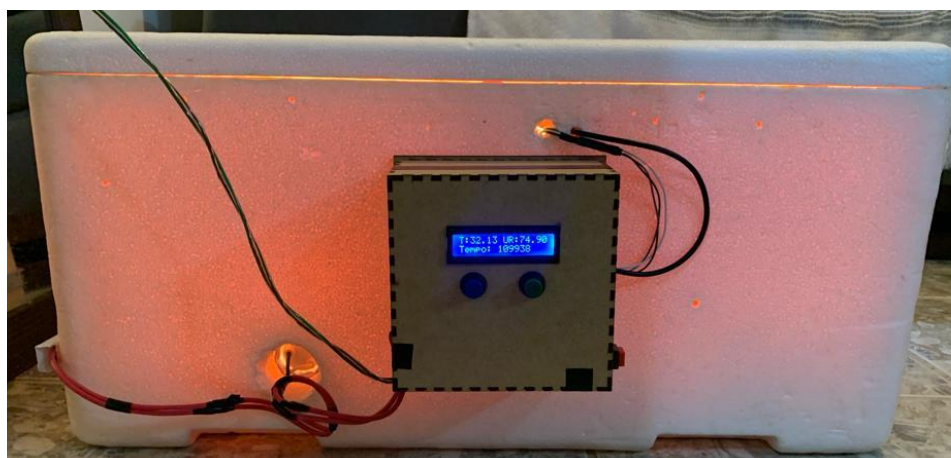
Figura 38 - Condições iniciais da estufa



Fonte: Autor, 2023.

Sendo assim, o processo de secagem seguiu normalmente, até um momento que foi detectado que a queda de umidade relativa estagna, por não haver troca de ar por ventoinhas ou exaustores, a troca de ar foi feita manualmente. A renovação de ar contribui para o controle de umidade dentro da estufa, a troca de ar ajuda a evitar a condensação e o acúmulo excessivo de umidade, e foi feito abrindo a tampa da caixa de isopor e abanando algumas vezes.

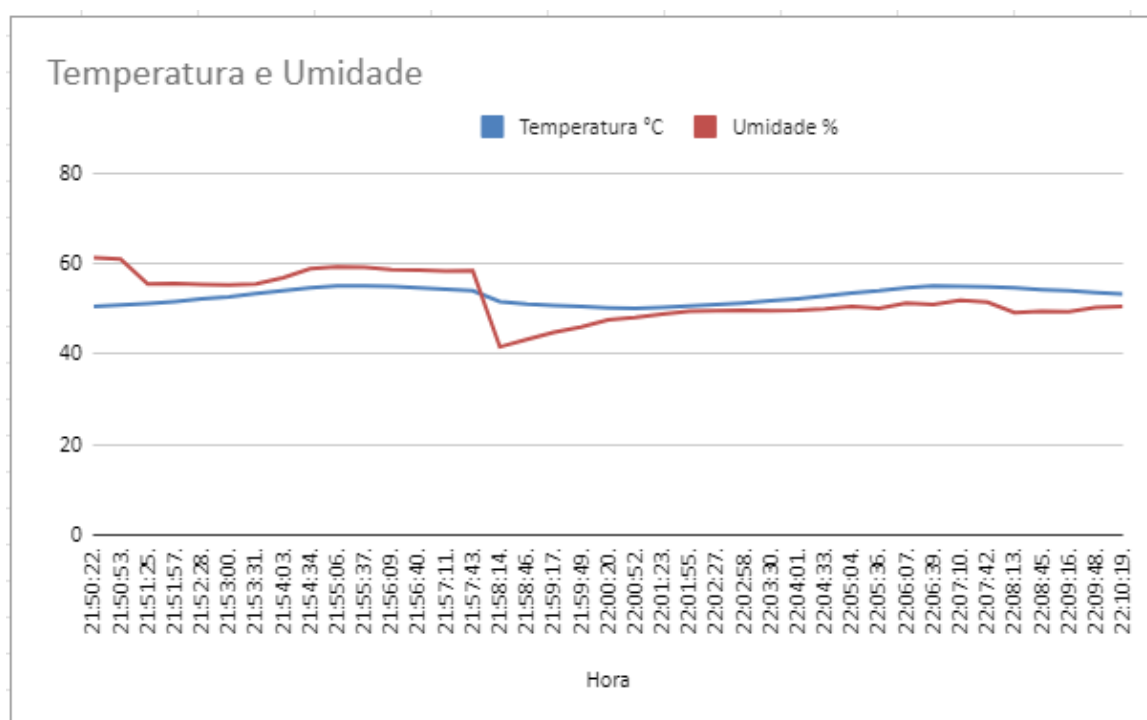
Figura 39 - Condições iniciais da estufa



Fonte: Autor, 2023.

Podemos notar que a umidade relativa registrada pelo sensor DHT22 caiu drasticamente por volta de 21:58, momento em que a estufa foi aberta, e volta a subir depois de alguns minutos, isso porque o ar continua a absorver a umidade dos filamentos, e na medida em que a temperatura sobe a umidade relativa dentro da caixa diminui e estagna, indicando que precisa haver uma nova troca de ar dentro da caixa:

Figura 40 - Gráfico de temperatura e umidade



Fonte: Autor, 2023.

