

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES
CAMPUS PATOS DE MINAS

ÍTALA LORRANE SILVA COUTO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO E
CONTROLE DE ESTUFAS DE PEQUENO PORTE**

Patos de Minas – MG

2024

ÍTALA LORRANE SILVA COUTO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO E
CONTROLE DE ESTUFAS DE PEQUENO PORTE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como requisito para conclusão do Projeto Final de Curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa Ramos

Patos de Minas - MG

2024

ÍTALA LORRANE SILVA COUTO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO E
CONTROLE DE ESTUFAS DE PEQUENO PORTE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como requisito para conclusão do Projeto Final de Curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica.

Patos de Minas, 11 de outubro de 2024

Banca Examinadora

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos – FEELT/UFU (Orientador)

Prof. Dr. Davi Sabbag Roveri – FEELT/UFU (Membro 1)

Prof^a. Dr^a. Eliana Pantaleão – FACOM/UFU (Membro 2)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, por todo o apoio, orientação e incentivo ao longo deste trabalho. Sua sabedoria e paciência foram fundamentais para que eu pudesse alcançar este objetivo. Agradeço, também, à minha família, que sempre acreditou em mim e me incentivou a seguir meus sonhos, mesmo diante das dificuldades. Vocês são minha base e inspiração.

À comunidade acadêmica, expresso minha gratidão pelo conhecimento compartilhado, pelas trocas enriquecedoras e pelo ambiente desafiador que contribuiu imensamente para meu crescimento. Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, não permitindo que eu desistisse, obrigado por cada palavra de incentivo e por cada momento de apoio.

Um agradecimento especial à minha psicóloga, cuja orientação e suporte emocional foram essenciais para a conclusão desta etapa. Sua ajuda foi fundamental para que eu mantivesse o equilíbrio e a perseverança ao longo desta jornada.

Este trabalho é, também, de todos vocês.

“Inovar é encontrar usos novos ou recursos melhores para os recursos que já temos.” Peter Drucker

RESUMO

Os avanços da Agricultura 4.0 e a incorporação de tecnologias digitais no campo tem revolucionado a forma de produzir alimentos, trazendo maior eficiência e sustentabilidade para o setor agrícola. Diante da crescente demanda por soluções que equilibrem produtividade e preservação dos recursos naturais, o desenvolvimento de sistemas automatizados se torna essencial, especialmente para pequenos agricultores. Nesse contexto, este trabalho se apresenta como uma possível solução para tornar as tecnologias utilizadas no cultivo em ambiente fechado mais acessíveis. O presente estudo propõe a automação e otimização do gerenciamento de estufas de pequeno porte por meio de um sistema que integra tecnologias inovadoras, acessíveis e de baixo custo. O objetivo principal é desenvolver um protótipo capaz de monitorar e controlar, de forma automatizada, as condições ambientais de uma estufa, utilizando o *Raspberry Pi 3* e o Arduino Uno. O sistema foi projetado para coletar dados de sensores de temperatura, umidade do ar e umidade do solo, processando essas informações em tempo real através da plataforma *Node-RED*, que também gerencia atuadores, como um ventilador e uma bomba de água. A metodologia incluiu a implementação do protótipo de *hardware*, a configuração de uma interface gráfica para o usuário e a validação do sistema em uma estufa real, com o intuito de atender às demandas de pequenos agricultores. Os resultados indicam que o sistema é eficiente na automação do controle ambiental da estufa, oferecendo uma interface de fácil utilização. O protótipo foi validado com sucesso, demonstrando ser uma solução viável e econômica para o gerenciamento de estufas, com potencial para futuras expansões e aprimoramentos.

Palavras-chave: Agricultura 4.0, Internet das Coisas (IoT), estufa automatizada, *Raspberry Pi*, Arduino, *Node-RED*, pequeno agricultor.

ABSTRACT

Advances in Agriculture 4.0 and the incorporation of digital technologies in farming have revolutionized food production, bringing greater efficiency and sustainability to the agricultural sector. In light of the growing demand for solutions that balance productivity with the preservation of natural resources, the development of automated systems has become essential, particularly for small-scale farmers. In this context, this work presents itself as a potential solution to make the technologies used in indoor cultivation more accessible. The present study proposes the automation and optimization of small-scale greenhouse management through a system that integrates innovative, accessible, and cost-effective technologies. The main objective is to develop a prototype capable of monitoring and automatically controlling the environmental conditions of a greenhouse, utilizing the Raspberry Pi 3 and Arduino Uno. The system is designed to collect data from temperature, air humidity, and soil moisture sensors, processing this information in real time through the Node-RED platform, which also manages actuators such as a fan and a water pump. The methodology included the implementation of the hardware prototype, the configuration of a user-friendly graphical interface, and the validation of the system in a real greenhouse, with the aim of addressing the needs of small-scale farmers. The results indicate that the system is efficient in automating the environmental control of the greenhouse, offering an easy-to-use interface. The prototype was successfully validated, proving to be a viable and cost-effective solution for greenhouse management, with potential for future expansions and improvements.

Keywords: *Agriculture 4.0, Internet of Things (IoT), automated greenhouse, Raspberry Pi, Arduino, Node-RED, small-scale farming.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Protótipo do Sistema para Controle de Temperatura.....	19
Figura 2 - Sistema hidropônico montado dentro da estufa.....	20
Figura 3 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [15].....	20
Figura 4 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [16].....	21
Figura 5 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [17].....	22
Figura 6 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [18].....	23
Figura 7 - Tecnologias IoT.....	27
Figura 8 - Arquitetura da IoT.....	28
Figura 9 - A produção digital e o novo modelo de negócio agrícola.....	29
Figura 10 - Funcionamento de uma estufa.....	33
Figura 11 - Aplicação de IoT em Estufas.....	34
Figura 12 - Modelo de Estufa em Arco.....	35
Figura 13 - Modelo de Estufa em Capela.....	35
Figura 14 - Estufa Inteligente.....	36
Figura 15 - Unidades Urbanas Agrícolas.....	36
Figura 16 - Filme Leitoso para túnel.....	37
Figura 17 - Hortas Urbanas Vegepod.....	37
Figura 18 - Arduino UNO.....	39
Figura 19 - <i>Raspberry Pi 3 B+</i>	41
Figura 20 - Sensor de umidade do solo.....	42
Figura 21 - Sensor DHT22.....	43
Figura 22 - <i>Cooler 5 V</i>	43
Figura 23 - Minibomba submersível de água.....	44
Figura 24 - Módulo relé de 2 canais 5 V.....	45
Figura 25 - Edição de Fluxo Baseada no Navegador.....	46
Figura 26 - Programação em <i>JavaScript</i> no <i>Node-RED</i>	46
Figura 27 - Exemplo de um sistema no <i>Node-RED</i>	47
Figura 28 - Instalação do <i>Python</i>	52
Figura 29 - Atualização de bibliotecas.....	53
Figura 30 - Inicialização do <i>Node-RED</i>	53
Figura 31 - Código para monitoramento de umidade via Arduino.....	55

Figura 32 - Esquemático de conexão dos componentes.....	56
Figura 33 - Configuração nó <i>inject</i>	58
Figura 34 - Configuração nó <i>rpi-dht22</i>	58
Figura 35 - Nó <i>change</i>	59
Figura 36 - Fluxo para criação dos gráficos de temperatura.	59
Figura 37 - Configuração nó <i>gauge</i> para umidade do ambiente.	59
Figura 38 - Configuração nó <i>chart</i> para umidade do ambiente.....	60
Figura 39 - Fluxo para criação dos gráficos de temperatura.	60
Figura 40 - Configuração nó <i>gauge</i> para temperatura do ambiente.	61
Figura 41 - Configuração nó <i>chart</i> para temperatura do ambiente.....	61
Figura 42 - Fluxo para acionamento do <i>cooler</i>	62
Figura 43 - Nó <i>switch</i> para verificação de ultrapassagem.	62
Figura 44 - Nó <i>switch</i> para acionamento manual.	63
Figura 45 - Fluxo para tratamento dos dados do DHT22 no <i>Node-RED</i>	63
Figura 46 - Configuração nó <i>serial</i>	64
Figura 47 - Fluxo para criação dos gráficos de umidade do solo	64
Figura 48 - Configuração nó <i>gauge</i> para umidade do solo	64
Figura 49 - Configuração nó <i>chart</i> para umidade do solo.....	65
Figura 50 - Configuração nó <i>chart</i> para umidade do solo.....	66
Figura 51 - Fluxo para acionamento da bomba de água.....	66
Figura 52 – Fluxo para tratamento dos dados do sensor de umidade do solo	67
Figura 53 - <i>Hardware</i> para processamento dos dados	69
Figura 54 - Vista frontal com destaque do LED indicador de umidade.....	70
Figura 55 - Vista lateral com destaque do sensor <i>dht22</i> e do reservatório de água.....	70
Figura 56 - Vista lateral com destaque do <i>cooler</i>	71
Figura 57 - Dashboard criado no Node-RED para visualização das medições.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Algumas diferenças entre o Raspberry Pi e o Arduino.	41
Tabela 2 - Materiais utilizados.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AC/DC** - *Alternative Current/Direct Current* - Corrente Alternada/Corrente Contínua
- APIs** - *Application Programming Interface* - Interface de Programação de Aplicativos
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- GIS/SIG** - *Geographic Information System* - Sistema de Informações Geográficas
- GPS** - *Global Positioning System* - Sistema Global de Posicionamento
- HDMI** – *High Definition Multimedia Interface* - Interface Multimídia de Alta Definição
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBM** - *International Business Machines Corporation*
- IDE** - *Integrated Development Environment* - Ambiente Livre de Desenvolvimento
- IoT** - *Internet of Things* - Internet das Coisas
- IP** - *Internet Protocol* - Protocolo de Internet
- LCD** - *Liquid Crystal Display* - Display de Cristal Líquido
- LORA** - *Long Range* - Longo Alcance
- MHz** - Mega Hertz
- NFC** - *Near Field Communication* - Comunicação por campo de proximidade
- PID** - Controlador Proporcional Integral Derivativo
- POO** - Programação Orientada a Objetos
- PVC** - *Polyvinyl Chloride* - Policloreto de Vinila
- RAM** - *Random Access Memory* - Memória de Acesso Aleatório
- RF** - Rádio Frequência
- RFID** - *Radio-Frequency IDentification* - Identificação por Rádio Frequência
- SD** - *Secure Digital Card* - Cartão de Memória e Armazenamento
- SSH** - *Secure Shell* - Protocolo Seguro de Acesso Remoto
- SO** - Sistema Operacional
- TCP** - *Transmission Control Protocol* - Protocolo de Controle de Transmissão
- TIC** - Tecnologias de Informação e Comunicação
- UMTS** - *Universal Mobile Telecommunication System* - Sistema Universal de Telecomunicações Móveis
- USB** - *Universal Serial Bus* - Porta Universal
- VNC** - *Virtual Network Computing* - Computação em Rede Virtual
- WPAN** - *Wireless Personal Area Network* - Rede de Área Pessoal Sem Fio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	TEMA	15
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO	16
1.3	HIPÓTESES	17
1.4	OBJETIVOS	18
1.4.1	Objetivos Gerais	18
1.4.2	Objetivos Específicos.....	18
1.5	JUSTIFICATIVAS	19
1.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1	AGRICULTURA.....	25
2.2	AGRICULTURA 4.0.....	26
2.2.1	Internet das Coisas	26
2.2.2	Agricultura Inteligente.....	29
2.3	CLIMA X AGRICULTURA.....	30
2.3.1	Irrigação	31
2.3.2	Luminosidade.....	32
2.3.3	Temperatura	32
2.3.4	Umidade do Ar.....	32
2.3.5	Ventilação	33
2.4	ESTUFAS	33
2.4.1	Modelos de Estufa.....	34
2.4.2	Estufa para Hortas	36
2.5	SISTEMA DE CONTROLE.....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1	ARDUINO	39