Ao realizar esses testes, como já descrito acima, foi possível obter *insights* valiosos sobre o comportamento do material em condições controladas, pois a janela de 8 horas proporciona uma janela significativa para observar as mudanças nas propriedades mecânicas do filamento de PLA. A troca de ar tem o propósito de acelerar o processo e atingir a faixa de umidade desejada, que foi definida como 30%-35% e só foi possível obter os parâmetros desejados depois de 8 horas de secagem, e será detalhado no capítulo 5.1.

5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

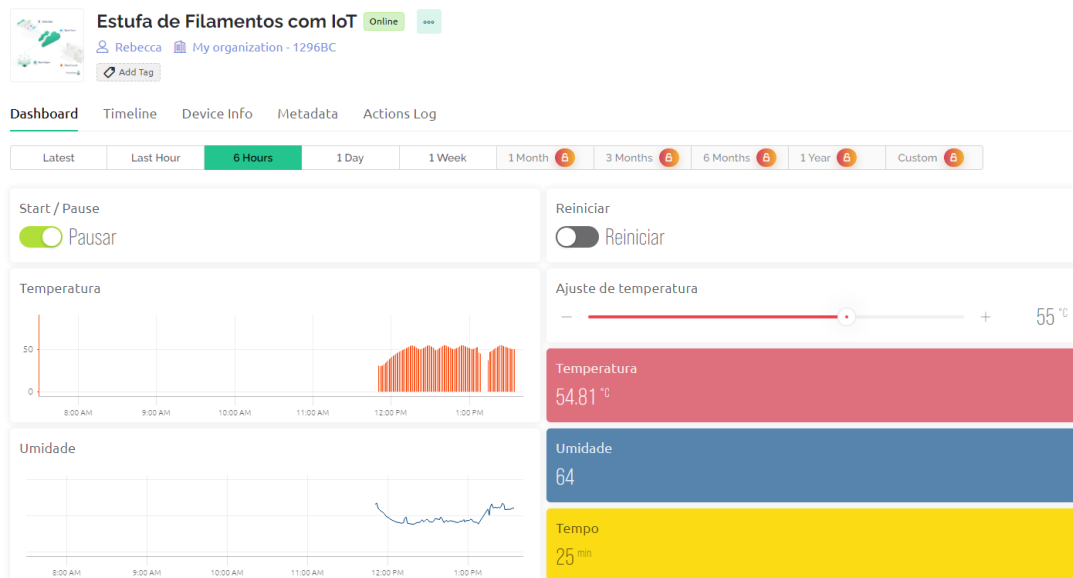
Nesta seção será apresentado os resultados obtidos do projeto:

O projeto teve como objetivo a criação de um protótipo de secagem de filamentos de PLA utilizando a plataforma IoT Blynk.io com o objetivo de monitorar e controlar as condições ambientais para otimizar a qualidade do material antes da impressão 3D. A própria plataforma disponibiliza elementos interativos e métodos de monitoramento, que podem ser configuradas de acordo com o que o usuário deseja. O sistema empregado envolveu a instalação de sensores de umidade e temperatura na estufa, conectados à plataforma Blynk.io, permitindo o monitoramento remoto em tempo real. A análise e resultados deste projeto destacam a eficácia da integração da plataforma blynk.io na operação da estufa, a seguir será mostrado os elementos finais do projeto:

5.1.1 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

A interface desenvolvida através do Blynk.io desempenha um papel fundamental no projeto. A plataforma oferece uma interface amigável e personalizável, permitindo que os usuários monitorem e controlem remotamente e em tempo real os parâmetros da estufa por meio de dispositivos conectados à internet, como *smartphones* e computadores, sendo perfeitamente acessível, por ser compatível com sistemas Android e IOS.

Figura 41 - Interface Blynk.io web



Fonte: Autor, 2023.

Na figura acima podemos ver os elementos da interface, que foram escolhidos minuciosamente para que a o dashboard fosse o mais intuitivo possível, a tela é composta de botões interativos (e os elementos de monitoramento):

1. Botões de start/pause:

Figura 42 - Botão de Start

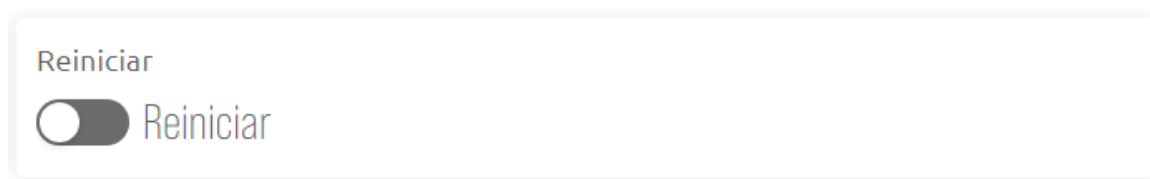


Fonte: Autor, 2023.

O botão de start é responsável pela inicialização e pause do sistema, por exemplo, caso haja necessidade de pausar o sistema no meio do processo o usuário consegue fazer isso remotamente.

2. Botão de reiniciar/reset:

Figura 43 - Botão de Reset



Fonte: Autor, 2023.

O botão de reiniciar é responsável por zerar o contador interno que define o tempo que a estufa ficou ligada, normalmente é utilizado após o fim do processo.