3.2	<i>RASPBERRY PI</i>	40
3.3	SENSOR DE UMIDADE DO SOLO	41
3.4	SENSOR DHT22.....	42
3.5	<i>COOLER 5 V</i>	43
3.6	MINIBOMBA SUBMERSÍVEL DE ÁGUA.....	44
3.7	MÓDULO RELÉ.....	44
3.8	<i>NODE-RED</i>	45
3.9	METODOLOGIA.....	49
3.10	MATERIAIS E CUSTOS.....	50
3.11	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
4	DESENVOLVIMENTO	52
4.1	INSTALAÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL.....	52
4.2	HABILITAÇÃO DE COMUNICAÇÕES SSH E VNC	53
4.3	PREPARAÇÃO E INTEGRAÇÃO DO ARDUINO COM O <i>RASPBERRY PI</i> ... 54	54
4.4	CONEXÃO DOS MÓDULOS E SENSORES.....	55
4.5	CRIAÇÃO DOS GRÁFICOS DE TEMPERATURA E UMIDADE	57
4.6	CRIAÇÃO DO GRÁFICO DE UMIDADE DO SOLO	63
4.7	MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1	DESEMPENHO DO SISTEMA.....	68
5.2	USABILIDADE E EFICÁCIA DO NODE RED COMO INTERFACE.....	71
5.3	ESCALABILIDADE, CONFIABILIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO.....	72
6	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 representa a grande revolução industrial que estamos vivendo. Esta quarta revolução aplica a tecnologia digital em várias áreas da sociedade, tornando a indústria mais eficiente por meio da digitalização das informações, conexão de equipamentos e utilização inteligente dos dados. Alguns dos objetivos desta revolução são: a redução de falhas, o aumento da sustentabilidade e lucratividade da indústria. Esta transformação tornou-se possível por meio da reorganização da indústria e da utilização de tecnologias emergentes, dentre as quais nove se destacam: Internet das Coisas (IoT), Nuvem, *Big Data*, Simulações Avançadas, Manufatura Aditiva, Robótica Autônoma, Ciber Segurança, Realidade Aumentada e Integração de Sistemas [1].

Essa transformação na indústria tem ganhado cada vez mais força nos mais diversos setores da economia, incluindo o agronegócio. Essa revolução pela qual o trabalho rural está passando é popularmente chamada de Agricultura 4.0. Por meio da conexão e integração de novos dispositivos digitais, a Agricultura 4.0 busca otimizar todas as etapas da produção agrícola para aumentar a produtividade e melhorar a vida do homem do campo [2].

Segundo a pesquisa do Produto Interno Bruto dos Municípios de 2010-2014, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a agropecuária representa mais da metade das economias em 20,4% dos municípios brasileiros, sendo a atividade predominante na economia brasileira. Ou seja, é uma atividade econômica primordial e uma importante ferramenta para manter o *status* do país no cenário mundial da produção de alimentos [3].

No Brasil, 84,4% dos estabelecimentos rurais brasileiros são de agricultores familiares e ocupam 74,4% da mão de obra que está no campo [4]. Observando isso, Freitas [5] aponta que ocasionalmente estes agricultores produzem diversas culturas com pouca tecnologia, e que sua produção agropecuária e agrícola é de baixa produtividade, pois as suas propriedades são desprovidas de aplicações técnicas, conhecimento e tecnologias. O autor afirma ainda que os pequenos e médios produtores convivem com diversas dificuldades produtivas, como a baixa produtividade, pois ainda que tenham grande relevância para a economia brasileira eles não possuem os mesmos incentivos e facilidades, para investimento em tecnologia, que os grandes produtores têm.

O setor agrícola necessita lidar com fatores que variam, por exemplo, problemas do solo, clima e variações, métodos de colheita/plantio, imprevistos de irrigação e outros, que podem atrapalhar a produtividade.

Um dos pilares da Agricultura 4.0 é a Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), que parte do conceito no qual objetos físicos podem se comunicar, utilizando a Internet. Mediante este conceito, sensores e outros dispositivos podem se comunicar pela rede, para monitorar e interagir com o ambiente [3]. Na prática, as situações descritas anteriormente podem ser amenizadas com a ajuda da IoT, por meio da obtenção de dados altamente precisos e em tempo real, utilizando, por exemplo, um sensor que irá medir a umidade da terra, temperatura e solo, permitindo ao agricultor fazer uma irrigação mais eficiente.

Outra alternativa de cultivo na agricultura, que tem se tornado cada vez mais viável tecnologicamente, é o cultivo por meio de ambientes controlados, ou seja, utilizando ambientes onde as variáveis ambientais são controladas para obter uma melhor qualidade de produção. É muito utilizado para aumentar a produção em períodos climáticos desfavoráveis, pois sua estrutura fechada protege a plantação dos efeitos adversos causados pelas variações climáticas e permite ao usuário fazer o controle e monitoramento dos fatores que podem influenciar o crescimento das plantas. É um sistema que pode ser utilizado tanto para pequenas produções quanto para grandes [4].

A busca de tecnologias capazes de diminuir as possibilidades de erros comuns no cuidado das plantações, aumentar a produtividade, diminuir os custos com mão de obra e aumentar a eficiência e uso de recursos, fez com que a automatização de estufas se tornasse uma tendência, inclusive para uso doméstico. Por meio desta tecnologia é possível realizar o controle remoto dos processos, diminuindo a intervenção manual e presencial, reduzindo as chances de erros primários e tornando o uso desse sistema algo mais efetivo.

A estufa automatizada possui um conjunto de sensores que geram dados que precisam ser monitorados e possuem um conjunto de atuadores que precisam ser acionados a partir de uma decisão realizada com esses dados. Isso leva a necessidade de sistemas de gerenciamento que melhorem e/ou facilitem a supervisão e aquisição destes dados.

Estes sistemas podem funcionar como uma central que fica conectada aos sensores e é responsável pela comunicação com o servidor. Esse sistema pode ser acessado remotamente pelo usuário, para monitorar as condições da estufa, por exemplo.

1.1 TEMA

O presente trabalho aborda o estudo e desenvolvimento de um sistema para monitoramento e controle automatizado de estufas de pequeno porte, permitindo a automação dos processos e a visualização remota dos dados coletados.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

A *Strider*, empresa do grupo Syngenta, considerada pela revista Forbes uma das *agrotechs* mais inovadoras do mundo e uma das principais investidoras na Agricultura 4.0, publicou um artigo afirmando que estufas automatizadas, fazendas *indoors* e fazendas tecnológicas futurísticas há muito tempo são vistas como o futuro da agricultura [6]. De maneira similar, em 2017, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) noticiou uma parceria entre o Brasil e a Coreia do Sul para o desenvolvimento da horticultura protegida em ambos os países, com o auxílio de *software* [7]. Esses e outros avanços no setor da Agricultura 4.0 demonstram uma crescente quantidade de projetos e pesquisas focados na produção em ambientes protegidos e na automatização desses processos [8] [9].

Entretanto, em mercados que enfrentam consolidação e mudanças tecnológicas que favorecem a escalabilidade, é previsível que pequenos produtores possam ser excluídos em um futuro próximo [10]. Embora existam diversas tecnologias inovadoras disponíveis, e estufas automatizadas não sejam uma novidade, o acesso a essas soluções ainda é limitado, especialmente para pequenos e médios produtores, devido ao elevado custo. Esse fator impede a adoção dessas tecnologias por grande parte dos agricultores, particularmente em regiões onde predomina a Agricultura Familiar.

No entanto, a crescente popularidade de componentes eletrônicos acessíveis e de automações de baixo custo tem contribuído para a redução do preço do *hardware* envolvido nessas soluções. Apesar disso, o custo associado ao desenvolvimento de *software* de alto nível, essencial para a gestão desses sistemas, permanece elevado. Outro fator importante na adoção de estufas automatizadas é a sua aplicação na produção de alimentos orgânicos. A Agricultura Orgânica apresenta uma oportunidade significativa para pequenos produtores, que atualmente são responsáveis por 70% da produção orgânica no Brasil [11]. Porém, a transição do modelo convencional para o orgânico é desafiadora, exigindo atenção a uma série de aspectos técnicos e operacionais, além de superar barreiras econômicas, sociais e culturais estabelecidas pelos modelos tradicionais de agricultura.

Além disso, pequenos produtores de orgânicos enfrentam desafios relacionados à proximidade com propriedades que utilizam práticas convencionais, como o uso de agrotóxicos. Esses produtores precisam adotar medidas preventivas para evitar a contaminação de suas terras, seja por meio do solo, da água ou do ar. O uso incorreto de herbicidas e inseticidas ou a dispersão aérea desses produtos em áreas vizinhas são alguns exemplos de como essa contaminação pode ocorrer. Para obter a certificação orgânica, os produtores devem submeter

um plano de produção detalhado à certificadora, além de manter registros precisos sobre a origem dos insumos, sua aplicação e o volume produzido [12].

Nesse contexto, a digitalização e o gerenciamento eletrônico das informações são ferramentas valiosas, pois proporcionam maior eficiência no controle documental e agilidade na tomada de decisões [13]. Quando integrados a dados coletados diretamente da produção, esses sistemas podem auxiliar no planejamento e controle da produção, otimizando processos como pesquisa, classificação e armazenamento. O agricultor orgânico também deve planejar cuidadosamente sua produção, pois a ausência de produtos químicos pode dificultar a estimativa de produtividade e complicar o planejamento.

Uma solução para facilitar o acesso de pequenos produtores ao mercado de orgânicos é o uso de tecnologia. Este trabalho propõe investigar a viabilidade técnica de um protótipo de estufa inteligente, de baixo custo e tamanho reduzido, que possa ser gerenciada remotamente e atender às necessidades de pequenos agricultores com recursos limitados, com potencial de aplicação em estufas de porte convencional.

Autores como Santos, Júnior e Neves [14], Junior [15], Loureiro, Brito e Favarim [16], Fernandes, Preuss e Silva [17], e Santos [18] têm abordado a automatização de estufas e o desenvolvimento de sistemas de gerenciamento que utilizam sensores e controladores para manipular variáveis como temperatura e umidade. Contudo, há pouca discussão sobre o gerenciamento dos dados coletados ou sobre a utilização desses sistemas para melhorar a tomada de decisões, como o preenchimento automático de relatórios, o compartilhamento de dados com outros produtores ou até a disponibilização dessas informações para os consumidores. Embora essas atividades possam parecer simples, elas frequentemente se tornam complexas e burocráticas para produtores com baixo nível de instrução.

A produção em ambientes controlados pode solucionar parte desses problemas, mas quando há necessidade de realizar cálculos, gerar gráficos, analisar dados ou compartilhar informações, é fundamental utilizar uma plataforma capaz de executar softwares complexos e que proporcione uma interação facilitada com o usuário, sempre levando em consideração o custo da solução.

1.3 HIPÓTESES

Neste trabalho, levantou-se a hipótese de que é viável desenvolver um sistema de baixo custo voltado para estufas de pequenos agricultores, capaz de fornecer informações mais precisas e possibilitar a tomada de decisões de produção de forma mais ágil e com menores

riscos. A proposta visa tornar o processo produtivo mais eficiente e acessível, contribuindo para a competitividade desses produtores no mercado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos Gerais

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar um sistema para estufas capaz de coletar dados de sensores e realizar ações automatizadas em uma estufa de pequeno porte, otimizando o controle ambiental e facilitando o manejo de forma eficiente e acessível para pequenos agricultores.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos identificam aspectos relevantes para o desenvolvimento do projeto, pautando-se em:

- **Objetivo Específico 1:** *Desenvolver o protótipo do hardware de aquisição de dados da estufa*

Desenvolvimento de um protótipo de *hardware* para a aquisição de dados em uma estufa voltada para a produção de hortaliças, utilizando um *Raspberry Pi 3* como base, juntamente com a adição de diversos sensores para monitoramento e coleta de informações ambientais essenciais.

- **Objetivo Específico 2:** *Implementar um sistema de gerenciamento*

Implementação de um *software* para receber e processar os dados coletados pelos sensores, exibindo-os ao usuário através de uma interface gráfica em tempo real, com o auxílio de gráficos interativos e outros recursos visuais. O sistema também realizará ações de controle automatizadas, baseadas em variáveis previamente estabelecidas, permitindo ajustes dinâmicos no ambiente da estufa.

- **Objetivo Específico 3:** *Validar o sistema em uma estufa real.*

Instalação do *hardware* e do sistema de gerenciamento em uma estufa real para a realização de testes práticos e validação dos dados coletados, garantindo a eficácia e funcionalidade do sistema desenvolvido.

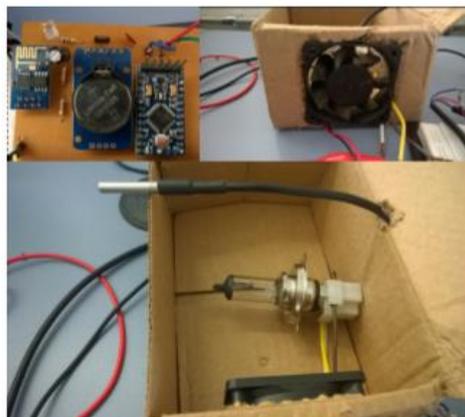
1.5 JUSTIFICATIVAS

O desenvolvimento de estufas e seus sistemas de gerenciamento não é um tema inédito, sendo abordado por diversos pesquisadores com o uso de diferentes *hardwares*, sistemas de comunicação e operacionais. Em um estudo realizado por [14], foi desenvolvido um protótipo de controle de temperatura para estufas, utilizando uma aplicação móvel. O objetivo foi simplificar a execução do projeto e reduzir a necessidade de um *hardware* robusto e caro. Para isso, técnicas de controle PID (Proporcional Integral Derivativo) e *Split Range* foram implementadas na plataforma Arduino Pro Mini, com o intuito de construir um sistema de baixo custo.

No protótipo, uma plataforma móvel foi usada para a integração de dados entre um dispositivo móvel, o controlador de *hardware* e um servidor *WebSocket*. O protocolo *WebSocket*, baseado no TCP (Protocolo de Controle de Transmissão), foi empregado para estabelecer a comunicação entre os dispositivos do sistema. O *Raspberry Pi* foi escolhido como o servidor do aplicativo por ser uma solução econômica e por permitir a instalação de um sistema operacional Linux, que oferece suporte à Programação Orientada a Objetos (POO) sem a necessidade de instalar *kits* de desenvolvimento adicionais [14].

Os resultados demonstraram que tanto o controle PID básico quanto o *Split Range* foram eficazes no controle de temperatura. O controle *Split Range*, em particular, apresentou uma estabilização mais rápida da resposta do sistema. A comunicação sem fio foi um dos destaques do protótipo, evitando interferências típicas de transmissões via cabo e permitindo flexibilidade na mudança de localização do sistema. No entanto, concluiu-se que o protótipo ainda necessita de melhorias, tanto no *hardware* quanto na sintonia do PID, para garantir maior precisão no controle de temperatura [14] (Figura 1).

Figura 1 - Protótipo do Sistema para Controle de Temperatura.



Fonte: [14]

No estudo de Junior [15], foi proposto o desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento para uma estufa de pequeno porte (Figura 2), projetado especificamente para o cultivo de hortaliças em espaços reduzidos. O sistema foi implementado utilizando a plataforma Arduino para integrar sensores de temperatura, umidade e luminosidade, permitindo o controle das variáveis essenciais para o crescimento e a produção dessas plantas (Figura 3). Além disso, um display LCD foi utilizado para apresentar os dados obtidos em tempo real, enquanto esses mesmos dados eram enviados pela Internet para a plataforma *ThingSpeak*, permitindo que o usuário os acessasse remotamente.

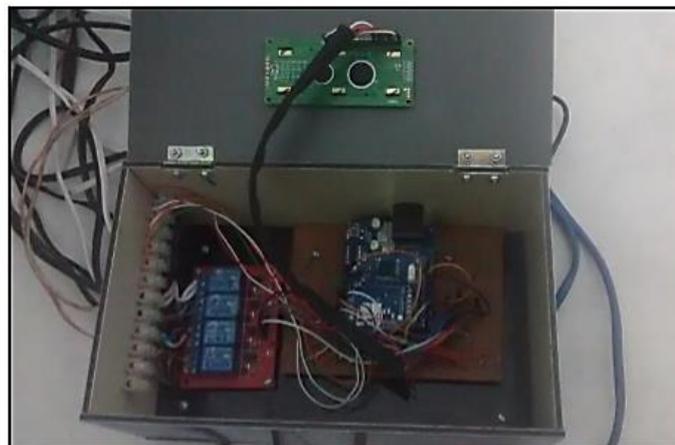
O custo total do projeto foi estimado em R\$601,75, sendo que a maior parte desse valor foi destinada à construção da estufa em acrílico. Este projeto destacou-se pela simplicidade e acessibilidade, oferecendo uma solução eficiente para pequenos agricultores que desejam monitorar suas estufas sem a necessidade de investimentos em tecnologias complexas e de alto custo.

Figura 2 - Sistema hidropônico montado dentro da estufa.



Fonte: [15]

Figura 3 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [15].



Fonte: [15]

Os resultados obtidos demonstraram que a plataforma Arduino facilita a integração de diferentes dispositivos, permitindo concluir que o projeto pode ser adaptado e expandido proporcionalmente para aplicação em locais de maior escala de produção. Além dessas conclusões, observa-se que o projeto requer uma série de otimizações para viabilizar sua ampliação e aprimorar as funcionalidades da estufa. Entre as melhorias sugeridas, destaca-se a implementação de um módulo Wi-Fi para o envio dos dados coletados, com o objetivo de reduzir a quantidade de cabos utilizados no projeto. Também se propõe a criação de um *software* integrado capaz de substituir os valores genéricos definidos inicialmente por parâmetros específicos de cultivo para cada tipo de hortaliça que possa ser cultivada na estufa [15].

Por outro lado, o estudo realizado por Loureiro, Brito e Favarim [16] abordou o desenvolvimento de um protótipo de estufa automatizada, utilizando um *Raspberry Pi* conectado à Internet para o controle da estufa (Figura 4), em conjunto com o Arduino para a gestão dos sensores e atuadores. O armazenamento dos dados coletados é realizado em um banco de dados MySQL hospedado no *Raspberry Pi*. O projeto demandou um investimento reduzido para adicionar recursos inteligentes à estufa, permitindo acesso remoto a dados e comandos, funcionalidades frequentemente ausentes em estufas tradicionais.

Uma aplicação em Java foi desenvolvida para o *Raspberry Pi*, servindo como intermediária entre os comandos enviados pelo usuário por meio de um aplicativo para celular, *desktop* ou página *web* e a leitura/acionamento dos componentes conectados ao Arduino. Esta aplicação também é responsável pela persistência dos dados no banco de dados MySQL [16].

Figura 4 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [16].



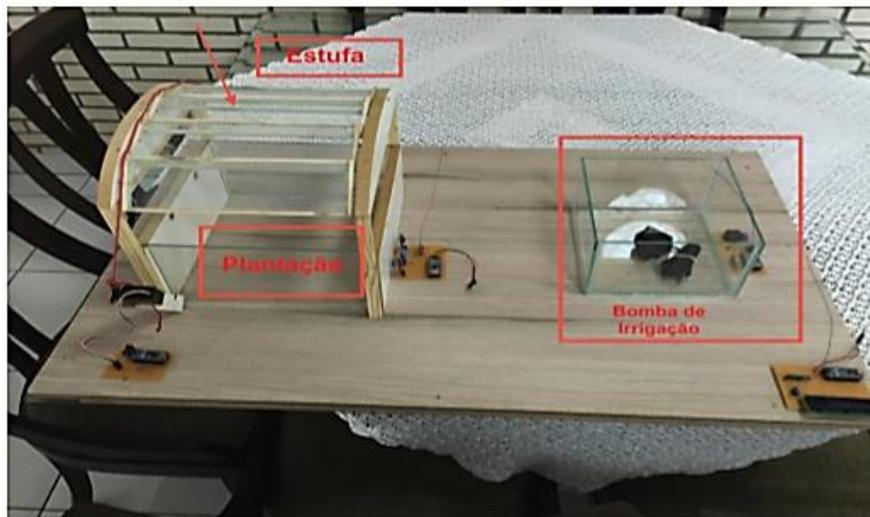
Fonte: [16]

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, demonstrando que os dados mensurados pelo protótipo apresentaram uma variação inferior a 5% quando comparados com

os dados coletados pelos aferidores disponíveis no laboratório do curso de Engenharia da Computação da UTFPR. Além disso, o projeto destacou-se pelo baixo custo, já que os componentes utilizados são acessíveis e de baixo preço [16].

No estudo de Fernandes, Preuss e Silva [17], foi implementado um protótipo automatizado para o controle de variáveis de uma estufa voltada ao cultivo de hortaliças, utilizando as plataformas Arduino e Android, com armazenamento dos dados de controle em um banco de dados MySQL (Figura 5). Durante o desenvolvimento, foram criados dois *softwares*: um para o controlador Arduino e outro para uma aplicação mobile, desenvolvido em Java para o sistema Android. Os autores identificaram como principais desafios a integração das plataformas e a modelagem do banco de dados. Apesar dessas dificuldades, os resultados demonstraram que o sistema atingiu os objetivos propostos e que, devido à sua simplicidade e baixo custo, pode ser adaptado para outros contextos.

Figura 5 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [17].



Fonte: [17]

Por fim, no trabalho de Santos [18], foi desenvolvido um protótipo de um sistema de irrigação automatizado voltado para o cultivo de morangos (Figura 6), com foco em um custo acessível e nas necessidades de pequenos produtores. Para mitigar os problemas causados pelas variações climáticas, optou-se pelo cultivo protegido.

Posteriormente, foi elaborado um protótipo em pequena escala que simulava uma plantação. Na comunicação do projeto, foi utilizada a tecnologia de rádio frequência, que oferece um alcance maior. Para o controle dos sensores de temperatura, umidade do solo e luminosidade, foi empregado um microcontrolador Arduino, além do desenvolvimento de um *software* em linguagem C para viabilizar esse controle [18].

O sistema proposto foi submetido a diversos testes, nos quais foi possível verificar a eficácia do controle do Arduino nos sensores, assim como a leitura dos dados coletados sob diferentes condições e a comunicação via rádio frequência [18]. A partir das informações captadas pelos sensores, o sistema fornecia dados sobre a temperatura e a umidade presentes na plantação, permitindo ao agricultor monitorar constantemente o estado do cultivo.

Os resultados obtidos pela autora indicaram que o sistema, além de ser acessível, apresenta facilidade de manejo e realiza todas as funções necessárias para garantir a irrigação adequada do cultivo. Destaca-se ainda que essas informações são cruciais para o pequeno agricultor, uma vez que o sistema de monitoramento elimina a necessidade de deslocamento até a plantação para avaliar a necessidade de irrigação [18].