3. Ajuste de Temperatura:

Figura 44 - Ajuste de Temperatura



Fonte: Autor, 2023.

Slider é responsável por configurar os parâmetros de temperatura, e o usuário tem a liberdade de ajustar a temperatura do modo que desejar, apesar de poder ser configurável até 80°C, por questões de segurança, o recomendável é que o sistema seja configurado até 55°C, tanto por motivos de conservação da integridade do material que está sendo secado, quanto pela integridade da estufa, pois temperaturas muito altas podem danificar o sistema, como a caixa de isopor, os sensores e atuadores.

E os elementos de supervisão:

1. Label/Rótulos:

Figura 45 - Rótulos dos parâmetros

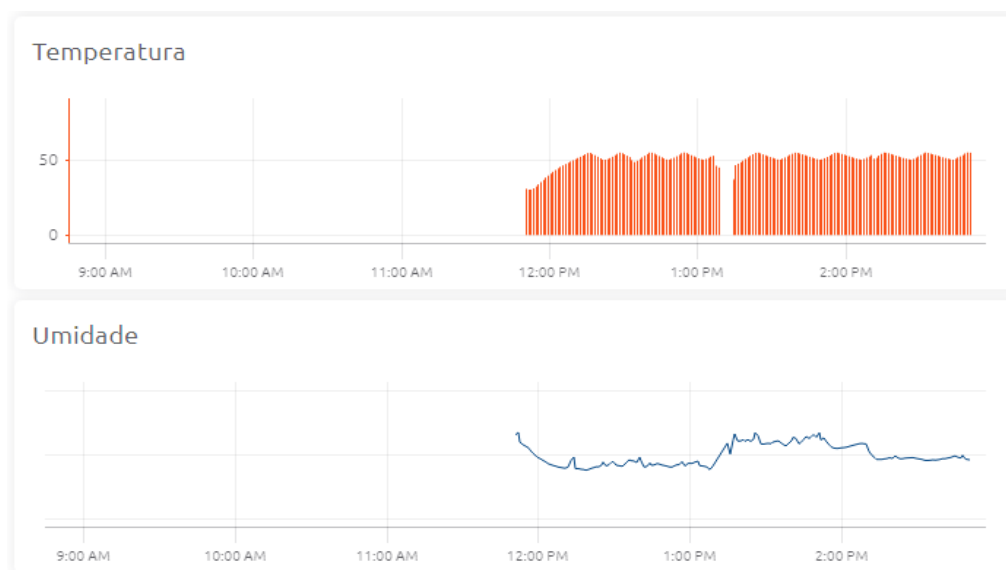


Fonte: Autor, 2023.

É onde o usuário pode acompanhar em tempo real os parâmetros que estão sendo registrados na estufa, como os registros de temperatura, umidade e o tempo que a estufa está ligada.

2. Gráficos:

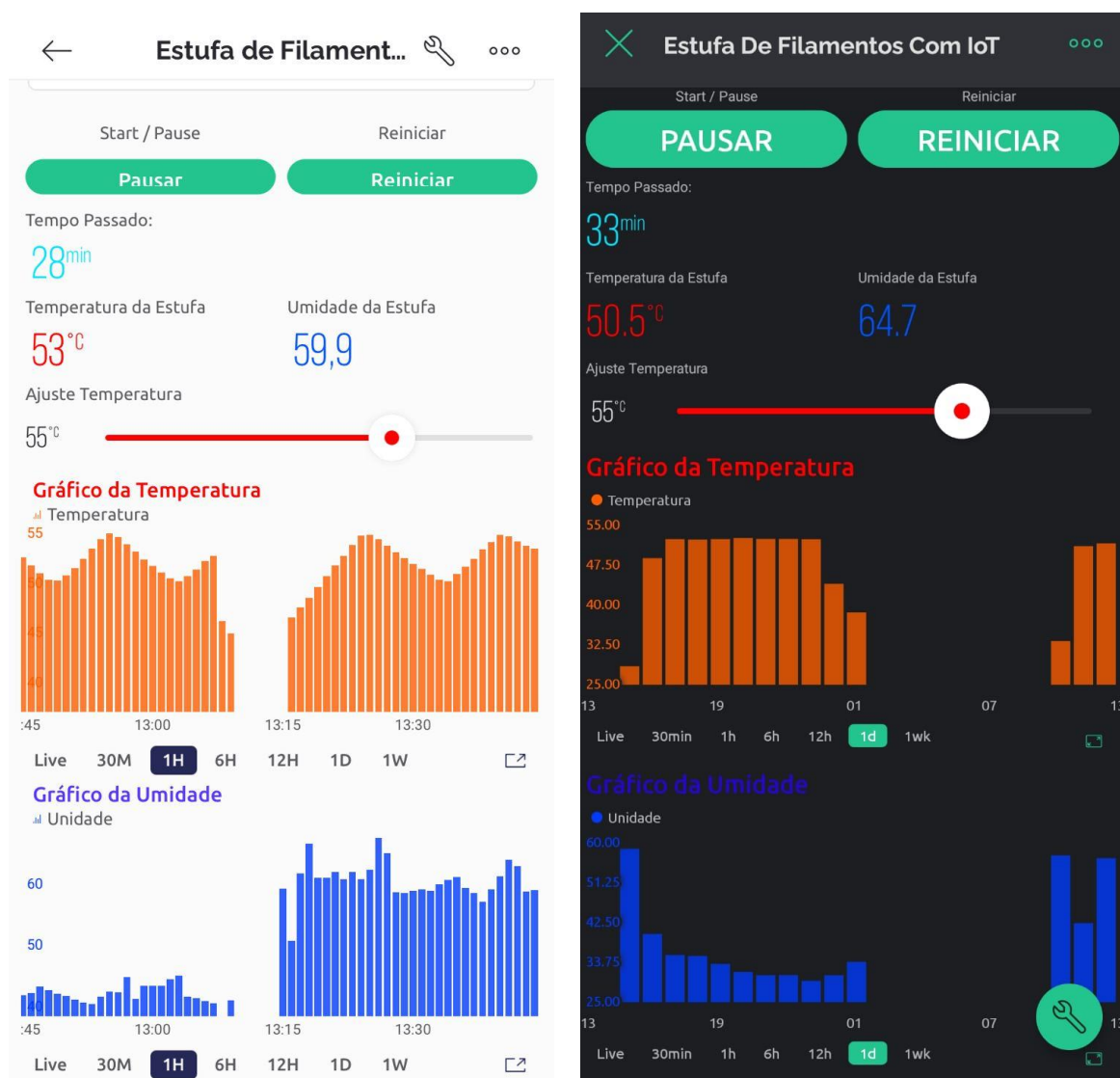
Figura 46 - Rótulos dos parâmetros



Fonte: Autor, 2023.

É possível acompanhar os dados registrados e histórico das condições da estufa ao longo do tempo, que é crucial para análise retrospectiva, identificação de tendências e ajustes contínuos no processo de secagem.

Figura 47 - Interface Blynk.io IOS e Android



Fonte: Autor, 2023.

Podemos ver as mesmas configurações pela plataforma móvel, sendo possível fazer o monitoramento e controle somente pelos dispositivos móveis, sem a necessidade de computadores.

5.1.2 ANÁLISE DE RESULTADOS

A aquisição de dados após o término do processo da estufa para secagem de filamentos de PLA envolveu a coleta e análise das informações registradas durante o ciclo de secagem, após a exportação dos dados registrados em formato de CSV e posteriormente analisado pelo Google Planilhas, facilitando uma análise mais fácil fora da plataforma.

Figura 48 - Google Planilhas



Fonte: Autor, 2023.