Figura 6 - Protótipo de Estufa Automatizada desenvolvida por [18]



Fonte: [18]

Esses estudos ressaltam a importância do tema e a contínua busca por soluções tecnológicas, com ênfase no baixo custo, no aumento da produção e na fácil acessibilidade das informações sobre a produção para os agricultores.

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações fundamentais que embasam o trabalho, incluindo a contextualização do tema, a definição da problematização, os objetivos a serem alcançados e a justificativa para a realização da pesquisa. Nas seções subsequentes, serão discutidos o referencial teórico que fundamenta o estudo, os materiais necessários para o desenvolvimento do projeto, a metodologia empregada, o processo de desenvolvimento, os resultados obtidos e as discussões a respeito desses resultados, culminando na conclusão da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, são abordados os principais conceitos que sustentam o trabalho, abrangendo desde os fundamentos da agricultura e das tecnologias aplicadas a esse campo até os conceitos específicos relacionados às estufas e sua prototipação, incluindo uma análise dos principais componentes envolvidos.

2.1 AGRICULTURA

A palavra "agricultura" tem origem no latim *agricultūra* e se refere ao cultivo do solo, englobando um conjunto de técnicas para a produção de produtos agrícolas [19]. Ao longo da história, a agricultura permitiu à humanidade cultivar alimentos em maior escala, promovendo uma vida mais confortável. Entretanto, o desenvolvimento agrícola sempre esteve ligado a fatores naturais, como clima, qualidade do solo e disponibilidade de água, que influenciam diretamente a qualidade e a quantidade das colheitas [20].

O ser humano tem se esforçado para contornar esses desafios naturais por meio da adoção de técnicas e ferramentas específicas que otimizam a produção. No Brasil, a agricultura é uma base econômica fundamental, e a evolução do setor fez com que o país deixasse de ser um importador para se tornar um importante fornecedor global de alimentos. Esse avanço é resultado de fatores como a riqueza de recursos naturais, extensas áreas cultiváveis e a abundância de água, além de inovações tecnológicas e científicas [21].

A agricultura familiar, definida pela Lei nº 11.326 de 2006, é uma prática comum no Brasil, caracterizada pela produção em pequenas propriedades, onde a renda é obtida predominantemente das atividades do estabelecimento, cuja gestão deve ser realizada pela família [22]. Essa forma de agricultura é marcada pela diversificação de culturas e pela dependência mínima de insumos externos. Desde a década de 1990, a agricultura familiar se consolidou como uma alternativa viável para pequenos produtores e assentados, focando na produção para o consumo familiar e como fonte de renda. Atualmente, mais de 84% das propriedades rurais brasileiras são classificadas como agricultura familiar, com maior concentração na região Nordeste. Essa prática promove métodos de produção sustentáveis, incluindo a produção de alimentos orgânicos, alinhando-se à responsabilidade socioambiental [23].

Esses elementos demonstram a relevância da agricultura familiar para a sustentabilidade e a saúde ambiental, promovendo uma produção agrícola que respeita as condições locais e busca uma relação equilibrada com o meio ambiente.

2.2 AGRICULTURA 4.0

A Agricultura 4.0, um termo derivado da Indústria 4.0 que remete à digitalização dos processos produtivos, refere-se a um conjunto de tecnologias digitais de ponta que estão integradas e conectadas por meio de *softwares*, sistemas e equipamentos, com o objetivo de otimizar a produção agrícola em todas as suas etapas [2]. Essas tecnologias estão alinhadas aos nove pilares tecnológicos da Indústria 4.0.

A Agricultura 4.0 abrange quatro aspectos principais: gestão baseada em dados, produção por meio de novas ferramentas e técnicas, sustentabilidade e profissionalização. Essa abordagem permite que as operações e decisões sejam orientadas com base em dados provenientes de variáveis como clima, características do solo e condições da lavoura [2].

Além disso, a conexão e integração dos diversos dispositivos possibilitam a automação dos processos agrícolas, um conceito intimamente relacionado à Internet das Coisas (IoT).

2.2.1 Internet das Coisas

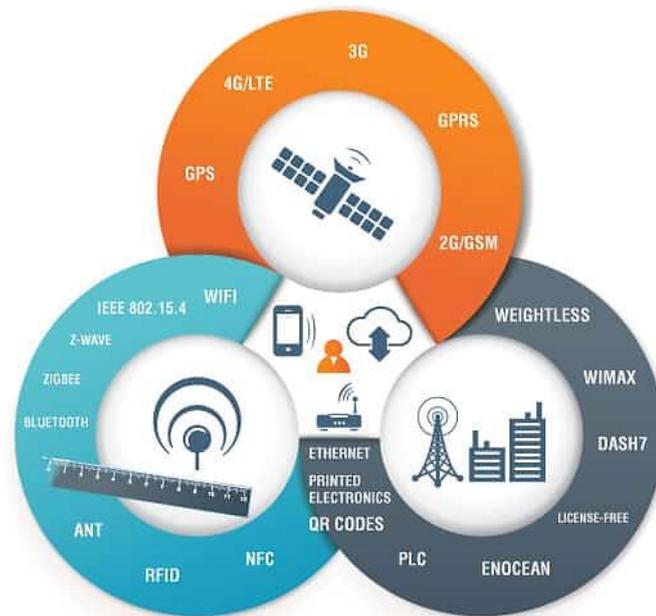
A Internet das Coisas (IoT) é um conceito desenvolvido por Kevin Ashton, que propôs um sistema de sensores onipresentes interligando o mundo físico à Internet durante seu trabalho com RFID (Identificação por Rádio Frequência) [24]. A IoT pode ser entendida como a ampliação dos serviços existentes na Internet, abrangendo todos os objetos que existem ou possam vir a existir no futuro [25]. Isso inclui uma ampla gama de dispositivos, desde telefones celulares, cafeteiras e máquinas de lavar até fones de ouvido e lâmpadas. O conceito também se aplica a componentes de máquinas, como motores a jato de aeronaves ou brocas de plataformas de petróleo [26].

O termo "Internet das Coisas" pode ser dividido em duas partes: de um lado, a "Internet", que é uma vasta rede global conectando computadores conforme protocolos como TCP/IP (Protocolo de Internet/Protocolo de Controle de Transmissão); do outro lado, as "coisas", que representam objetos do mundo real capazes de gerar dados e que estão conectados à internet para a troca de informações [27].

Diversas tecnologias contextualizam a Internet das Coisas (IoT), abrangendo desde a captação de dados por meio de sensores até a disponibilização de informações por meio de serviços inteligentes que atendem às necessidades dos usuários. Entre as tecnologias de comunicação, conforme indicado na Figura 7, destacam-se as seguintes:

- **RFID:** Este é um método de identificação automática que utiliza sinais de rádio. Por meio de etiquetas RFID, é possível recuperar e armazenar dados remotamente. Esse sistema emprega um transponder ou uma etiqueta de rádio frequência (RF) nos produtos, funcionando como uma alternativa aos códigos de barras. Dessa forma, permite a identificação do produto a uma certa distância do scanner, mesmo que não esteja em alinhamento direto [28].

Figura 7 - Tecnologias IoT.



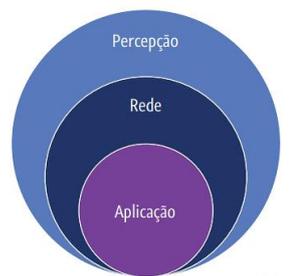
Fonte: [29]

- **Wi-Fi:** É uma marca registrada da *Wi-Fi Alliance* que utiliza o padrão IEEE 802.11 para permitir a conexão de dispositivos à Internet por meio de ondas de rádio. Desenvolvido como uma alternativa ao cabeamento *Ethernet*, o Wi-Fi oferece um amplo alcance de conexão e alta capacidade de transmissão de dados, sendo particularmente adequado para a navegação na Internet em dispositivos móveis [27].
- **Bluetooth:** Este é um padrão global de comunicação sem fio que opera com baixo consumo de energia, permitindo a transmissão de dados entre dispositivos que estão próximos uns dos outros. A tecnologia combina *hardware* e *software* para facilitar a comunicação entre uma variedade de aparelhos. A transmissão de dados é realizada por meio de radiofrequência, possibilitando que um dispositivo detecte outro independentemente de sua posição, desde que ambos estejam dentro do limite de proximidade [30].

- **NFC (*Near Field Communication*):** O NFC é uma tecnologia de comunicação sem fio que exige que os dispositivos estejam em contato físico ou muito próximos. Um dos dispositivos pode operar de forma passiva, sem a necessidade de pilhas ou qualquer outra fonte de eletricidade [31].
- **LoRa (*Long Range*):** Esta tecnologia de comunicação sem fio é projetada para permitir comunicações de longa distância, variando de 3 a 4 km em áreas urbanas e até 15 km em áreas rurais, ao mesmo tempo em que consome pouca energia [32].
- **Zigbee:** Zigbee é um protocolo de rede sem fio classificado como WPAN (Redes Pessoais Sem Fio). Ele foi desenvolvido para permitir comunicações sem fio confiáveis, utilizando baixo consumo de energia. É frequentemente utilizado no controle de redes de sensores, dispositivos de monitoramento remoto e em aplicações de localização, além de periféricos de computadores, entre outros [33].

De maneira geral, a arquitetura da Internet das Coisas (IoT) pode ser definida em três camadas, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Arquitetura da IoT.



Fonte: [27]

A camada de percepção é responsável por capturar as grandezas físicas do ambiente e convertê-las em um formato digital, adequado para transporte pela camada de rede. Nesta camada, encontram-se dispositivos como *tags* RFID, códigos de barras, câmeras digitais, sistemas de GPS (Sistema Global de Posicionamento), terminais, sensores e redes de sensores, entre outros [34].

A camada de rede tem a função de transmitir as informações capturadas pela camada de percepção para o sistema de processamento de informações da IoT. O meio de transmissão pode ser com ou sem fio, utilizando tecnologias como 3G, UMTS (Sistema Universal de Telecomunicações Móveis), Wi-Fi, *Bluetooth*, infravermelho, ZigBee, entre outras, dependendo dos dispositivos de sensoriamento envolvidos [34].

Por fim, a camada de aplicação abriga uma vasta gama de aplicações destinadas a diversos propósitos. É nesta camada que ocorrem o processamento e a análise dos dados provenientes

dos objetos inteligentes, com o intuito de extrair informações relevantes que auxiliem na tomada de decisões pelo usuário. Essa camada atende a diversos mercados, como *smart home* (casa inteligente), *smart city* (cidade inteligente) e *smart farm* (fazenda inteligente) [27] [34]

2.2.2 Agricultura Inteligente

A Agricultura Inteligente, conforme ilustrado na Figura 9, é uma abordagem que utiliza a Internet das Coisas (IoT) e as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na agricultura, visando promover o cultivo de alimentos de maneira limpa e sustentável.

As aplicações da agricultura inteligente não se restringem apenas às operações agrícolas convencionais; elas também podem servir como alavancas para impulsionar outras tendências emergentes na agricultura, como a Agricultura Familiar e a Agricultura Orgânica [35].

Figura 9 - A produção digital e o novo modelo de negócio agrícola.



Fonte: [36]

Os resultados obtidos no campo estão intrinsecamente relacionados a fatores climáticos, o que favorece o desenvolvimento de diversas aplicações de Internet das Coisas (IoT) na agricultura. Atualmente, uma variedade de equipamentos, pesquisas e sistemas estão disponíveis para orientar o gestor rural em suas decisões e otimizar as operações na lavoura. Exemplos dessas aplicações incluem:

- **Análise do Clima:** A Embrapa desenvolveu um sistema denominado Agritempo, que fornece dados meteorológicos para o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc). Este sistema tem contribuído significativamente para a mitigação das perdas de produção decorrentes de fenômenos climáticos [2].

- **Drones Agrícolas:** Utilizados para mapeamento, detecção de problemas nas plantações e identificação de deficiências na irrigação [2].
- **GPS em Máquinas:** Integrado para automatizar o direcionamento de máquinas agrícolas, delimitar áreas da propriedade para tratamento de infecções e avaliar as condições do solo, entre outras aplicações [2].
- **Sensores:** Empregados na coleta de dados relacionados à temperatura, umidade relativa do ar, condições de irrigação e salinidade do solo, entre outros [2].
- **SIG ou GIS (Sistemas de Informação Geográfica):** *Softwares* que coletam informações geográficas para integrar os dados levantados em campo, ajudando o produtor a visualizar onde estão concentradas determinadas pragas e plantas daninhas, bem como identificar quais partes da lavoura são mais produtivas [2].
- **Estufas Inteligentes:** Projetadas para monitorar a produção de maneira inteligente e controlar o clima, eliminando a necessidade de intervenção manual. Esses sistemas utilizam diversos sensores que medem os parâmetros ambientais de acordo com as necessidades das plantas, podendo ser interligados a um servidor que permite acesso remoto ao sistema [35].

O principal objetivo da Agricultura 4.0 é proporcionar ao produtor rural acesso a dados e ferramentas que facilitem o planejamento, a execução e o monitoramento das etapas de produção. No entanto, os benefícios oferecidos por essas tecnologias vão além do simples aumento da produtividade. Entre eles, destacam-se:

- **Monitoramento das Operações Agrícolas:** As aplicações da Agricultura 4.0 tornam a prática agrícola mais controlada e precisa, permitindo que o produtor rural acompanhe todo o processo produtivo em tempo real, mesmo à distância de sua propriedade [2].
- **Redução de Desperdícios:** O uso de *softwares* acoplados às máquinas possibilita a coleta de informações valiosas, ajudando a evitar a sobreposição de insumos e defensivos, assim como o replantio desnecessário de sementes [2].
- **Redução de Custos:** A diminuição dos custos de produção é um reflexo da redução de desperdícios. Sistemas mais precisos evitam o uso excessivo de insumos, elevando a eficiência operacional [2].

2.3 CLIMA X AGRICULTURA

A agricultura é uma atividade fortemente influenciada por fatores climáticos, tornando-a vulnerável às mudanças climáticas. Essas alterações podem impactar a produção agrícola de diversas maneiras, incluindo variações na temperatura, alterações nos padrões de precipitação,

aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como secas e enchentes, além da incidência de pragas e doenças. Esses fatores podem resultar em colheitas reduzidas, comprometendo a segurança alimentar e a sustentabilidade econômica dos produtores.

2.3.1 Irrigação

A sobrevivência das plantas está intrinsecamente ligada à disponibilidade de água, um elemento essencial para o processo de fotossíntese e, por conseguinte, para seu crescimento e desenvolvimento. Em geral, os sistemas de irrigação podem ser classificados como manuais ou automáticos. O sistema manual requer um esforço constante do usuário para garantir seu funcionamento eficaz, enquanto a automação do processo de irrigação oferece um controle mais rigoroso e uma utilização mais eficiente da água no cultivo.

Existem diferentes tipos de irrigação que podem ser aplicados em ambientes protegidos, cada um com suas vantagens e desvantagens. Entre as opções disponíveis, destacam-se:

- **Irrigação por sub-irrigação:** Nesse sistema, as bancadas ou o próprio solo onde os recipientes das plantas estão dispostos são inundados com água, mantendo as folhas secas e contribuindo para uma menor incidência de doenças. Contudo, essa abordagem pode resultar em custos elevados [15].
- **Irrigação por aspersão:** Este método libera água em formato circular ou semicircular ao redor da planta, mas apresenta um elevado desperdício de água. Uma alternativa a essa técnica é a irrigação por nebulização, que fornece água na forma de névoa, causando menos danos às plantas e promovendo uma melhor distribuição da umidade [9].
- **Irrigação hidropônica:** Nesta modalidade, as plantas são cultivadas com raízes suspensas, recebendo periodicamente uma solução nutritiva composta por água e nutrientes. Essa técnica oferece diversas vantagens na produção de hortaliças em comparação ao cultivo em solo, incluindo a redução do volume de água necessário, a diminuição da área de produção em até dez vezes e um uso reduzido de defensivos agrícolas, como agrotóxicos. Além disso, as hortaliças cultivadas por esse método tendem a ter maior durabilidade, qualidade e produtividade [37].

2.3.2 Luminosidade

A luz é um elemento crucial para a sobrevivência das plantas, uma vez que, por meio do fenômeno da fotossíntese, elas convertem moléculas de água e dióxido de carbono em energia química, liberando oxigênio como subproduto e, assim, renovando e purificando o ar. As moléculas geradas nesse processo são posteriormente utilizadas pelas plantas durante a respiração [38].

No contexto agrícola, a luminosidade refere-se à quantidade de luz que incide sobre as plantas, sendo um fator determinante não apenas para a sua sobrevivência, mas também para seu desenvolvimento. Tanto a insuficiência quanto o excesso de luz podem causar efeitos adversos no crescimento das plantas, impactando sua saúde e produtividade [15].

2.3.3 Temperatura

A variação da temperatura exerce um impacto significativo no desenvolvimento das espécies vegetais, uma vez que interfere em processos fundamentais, como transpiração, respiração, fotossíntese, germinação, crescimento, floração e frutificação [39]. Cada espécie vegetal possui uma faixa de temperatura ideal, necessária para a otimização de seu ciclo de desenvolvimento.

Para manter as condições favoráveis, o controle de parâmetros como ventilação e umidificação pode ser uma estratégia eficaz para regular a temperatura do ambiente dentro da estufa. Essa abordagem contribui para criar um microclima adequado, essencial para o crescimento saudável das plantas.

2.3.4 Umidade do Ar

A umidade relativa do ar, expressa em percentual (%), varia em função da temperatura e indica a quantidade de vapor de água presente na atmosfera em relação à quantidade máxima que poderia existir sob as mesmas condições de temperatura, conhecida como ponto de saturação [40].

Um ambiente com umidade controlada é crucial para o cultivo de hortaliças, pois tanto a falta quanto o excesso de umidade podem comprometer sua sobrevivência. Em condições de baixa umidade relativa, as hortaliças podem sofrer desidratação, manifestando sinais como folhas secas e murchas. Por outro lado, um nível elevado de umidade pode favorecer o surgimento de doenças, impactando negativamente a saúde das plantas [41].

2.3.5 Ventilação

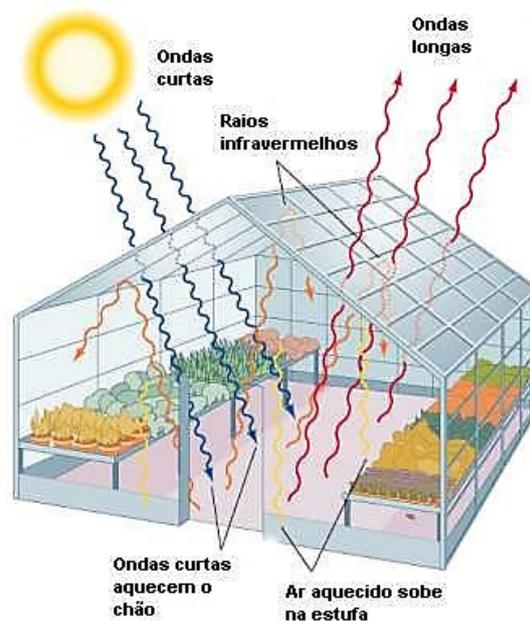
A ventilação pode ser definida como a troca de ar entre o ambiente externo e o interno da estufa, sendo fundamental para a remoção do excesso de calor acumulado no interior. A circulação e renovação do ar interno são essenciais para prevenir o surgimento e a proliferação de pragas, além de auxiliar no controle da umidade relativa dentro da estufa.

Existem dois tipos principais de ventilação: a natural e a mecânica. A ventilação natural é realizada por meio de aberturas laterais ou superiores na estrutura da estufa, permitindo a troca gasosa de forma passiva. Por outro lado, a ventilação mecânica utiliza ventiladores para promover a renovação do ar, garantindo uma troca gasosa mais eficiente [42].

2.4 ESTUFAS

Uma estufa é definida como uma estrutura projetada para captar e reter o calor solar em seu interior. Na construção de estufas destinadas ao cultivo de plantas, empregam-se materiais transparentes que permitem a passagem da radiação solar. Esse processo é essencial para o aquecimento do solo, que, ao receber a radiação, emite radiação infravermelha. Essa radiação é responsável por aquecer o ar nas camadas inferiores da estufa, provocando a ascensão das massas de ar quente e a descida das massas de ar frio. Esse fenômeno resulta na formação de correntes de convecção, que transportam o ar aquecido para as partes superiores da estufa [43], conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Funcionamento de uma estufa.

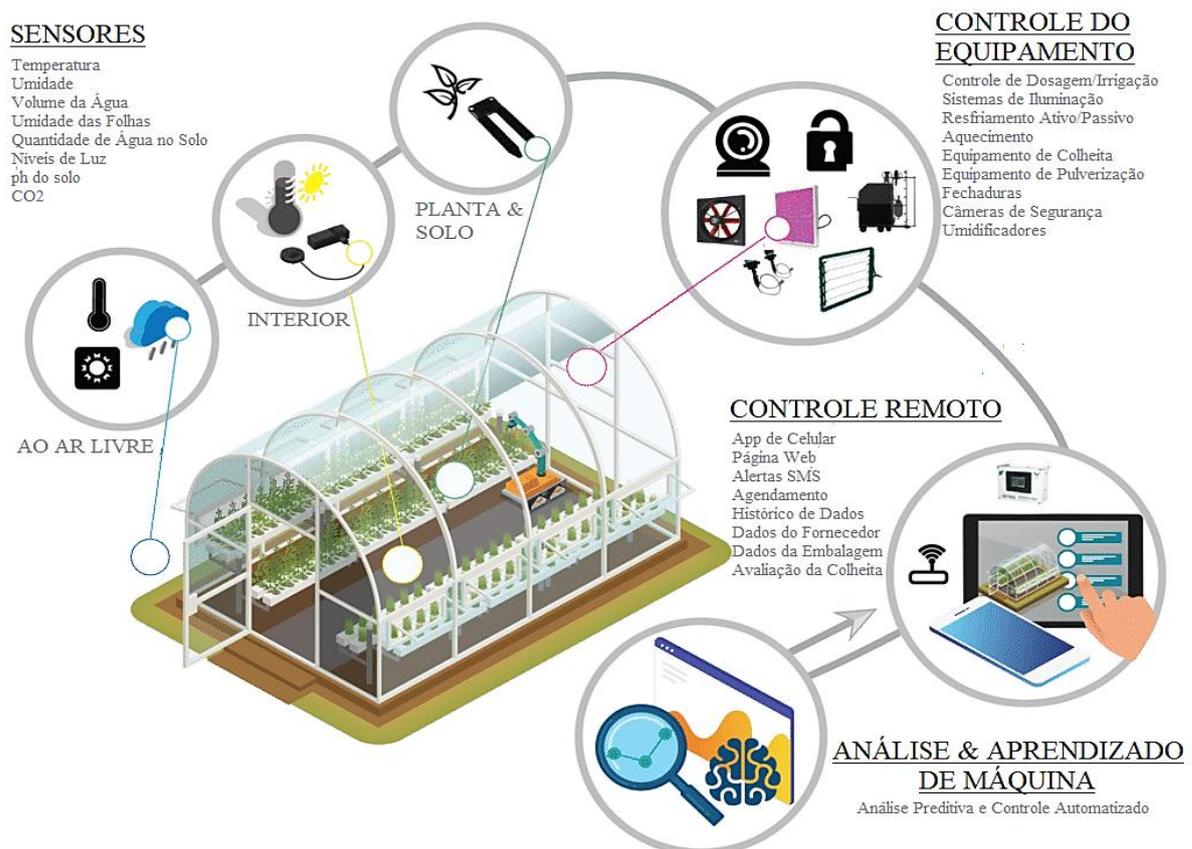


Fonte: [44]

As estufas são comumente utilizadas para o cultivo de plantas, árvores e outros vegetais, não apenas para controlar a temperatura, mas também para proteger as plantas de ameaças externas [43]. A automatização das estufas é uma das aplicações da Agricultura Inteligente, definindo-se como um processo que utiliza tecnologias para reduzir a necessidade de intervenções manuais e controlar o ambiente interno da estufa. Isso é feito através de sensores, controladores de temperatura, termostatos, fertirrigação e outras inovações [17].