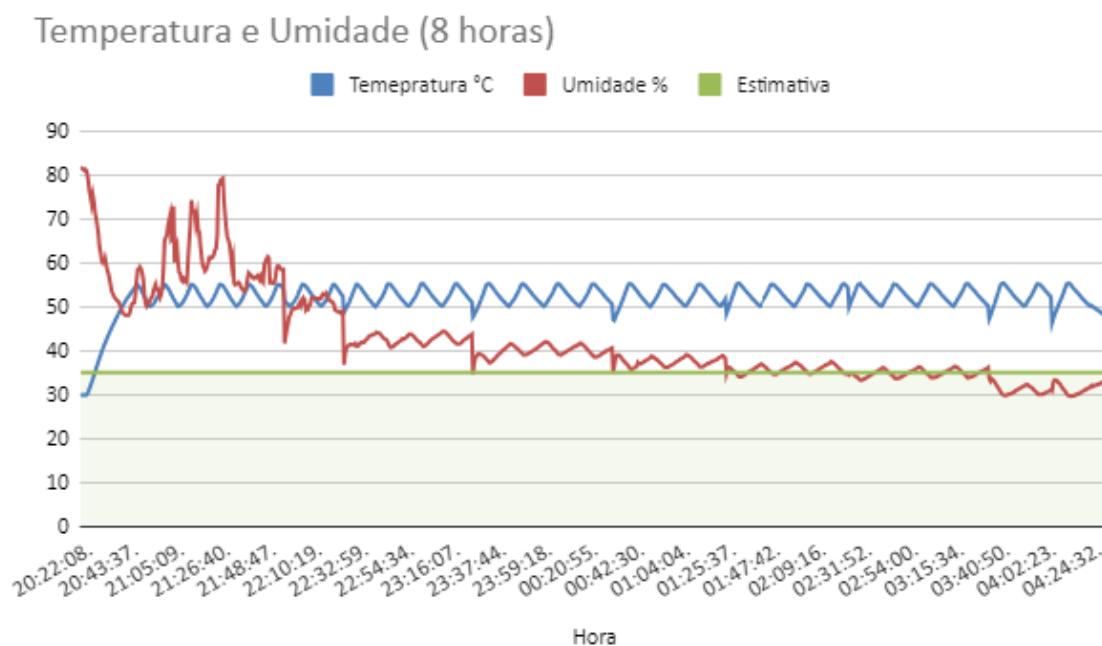
Figura 49 - Dados coletados

B	C	D	E	F
created_at	entry_id	field1	field2	field3
2023-11-18T20:22:08-04:00	1	29,8125	81,8	29,8
2023-11-18T20:22:39-04:00	2	29,875	81,5	29,9
2023-11-18T20:23:10-04:00	3	29,875	81,3	30
2023-11-18T20:23:41-04:00	4	29,875	81,1	30
2023-11-18T20:24:13-04:00	5	29,9375	81,3	30
2023-11-18T20:24:44-04:00	6	29,875	81,1	30
2023-11-18T20:25:15-04:00	7	30,0625	80,3	30,2
2023-11-18T20:25:47-04:00	8	30,625	78,7	30,9
2023-11-18T20:26:18-04:00	9	31,3125	76,3	31,5
2023-11-18T20:26:49-04:00	10	32	75	32,2
2023-11-18T20:27:21-04:00	11	32,75	73,5	32,9
2023-11-18T20:27:52-04:00	12	33,5	75,4	33,8
2023-11-18T20:28:24-04:00	13	34,3125	74	34,5
2023-11-18T20:28:55-04:00	14	35,0625	71,5	35,4
2023-11-18T20:29:27-04:00	15	35,9375	70,2	36,3
2023-11-18T20:29:58-04:00	16	36,6875	68,4	37,2
2023-11-18T20:30:30-04:00	17	37,5	66,6	38,1
2023-11-18T20:31:01-04:00	18	38,25	63,6	38,9
2023-11-18T20:31:33-04:00	19	39	62,3	39,7
2023-11-18T20:32:04-04:00	20	39,75	60,6	40,6
2023-11-18T20:32:36-04:00	21	40,4375	59,9	41,3
2023-11-18T20:33:07-04:00	22	41,125	60	42,1

Fonte: Autor, 2023.

Sendo assim, foi possível identificar tendências, padrões e anomalias, como podemos ver no gráfico abaixo gerado com todos os dados adquiridos durante a análise, podemos observar variações significativas no comportamento do material ao longo do processo, como a queda do nível de umidade relativa durante a realização de troca de ar a cada vez que a tampa da estufa era aberta e abanada de uma em uma hora, e também o gráfico de temperatura, foi estabelecido um range de 5°C de diferença, então podemos ver através do gráfico que a temperatura alterna de 50°C a 55°C durante as 8 horas do processo, tendo também queda de temperatura nos momentos em que a estufa era aberta.

Figura 50 - Gráfico de temperatura e umidade pelo tempo

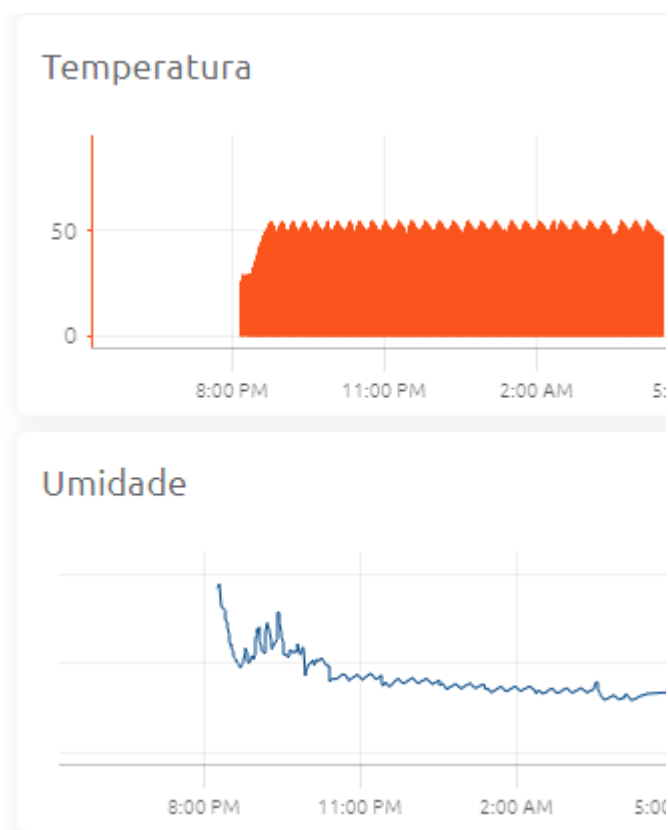


Fonte: Autor, 2023.

Foi configurado uma estimativa de 30-35% de umidade que se desejava alcançar e podemos, ao inicializar o sistema as lâmpadas começam a esquentar o ar dentro da estufa, por isso podemos ver a queda abrupta de umidade dentro do sistema, após alguns minutos ela torna a subir, isso pois o ar quente passa pelas barras de alumínio e através dos filamentos, fazendo com que a umidade contida nesses evapore e comece a condensar no interior da caixa, foi assim realizada a

primeira troca de ar, abrindo a tampa e abanando algumas vezes às 21:28, e ela torna a estabilizar. Podemos observar os gráficos pelo Blynk.io também na figura abaixo:

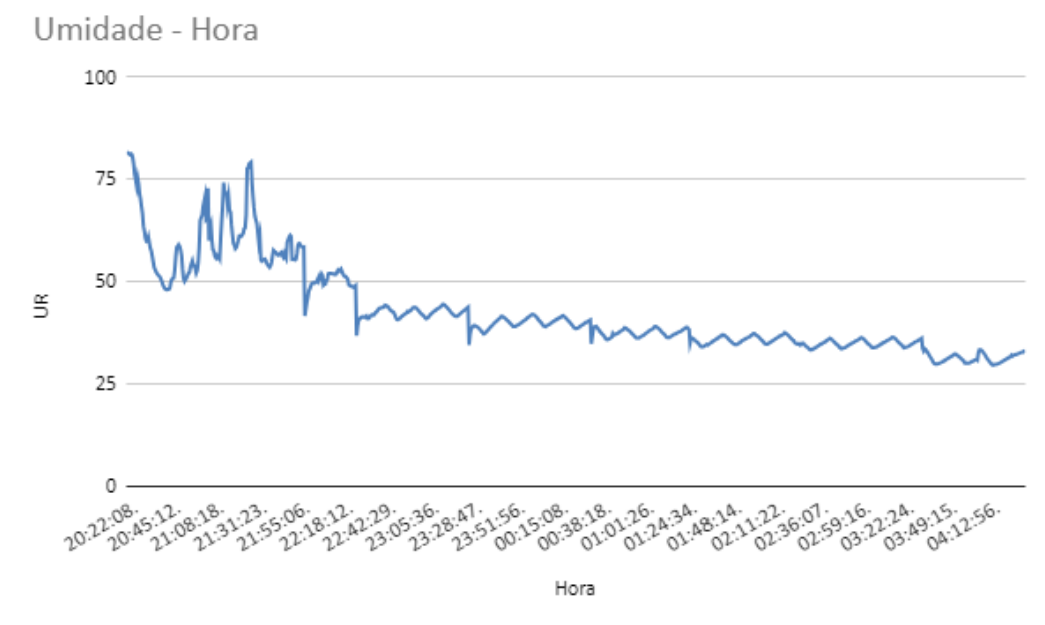
Figura 51 - Gráfico de temperatura e umidade pelo Blynk.io



Fonte: Autor, 2023.

Podemos fazer uma observação mais detalhada da umidade em relação ao tempo, pois assim podemos observar a queda da umidade de acordo com os momentos em que a tampa foi aberta:

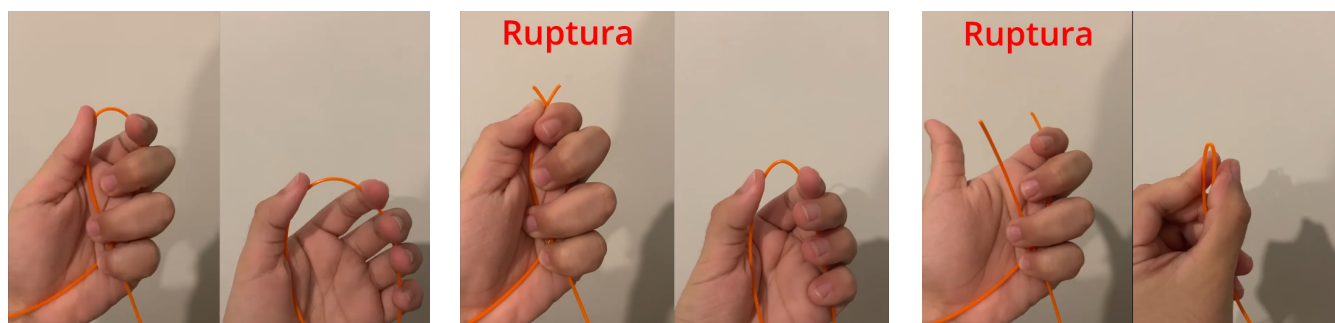
Figura 52 - Umidade - Hora



Fonte: Autor, 2023.

É possível notar as quedas de umidade de hora em hora até que o parâmetro desejado foi alcançado. Também é importante ressaltar que o aconselhado é utilizar o filamento logo após o processo de secagem, por ele apresentar uma resistência maior do que algumas horas após a secagem, como podemos ver na figura 53, as imagens a esquerda é o filamento após o processo de secagem, e o da direita é uma amostra tirada para análises, o filamento logo após o processo apresenta uma resistência mecânica melhor à amostra tirada posteriormente.

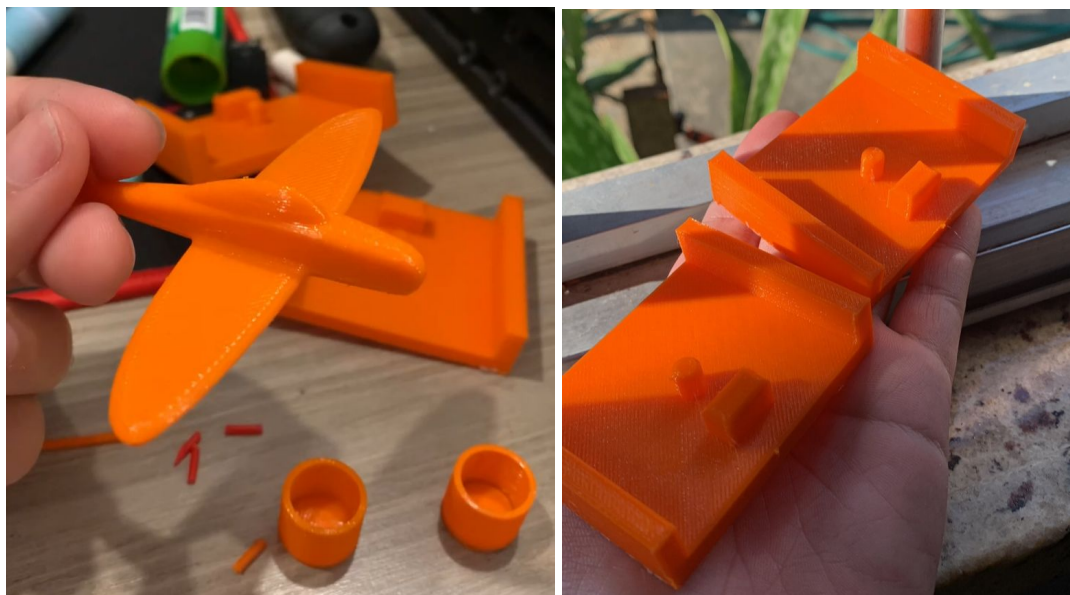
Figura 53 - Análise mecânica da resistência do filamento.