Tanto grandes produções quanto pequenas hortas requerem tecnologias adequadas que atendam às especificidades da produção, levando em conta o tamanho e o tipo de estufa utilizada [45]. Portanto, não existe um modelo universal de estufa automatizada; a escolha do sistema deve ser adaptada a cada situação específica. A Figura 11 ilustra o funcionamento de um sistema automatizado que aplica IoT.

Figura 11 - Aplicação de IoT em Estufas.



Fonte: Adaptado de [46]

2.4.1 Modelos de Estufa

Atualmente, existem diversos modelos de estufas em uso, sendo os mais comuns e recomendados para a horticultura orgânica os modelos em arco, capela e geminada.

O **modelo em arco** (Figura 12) é caracterizado por arcos de diâmetro e altura variáveis, geralmente fixados em suportes que podem ser feitos de diferentes materiais, como troncos de eucalipto, madeira aparelhada, vigas de metal ou postes de concreto. Esse *design* proporciona uma boa circulação de ar e exposição à luz.

O **modelo capela** (Figura 13), por sua vez, possui um telhado em duas águas. Este modelo pode ser construído totalmente em metal, madeira aparelhada ou eucalipto. A estrutura de telhado em duas águas facilita o escoamento da água da chuva e oferece boa ventilação.

Ambos os modelos oferecem boas condições de manejo. As principais diferenças entre eles estão relacionadas ao custo e à durabilidade do filme de cobertura. O modelo capela, feito de madeira, é mais econômico, mas a vida útil do plástico utilizado na cobertura é menor. Em contrapartida, o modelo em arco tende a ser mais caro, mas sua cobertura plástica tem uma vida útil mais longa. Esses modelos de estufas de grande porte disponíveis no mercado exigem uma certa disponibilidade de capital inicial para investimento [47].

Figura 12 - Modelo de Estufa em Arco.



Fonte: [48]

Figura 13 - Modelo de Estufa em Capela.



Fonte: [49]

2.4.2 Estufa para Hortas

Para o cultivo de hortaliças, é fundamental compreender que cada planta exige uma faixa de temperatura específica para seu desenvolvimento ideal. Em ambientes urbanos, essas condições nem sempre são atendidas, tornando as estufas essenciais para proteger as culturas de fatores climáticos adversos e garantir um crescimento saudável.

Diversos modelos de estufas podem ser utilizados em espaços residenciais, e a escolha do modelo ideal depende de fatores como o local disponível, a posição geográfica, o material a ser utilizado e o tipo de produção desejada. Comumente, materiais como madeira, bambu, PVC, metal e revestimentos de vidro ou plástico são empregados na construção de estufas.

A seguir, apresentamos alguns modelos de estufas que podem ser adequados para áreas urbanas, conforme ilustrado nas Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17. Esses modelos variam em *design* e funcionalidade, oferecendo flexibilidade para atender às diferentes necessidades dos cultivadores em ambientes urbanos.

Figura 14 - Estufa Inteligente.



Fonte: [50]

Figura 15 - Unidades Urbanas Agrícolas.



Fonte: [51]

Figura 16 - Filme Leitoso para túnel.



Fonte: [21]

Figura 17 - Hortas Urbanas Vegepod.



Fonte: [52]

2.5 SISTEMA DE CONTROLE

Um sistema de controle pode ser definido como um conjunto de componentes interconectados que têm a função de comandar, direcionar ou regular suas próprias operações ou as de outros sistemas. Esses sistemas são essenciais para garantir que processos específicos sejam executados de maneira eficiente, visando alcançar resultados desejados [15].

Os sistemas de controle podem ser classificados em dois tipos principais: **malha fechada** e **malha aberta**. No controle de malha aberta, a saída do sistema não afeta a ação do controlador. Isso significa que o sinal de saída não é medido nem realimentado para comparação com o valor de entrada. Como resultado, cada entrada de referência resulta em uma condição fixa de operação, independentemente de outras variáveis que possam influenciar o processo [53].

Esse tipo de controle é útil em situações em que as condições do processo são bem compreendidas e não há necessidade de ajustes dinâmicos em tempo real, mas pode ser menos eficaz em sistemas onde as variáveis externas podem impactar significativamente os resultados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados os materiais necessários para o desenvolvimento do sistema de automatização proposto, como microcontrolador, sensores e atuadores, e as ferramentas de *software* utilizadas.

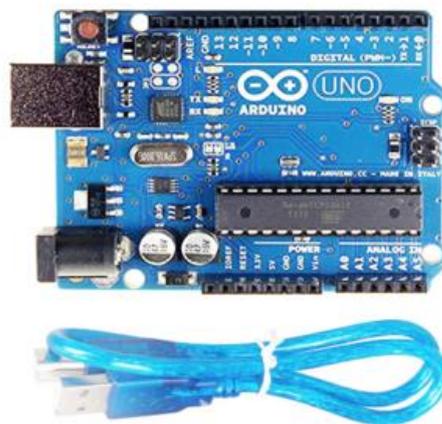
3.1 ARDUINO

O Arduino é uma placa de circuito montada com base nos microcontroladores ATMEGA8 ou ATMEGA168. Seu design atual oferece uma entrada USB para a configuração da memória *flash* da placa, além de uma série de pinos analógicos e digitais de entrada e saída, que são utilizados na criação de projetos [54].

O Arduino UNO, com sua arquitetura simples e flexível, foi escolhido para trabalhar em conjunto com o *Raspberry Pi*, atuando como uma *interface* para o *hardware* de monitoramento. Este modelo permite uma redução considerável nos custos de produção do projeto, sem que haja perda da eficiência do sistema. Ele funciona como um computador em miniatura, e é capaz de processar informações entre o próprio dispositivo e os componentes externos a ele conectados.

Por meio da programação em seu IDE (*Integrated Development Environment* ou ambiente de programação integrado), um *software* livre do próprio Arduino, que é utilizado para criação de códigos baseados na linguagem C, é feita a designação dos programas a serem instalados em sua memória *flash*, fazendo com que o Arduino realize o conjunto de instruções que foram delineadas no *software* [54].

Figura 18 - Arduino UNO.



Fonte: [55]

A plataforma Arduino utiliza um *software* próprio para o desenvolvimento de programas, conhecidos como *sketch*. Os programas desenvolvidos no IDE do Arduino, quando compilados, podem ser enviados à placa para a execução do mesmo. Este ambiente, ainda, permite que os *softwares* criados sejam testados antes de serem enviados às placas [54].

3.2 RASPBERRY PI

Desenvolvido pela Fundação Raspberry no Reino Unido, o *Raspberry Pi* é um computador de baixo custo e tamanho reduzido. Sua arquitetura inclui um processador, um processador gráfico, *interfaces* USB e HDMI, *slot* para cartões de memória, memória RAM, controladores, entrada de energia e barramentos de expansão, integrando todo o *hardware* em uma única placa [56].

O *Raspberry Pi* é compatível com sistemas operacionais baseados em GNU/Linux e Windows 10 IoT, que é uma versão gratuita e adaptada para Internet das Coisas. O sistema operacional é geralmente armazenado em um cartão de memória SD ou microSD, dependendo do modelo [57]. Para o desenvolvimento de *software*, é possível usar qualquer linguagem de programação que possa ser compilada para a arquitetura ARMv6, como *Python*, Java, C e C++.

Com o *Raspberry Pi*, é possível desenvolver programas e realizar tarefas de maneira similar a um computador tradicional. Ele é uma excelente ferramenta para aprender sobre ciência da computação e programação, criar projetos de Internet das Coisas, montar *media centers*, desenvolver projetos de robótica e até mesmo construir um computador. Além disso, os dados coletados em projetos com o *Raspberry Pi* podem ser utilizados para aplicar técnicas de Ciência de Dados e modelos de *Machine Learning* [58].

Comparando com o Arduino, existem diferenças significativas, especialmente no que diz respeito ao controle de *hardware* (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O *Raspberry Pi* utiliza um microprocessador, enquanto o Arduino Uno utiliza um microcontrolador para a leitura de *hardware*. Ambos possuem uma CPU para executar instruções, memória e pinos de I/O (*Input/Output*), mas a leitura de I/O no microprocessador é realizada por transistores, enquanto no microcontrolador ocorre diretamente. Contudo, não se pode afirmar que um é superior ao outro, pois a escolha depende da aplicação. Muitas vezes, eles são usados em conjunto, especialmente em projetos de IoT [58].

Tabela 1 - Algumas diferenças entre o Raspberry Pi e o Arduino.

	Arduino UNO	Raspberry Pi Model B
Preço	R\$ 31,00	R\$ 385,60
Tamanho	7,6 x 1,9 x 6,4 cm	8,6 x 5,4 x 1,7 cm
Memória	0.002 MB	512 MB
Velocidade de <i>Clock</i>	16 MHZ	700 MHZ
Rede Integrada	Nenhuma	Ethernet com fio 10/100 RJ45
Multitarefa	Não	Sim
Tensão de Entrada	7 a 12 V	5V
Memória <i>Flash</i>	32 KB	Cartão SD (2 a 16 GB)
USB	Uma, apenas entrada	Duas, suporta periféricos
Sistema Operacional	Nenhum	Distribuições Linux
Ambiente de Desenvolvimento	Arduino IDE	<i>Scratch</i> , IDLE, qualquer ambiente com suporte a Linux

Fonte: Adaptado de [59]

O *Raspberry Pi* é uma das principais plataformas de aprendizagem para a Internet das coisas [58]. A versão utilizada neste projeto foi o *Raspberry Pi 3B+*, pois ele apresenta um ótimo custo-benefício para este tipo de aplicação. Suas principais especificações são: “*64-bit quad core processor running at 1.4GHz, dual-band 2.4 GHz and 5 GHz wireless LAN, Bluetooth 4.2/BLE, faster Ethernet, and PoE capability via a separate PoE HAT*” [60].

Figura 19 - *Raspberry Pi 3 B+*.



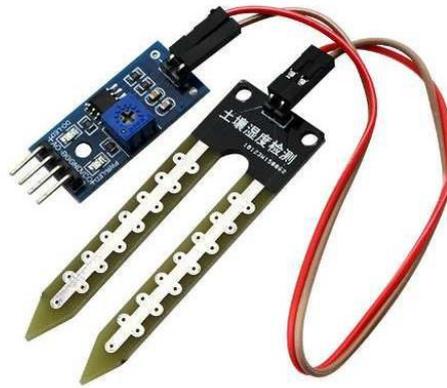
Fonte: [61]

3.3 SENSOR DE UMIDADE DO SOLO

Para a medição da umidade do solo, foi utilizado o sensor de umidade do solo, mostrado na Figura 20. O modelo selecionado consiste em duas partes principais: uma sonda de detecção

que é inserida no solo e um módulo eletrônico que converte a leitura da sonda em um sinal digital ou analógico para ser interpretado por um microcontrolador, como o Arduino

Figura 20 - Sensor de umidade do solo.



Fonte: [62].

Especificações Técnicas [62]:

- **Faixa de tensão de operação:** 3,3 V a 5 V
- **Sinal de saída:** Digital (pino D0) ou Analógico (pino A0)
- **Corrente de operação:** Menos de 20 mA
- **Faixa de detecção de umidade:** 0% (solo seco) a 100% (solo totalmente úmido)
- **Dimensões da sonda:** 60 mm de comprimento
- **Dimensões do módulo eletrônico:** 30 mm x 16 mm

Este sensor é ideal para projetos de monitoramento de umidade do solo em sistemas de irrigação automatizados. Ele é frequentemente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT) para controle e automação de jardins e estufas. Com a leitura de umidade do solo, é possível acionar automaticamente bombas de irrigação ou gerar alertas, garantindo que as plantas recebam a quantidade correta de água. A saída digital do módulo permite configurar níveis críticos de umidade, acionando sistemas automaticamente quando o solo estiver muito seco, enquanto a saída analógica oferece leituras mais precisas para monitoramento contínuo [63].

3.4 SENSOR DHT22

Para a medição da temperatura e umidade do ambiente, foi utilizado o sensor digital DHT22, mostrado na Figura 21, comumente utilizado para tais medições, e valorizado por sua precisão e facilidade de integração com microcontroladores e sistemas de automação [64].

Figura 21 - Sensor DHT22.



Fonte: [65]

Especificações técnicas [65]:

- **Faixa de medição de temperatura:** de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$, com uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- **Faixa de medição de umidade:** de 0% a 100% de umidade relativa, com precisão de $\pm 2\%$ (entre 0% e 80%)
- **Alimentação:** 3,3 V a 5,5 V
- **Corrente de operação:** 2,5 mA (máximo durante a medição)
- **Saída:** Sinal digital de 1 fio, facilitando a *interface* com microcontroladores;
- **Tempo de resposta:** Menos de 2 segundos.

3.5 COOLER 5 V

Para o controle da temperatura do ambiente, foi utilizado um ventilador (*cooler*) de 5 V, mostrado na Figura 22. Ele é amplamente utilizado em projetos que requerem dissipação de calor, como o resfriamento de circuitos eletrônicos, placas microcontroladoras como o *Raspberry Pi*, ou até mesmo em pequenos sistemas de refrigeração para ambientes controlados [66].

Figura 22 - Cooler 5 V.



Fonte: [67]

Especificações Técnicas [71]:

- **Tensão de operação:** 5 V DC
- **Corrente de operação:** Aproximadamente 0,2 A
- **Dimensões comuns:** 40 mm x 40 mm

No contexto deste projeto, o ventilador foi integrado para ser acionado automaticamente ou manualmente em resposta a leituras de temperatura.

3.6 MINIBOMBA SUBMERSÍVEL DE ÁGUA

Para o controle da umidade do solo, foi utilizada uma minibomba submersível de água para a rega das plantas, mostrada na Figura 23. Esta é uma bomba de pequeno porte, ideal para projetos de irrigação, resfriamento ou circulação de líquidos [68].

Figura 23 - Minibomba submersível de água.



Fonte: [69]

Especificações Técnicas [73]:

- **Tensão de operação:** 3 a 6 V
- **Corrente de carga nominal:** 180 mA
- **Vazão:** 100 litros/hora
- **Altura máxima de elevação:** 50 cm, variando conforme a tensão

No contexto deste projeto, a bomba de água foi integrada para ser acionada automaticamente em resposta a leituras de umidade do solo.

3.7 MÓDULO RELÉ

Para fazer o acionamento tanto do ventilador (*cooler*) quanto da minibomba de água, foi utilizado o módulo relé de 2 canais 5 V, mostrado na Figura 24. Cada relé pode ser controlado individualmente por GPIOs do *Raspberry Pi*, tornando-o altamente flexível para aplicações de automação. O mesmo é comumente utilizado em projetos de automação e controle para ligar ou desligar dispositivos de alta potência, como motores, lâmpadas ou bombas, com base em sinais de controle de baixa potência vindos de microcontroladores, como Arduino ou *Raspberry Pi* [70].

Figura 24 - Módulo relé de 2 canais 5 V.



Fonte: [71]

Especificações Técnicas [70]:

- **Tensão de operação:** 5 V DC
- **Corrente de operação:** Aproximadamente 20 mA por canal
- **Capacidade de comutação:** Suporta dispositivos de até 10 A à 250 V AC ou 10 A à 30 V DC
- **Isolamento:** Optoacopladores
- **Sinal de controle:** Nível baixo (LOW) de 0 V ou nível alto (HIGH) de 5 V;
- **Canais:** 2 canais independentes

3.8 NODE-RED

No contexto deste projeto, o *Node-RED*, embarcado em uma placa *Raspberry Pi*, foi utilizado para implementação do sistema de monitoramento e controle, responsável pela gestão e visualização dos dados em tempo real.

O *Node-RED* foi criado pela IBM (*International Business Machines Corporation*) *Emerging Technology*, é uma ferramenta *opensource* de programação visual baseada em blocos, para conectar dispositivos de *hardware*, APIs e serviços *online* [72].

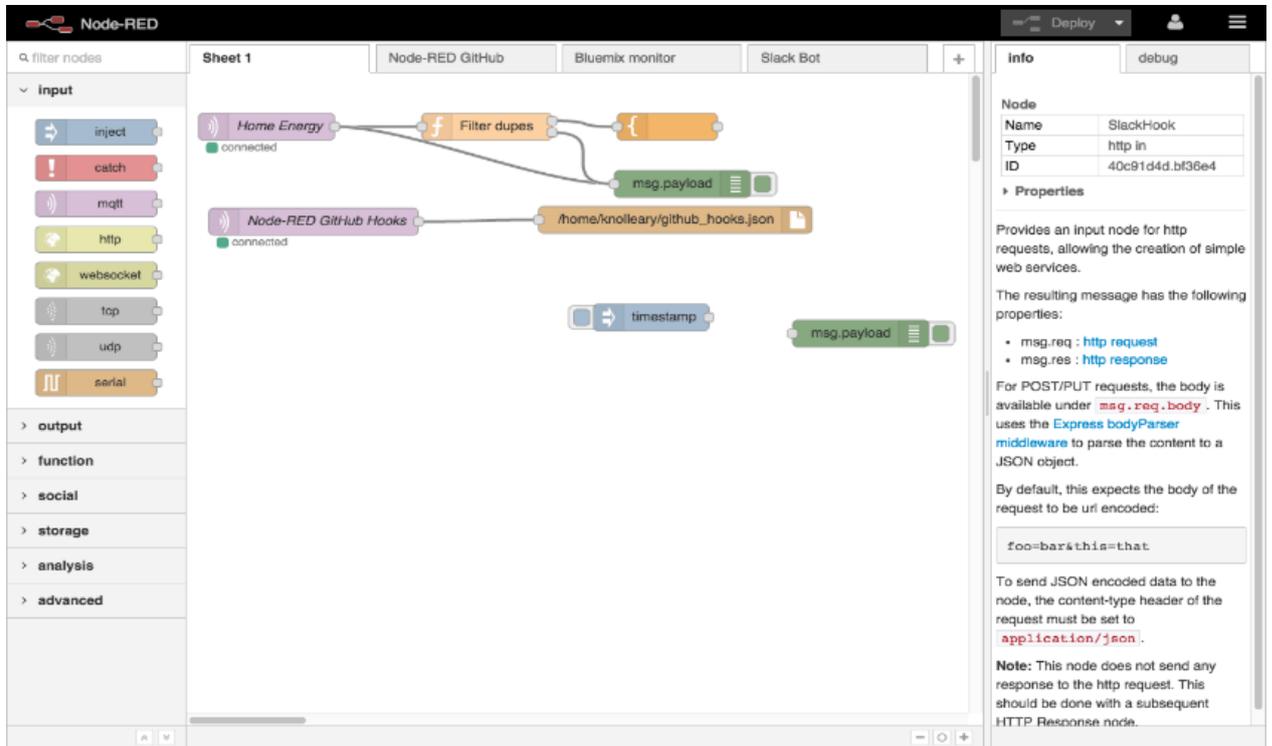
Ele fornece um editor baseado em navegador (Figura 25), no qual pode-se arrastar e soltar os nós (do inglês *nodes*) diretamente na tela, o que facilita a conexão de fluxos, usando uma ampla variedade de nós na paleta que podem ser implementados em seu navegador com um único clique. As funções, modelos ou fluxos úteis para reutilização podem ser salvos em uma biblioteca interna [72].

Foi desenvolvido para ser utilizado em IoT, mas pode ser utilizado para qualquer outro fim. O servidor é desenvolvido no Node.js, tornando-o ideal para rodar em *hardwares* de baixo custo, como o *Raspberry Pi* e na Nuvem [72].

O *Node-RED* possui um nó que permite programar em *JavaScript* de forma nativa ou em várias outras linguagens, bastando baixar e adicionar os pacotes, e tem incluso um editor de

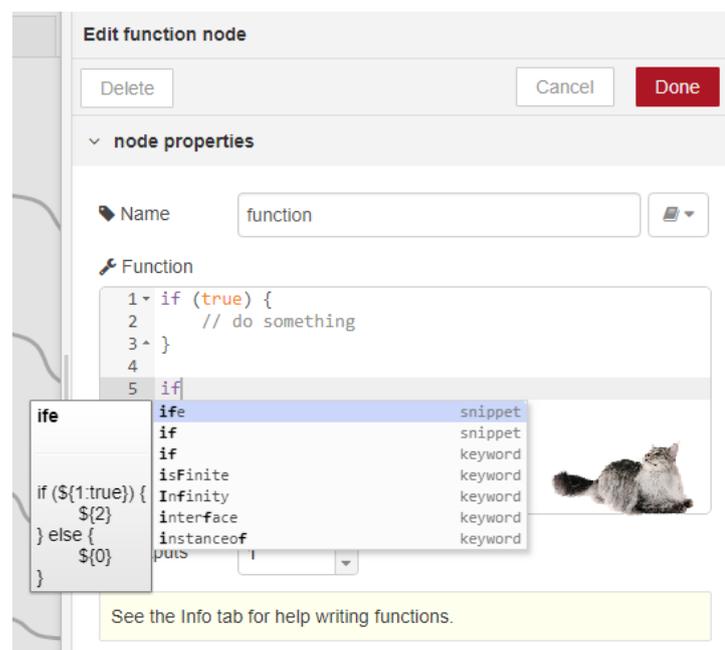
código que é semelhante a uma IDE o que ajuda na programação com *autocomplete* e *highlight text* [73].

Figura 25 - Edição de Fluxo Baseada no Navegador.



Fonte: [74]

Figura 26 - Programação em JavaScript no Node-Red.