Fonte: Autor, 2023.

A seguir, podemos ver alguns dos resultados das impressões do filamento de PLA que passou pelo processo de secagem, onde foi construído um JIG para uma empresa e alguns itens artesanais:

Figura 54 - Resultado da impressão após o processo de secagem.



Fonte: Autor, 2023.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos *insights* obtidos na análise, o presente trabalho teve como objetivo principal investigar a eficiência do sistema de secagem de filamentos, empregando IoT no processo, podemos concluir que os objetivos propostos foram alcançados:

- Foi construído um protótipo de um sistema de monitoramento e controle baseado em IoT para o processo de secagem de filamentos PLA em uma estufa.
- O sistema foi capaz de atender e registrar os requisitos e condições internas da estufa, como os parâmetros de temperatura e umidade.
- Foi desenvolvido um sistema de monitoramento IoT, utilizando a plataforma Blynk.io para a coleta e observação dos dados internos da estufa.
- Os sensores, atuadores foram integrados ao sistema IoT com sucesso, garantindo a leitura precisa dos parâmetros.
- Foi desenvolvida uma interface intuitiva e prática para visualização de dados ao usuário.
- Foi feita uma análise e síntese de dados obtidos pelos sensores e foi possível notar a melhoria na qualidade do filamento de PLA testado.

A análise dos dados experimentais revelou uma correlação positiva entre a utilização da estufa e o aumento da resistência mecânica do filamento de PLA utilizado nos testes, a conclusão é respaldada por observações consistentes ao longo de múltiplos ciclos de secagem, onde a estufa manteve as condições ideais de umidade e temperatura, resultando em melhorias mensuráveis nas propriedades do material.

A integração da plataforma IoT Blynk.io desempenhou um papel crucial na eficiência operacional do processo, permitindo um monitoramento remoto em tempo real e controle preciso das condições da estufa, a capacidade de ajustar parâmetros instantaneamente com base nas leituras dos sensores contribuiu significativamente para a consistência da definição de parâmetros e melhorias no material em questão. Como citado anteriormente, é recomendado a utilização do material logo após o processo de secagem, ou antes do fim do processo, por ele

apresentar as melhores características durante essa situação, a estufa, ao proporcionar um ambiente controlado e eficiente, não apenas eliminou a umidade excessiva do material, mas também otimizou as propriedades mecânicas, tornando o PLA mais adequado para aplicações exigentes.

Dessa maneira, esta pesquisa contribui não apenas para o avanço na compreensão dos processos de secagem de filamentos de PLA, mas sua aplicação na prática da estufa e da utilização da plataforma Blynk.io na otimização do uso de filamentos de PLA que possuíam sua integridade corrompida, Sugere-se que trabalhos futuros explorem ainda mais a otimização do processo, como por exemplo:

- Utilização de ventoinhas/exaustores: para que haja uma troca de ar automática sem que o usuário precise realizar a troca de ar manualmente, e baseado nos dados coletados na estufa a troca de ar seja feita automaticamente.
- Melhoria de materiais: para que o sistema suporta condições mais críticas sem que haja danos na estufa, para que se estenda também para outros materiais que necessitam de parâmetros mais robustos.
- Adição de uma resistência: para que a distribuição de calor pela planta seja mais homogênea.
- Inserção de um sistema PID: um sistema de controle que seja autorregulável e se adapte de acordo com os parâmetros configurados pelo usuário.
- Identificar e testar outros tipos de potências de lâmpadas para verificar a velocidade que a caixa alcançaria a temperatura desejada.

REFERÊNCIAS

- 3D Innov Brasil, 2023. **Tecnologias de Manufatura Aditiva (Impressão 3D) que você deve conhecer (1ª parte - SLA)**. Disponível em: <<https://www.3dinnovbrasil.com/single-post/2016/07/18/tecnologias-de-manufatura-aditiva-impress%C3%A3o-3d-que-voc%C3%AA-deve-conhecer> . Acesso em: 1 nov. 2023.>
- AL-FUQAHA, Ala et al. **Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications**. IEEE communications surveys & tutorials, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.
- ALBUQUERQUE, YURE. **ESP32 pinout – Guia Básico de GPIOs**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://blog.smartkits.com.br/esp32-pinout-guia-basico-de-gpios/>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- ASSANTE, Dario; FORNARO, Claudio. **An Educational IoT-based Indoor Environment Monitoring System**. 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), [s. l.], 2019. DOI 10.1109/EDUCON.2019.8725262. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8725262> . Acesso em: 12 nov. 2019.
- Auto Core Robotica, 2023. **Módulo Sensor de Umidade/Temperatura DHT11**. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/modulo-sensor-de-umidade-temperatura-dht11> . Acesso em: 7 nov. 2023.
- BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. **Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D**. Gestão Tecnologia e Inovação, v. 1, n. 3, p. 9-18, 2017.
- BRITO*, G. F. et al. **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande – PB, p. 127-139, set. 2011. Disponível em
- CALIGNANO, F.; MANFREDI, D.; AMBROSIO, E. P.; BIAMINO, S.; LOMBARDI, M.; ATZENI, E.; SALMI, A.; MINETOLA, P.; IULIANO, L.; FINO, P. **Overview on Additive Manufacturing Technologies**. Proceedings of the IEEE, v. 105, n. 4, p. 593-612, 2017. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2625098>

FONTELLES, Mauro José et al. **Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa**. Revista paraense de medicina, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.

KONDO, Hironori. ALL3DP, 2023. **Como secar filamentos 3D: PLA, ABS e Nylon**. Disponível em: <https://all3dp.com/pt/2/secar-filamentos-3d-pla-abs-nylon/> . Acesso em: 5, nov. 1998.

HUANG, P. H.; LIU, P.; MOKASDAR, A.; HOU, L. **Additive manufacturing and its societal impact: a literature review**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 67, n. 5-8, p. 1191-1203, 2013.
<https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>

LIMA, Leandro; PETRICA, Eder. Protocolo HTTP.

MARANGONI, Vinicius Henrique; DE SOUZA, Paulo Sérgio; MOREIRA, Heber Rocha. **Automação de estufas agrícolas utilizando sensores e arduino**. In: 6ª Jornada Científica e Tecnológica 3º Simpósio da Pós-Graduação do IFSULDEMINAS. 2014.

MEDEIROS, Mayla Alencar. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas de materiais poliméricos aplicados à manufatura aditiva**. 2022.

PEREIRA, Renato Brisigueli; MORALES, Ana Rita. **Estudo do comportamento térmico e mecânico do PLA modificado com aditivo nucleante e modificador de impacto**. Polímeros, v. 24, p. 198-202, 2014.

PETINARI, Vinicius D. **Aplicação do Arduino no Controle Da Estufa de Secagem**, 2018. - UFGD, Dourados/MS, 2018.

RECH, Fernanda et al. **Formulação e caracterização de potenciais filamentos compósitos de PLA e talos de tabaco para aplicação em manufatura aditiva**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, p. e12988, 2021.

REVILLA-LEÓN, M.; ÖZCAN, M. **Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry**. Journal of Prosthodontics, v. 28, n. 2, p. 146-158, 2019.
<https://doi.org/10.1111/jopr.12801>

Robo Core, 2023. **Sensor de temperatura DS18B20 - À Prova de Água**. Disponível em: <https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova>

-de-agua?gclid=CjwKCAjwh8mlBhB_EiwAsztdBMCBO89Qwlmth8AnRIj6Ks7Da5mb9WlsM8sQISuFQUE2b3kXUYrlghoCOsMQAvD_BwE . Acesso em: 7 nov. 2023.

SANTANA, Leonardo et al. **Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, 2018.

SILVA JUNIOR, Mauricio Pavan da. **Análise entre protocolos HTTP e MQTT em projetos IOT**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SILVA, Arthur Figueira da; FARIA, Gustavo Ferreira Santiago de. **Uma visão sobre internet das coisas**. 2019.

SILVA, lady Lorenzoni da. **Desenvolvimento de uma estufa automatizada baseada em IOT para uso residencial**, 2020.

SILVA, Saymon Rafael da Cunha. **Sistema de monitoramento e controle de energia utilizando o microcontrolador ESP32**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Smart Kits, 2023. **Mini Fonte Aberta AC-DC 100 a 220V para 5V**. Disponível em: https://www.smartkits.com.br/mini-fonte-aberta-ac-dc-100-a-220v-para-5v?parceiro=9390&gclid=Cj0KCQjw_O2lBhCFARIsAB0E8B8Aj1Rvs8hjrUa8u9435OmkLRP-LUIGRsvRN-YvMbK0M9_tUXYJPloaAmOLEALw_wcB . Acesso em: 7 nov. 2023.

SmartKits - **Módulo WiFi ESP32 Bluetooth**. Disponível em: https://www.smartkits.com.br/modulo-wifi-esp32-bluetooth?parceiro=9390&gclid=CjwKCAjwh8mlBhB_EiwAsztdBB2VvCugd7W_M_RoJHrXDgYDthLKLLfzfBCD_PdZ7ww34IM575I3ihoCQf8QAvD_BwE

SONG, C., LIN, F., BA, Z., et al, “**My smartphone knows what you print: exploring smartphonebased side-channel attacks against 3D printers**”, In: Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, pp. 895-907, Vienna, Oct. 2016.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Editora Blucher, 2021.

WANZELER, Tiago; FULBER, H.; MERLIN, Bruno. **Desenvolvimento de um sistema de automação residencial de baixo custo aliado ao conceito de Internet das Coisas (IoT)**. XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. Santarém, PA, p. 40-44, 2016.

WENDLING, Marcelo. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, v. 2010, p. 20, 2010.