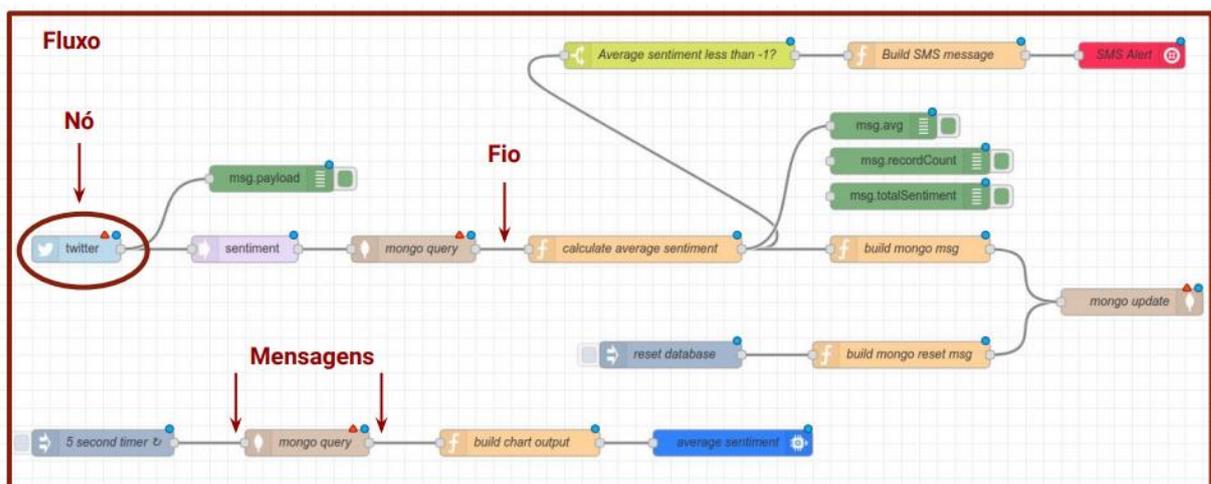
Fonte: [73].

A primeira versão estável do *Node-RED* (1.0) foi lançada em setembro de 2019, sendo a versão 4.0 a mais recente. Os principais componentes deste sistema [75] são:

- **Fluxos:** programas são fluxos compostos por uma coleção de nós conectados para trocar mensagens. Há um propósito bem definido para cada nó. A principal ideia de um fluxo, é ser uma lista de objetos *JavaScript* que descrevem os nós e suas configurações.
- **Mensagens:** as mensagens transmitidas entre nós são objetos *JavaScript* chamados *msg*, e consistem em uma série de propriedades nomeadas. Geralmente as *msg* possuem uma propriedade chamada *msg.payload* com uma carga útil da mensagem. Os nós podem anexar outras propriedades a uma mensagem, sendo usada assim para transportar informações entre nós.
- **Nós:** são o principal bloco de construção dos fluxos no *Node-RED*. Quando um fluxo está em execução, as mensagens são geradas, consumidas e processadas pelos nós. Há três principais tipos de nós: os nós de entrada que geram mensagens, os nós de saída, que consomem mensagem, e os nós de processamento, que processam dados e emitem novas mensagens.
- **Fios:** Os fios definem as conexões entre os nós de entrada e saída em um fluxo. Conectam a extremidade dos nós de saída às entradas dos nós de recebimento de dados, sendo possível conectar mais de um nó na saída de nós. As mensagens são entregues a todos os nós conectados, na ordem que foram conectados.

A Figura 27 exemplifica os conceitos apresentados acima.

Figura 27 - Exemplo de um sistema no *Node-RED*.



Fonte: [75]

Para o desenvolvimento deste projeto fez-se necessário entender que o:

- ***msg.payload***: É o contêiner principal em que a maioria dos dados de uma mensagem são armazenados no *Node-RED*. Ele é utilizado para transmitir informações de um nó para outro, e seu valor pode ser de qualquer tipo: texto, números, objetos, etc. A maioria dos nós trabalha diretamente com o *msg.payload* [76].
- ***msg.topic***: É um identificador opcional que pode ser utilizado para categorizar ou rotular mensagens. Ele é especialmente útil quando se deseja diferenciar entre diferentes tipos de dados dentro de um fluxo ou quando se está roteando dados com base em sua origem [76].
- **Nó *Chart***: Cria gráficos para exibição no *dashboard* do *Node-RED*. Ele pode ser configurado para gráficos de linha, barras ou outros tipos, sendo útil para visualização de dados históricos ou em tempo real. Ele recebe dados no formato *msg.payload* e os exibe de acordo com as especificações do gráfico [77].
- **Nó *Change***: Permite modificar o conteúdo de uma mensagem antes que ela seja enviada ao próximo nó. Ele pode alterar ou redefinir o valor de um campo (como *msg.payload*), adicionar novos campos ou remover campos existentes. Muito utilizado para ajustar o conteúdo da mensagem sem necessidade de *scripts* complexos [78].
- **Nó *Gauge***: É utilizado para exibir indicadores em formato de medidor analógico no *dashboard* do *Node-RED*. Ele é comumente utilizado para exibir dados em tempo real, como temperatura, umidade, nível de solo, etc., oferecendo uma visualização rápida do estado atual de uma variável gráfico [77].
- **Nó *Inject***: É usado para disparar fluxos manualmente ou automaticamente, em intervalos regulares ou em um horário programado. Ele é frequentemente usado em conjunto com outros nós para iniciar a coleta de dados ou simular evento [79].
- **Nó *rpi-dht22***: É essencial para projetos que monitoram condições ambientais usando o DHT22, pois facilita o envio de leituras de temperatura e umidade diretamente ao sistema de automação. Ele lê os dados diretamente dos pinos GPIO do *Raspberry Pi*, simplificando a integração do sensor no sistema. Os dados de temperatura e umidade são normalmente armazenados nos campos *msg.payload.temperature* e *msg.payload.humidity*, que podem ser utilizados em outros nós, como *gauge*, *chart* ou para tomar decisões automáticas dentro do fluxo [80].
- **Nó *Serial***: O nó *serial* no *Node-RED* permite a comunicação com dispositivos conectados à porta serial do sistema. Ele é utilizado para enviar e receber dados em tempo real através de uma *interface serial*, o que é útil para se comunicar com

microcontroladores, como o Arduino, ou outros dispositivos que utilizam essa *interface*. As mensagens recebidas pelo nó serial são convertidas em objetos *msg.payload*, que podem ser processados no fluxo. Esse nó é configurável, permitindo definir parâmetros como a taxa de transmissão (*baud rate*) e o tipo de conexão [81].

- **Nó *Split*:** O nó *split* no *Node-RED* é utilizado para dividir uma mensagem em várias partes, criando múltiplas mensagens a partir de um único objeto, como uma lista ou *string*. Ele é especialmente útil quando se deseja processar separadamente cada elemento de um conjunto de dados, permitindo que cada item seja tratado de forma independente no fluxo. Por exemplo, pode ser usado para dividir uma *array* em mensagens individuais ou quebrar um texto em partes específicas [82].
- **Nó *Switch*:** É usado para roteamento condicional, ou seja, ele permite encaminhar mensagens para diferentes saídas com base em condições especificadas, como valores de *msg.payload* ou outros campos. Funciona como uma estrutura "if" ou "case", garantindo que uma mensagem siga por diferentes caminhos de acordo com seu conteúdo [83].
- **Nó *Texto*:** O nó texto no *Node-RED* é utilizado para exibir informações em forma de texto no *dashboard*. Ele permite a visualização de variáveis ou mensagens processadas no fluxo, com a opção de personalização por meio de HTML ou CSS para estilizar o conteúdo exibido. Esse nó é comumente usado para apresentar dados de sensores, *status* do sistema ou qualquer tipo de mensagem textual relevante no painel de controle [76].
- **Nó *Trigger*:** É utilizado para gerar uma mensagem em resposta a um evento, com a capacidade de controlar o tempo entre o envio de mensagens. Ele pode ser configurado para disparar uma mensagem imediatamente após receber uma entrada, ou após um atraso especificado. Além disso, pode enviar múltiplas mensagens ou redefinir seu estado com base em uma nova entrada. Esse nó é útil para criar temporizações, como intervalos de acionamento de dispositivos ou para gerar atrasos controlados em fluxos de automação [84].

Esses nós foram cruciais para estruturar e manipular o fluxo de dados dentro do *Node-RED*, permitindo a integração e automação de processos complexos de maneira visual e intuitiva.

3.9 METODOLOGIA

Para garantir a funcionalidade do protótipo e validar seu desempenho, foram adotados os seguintes procedimentos:

- a) **Instalação do sistema operacional:** Inicialmente, foi feita a instalação do sistema operacional no Raspberry, instalação e atualização dos pacotes e bibliotecas, além de preparar o dispositivo para integração com os módulos e sensores.
- b) **Habilitação de comunicações SSH e VNC:** Em seguida, foi feita a habilitação dos protocolos SSH e VNC para permitir a comunicação remota com o *Raspberry Pi*.
- c) **Preparação e integração do Arduino com o *Raspberry Pi*:** Posteriormente, foi feita a instalação da IDE no Arduino Uno e a gravação do código necessário para obtenção dos dados de umidade do solo.
- d) **Conexão dos módulos e sensores:** Logo após, foi feita a conexão entre o Arduino, o Raspberry, o sensor DHT22, o sensor de umidade do solo e o módulo relé.
- e) **Criação dos gráficos de temperatura e umidade:** Para a visualização das medições de temperatura e umidade obtidas usando o sensor DHT22, foi criado um fluxo no *Node-RED*, permitindo a apresentação por meio de gráficos. As devidas configurações para permitir o acionamento do *cooler* de acordo com uma temperatura de referência, também foram feitas.
- f) **Criação do gráfico de umidade do solo:** Para a visualização das medições de umidade do solo obtidas usando o sensor de umidade do solo, foi criado um fluxo no *Node-RED*, permitindo a apresentação por meio de gráficos. Foi feita também a adição de um campo de texto no *dashboard* gerado, para visualização do *status* de umidade do solo e as devidas configurações para permitir o acionamento da bomba de água de acordo com o *status* de referência.
- g) **Montagem do protótipo:** Por fim, para fazer a validação do sistema, fez-se a montagem do protótipo para simular um ambiente real de estufa. Para isso foi utilizada uma estrutura plástica capaz de sustentar e separar o *hardware* utilizado do ambiente interno da estufa.

3.10 MATERIAIS E CUSTOS

A Tabela 1 apresenta a lista completa dos componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo, juntamente com seus respectivos valores.

Tabela 2 - Materiais utilizados.

Item	Quantidade	Custo Total	Fonte
Arduino Uno	01	R\$ 31,00	Mercado Livre
Cartão de memória de 16GB	01	R\$ 14,99	Mercado Livre
Fonte de alimentação de 5V	01	R\$ 23,21	Eletrogate
LED alto brilho 5mm verde	01	R\$ 0,48	Eletrogate
LED alto brilho 5mm vermelho	01	R\$ 0,48	Eletrogate
Minibomba submersível para água	01	R\$ 11,30	Eletrogate
Micro Ventilador <i>Cooler 5v</i>	01	R\$ 16,99	Mercado Livre
Módulo relé 2 canais 5V	01	R\$ 12,26	Eletrogate
Módulo sensor de umidade do solo	01	R\$ 10,36	Eletrogate
<i>Protoboard</i> 830 pontos	01	R\$ 12,26	Eletrogate
<i>Raspberry PI 3B+</i>	01	R\$ 385,60	Robocore
Resistor de 1k Ω	01	R\$ 0,11	Eletrogate
Resistor de 220 Ω	02	R\$ 0,22	Eletrogate
Sensor de umidade e temperatura DHT22	01	R\$ 18,90	Robocore

Fonte: A Autora

Desta forma, o protótipo teve um custo aproximado de R\$538,16.

3.11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram descritas as principais funcionalidades dos componentes selecionados para o desenvolvimento do sistema. A comunicação entre o *Raspberry Pi* e o Arduino Uno foi realizada via porta serial, sendo o Arduino responsável pela aquisição e envio de sinais de baixo nível. Para a coleta de dados ambientais, utilizou-se o sensor DHT22, que realiza a leitura de temperatura e umidade do ar, complementado por um sensor de umidade do solo. Os atuadores, como a minibomba de água e o *cooler*, são acionados conforme as condições monitoradas no ambiente. Adicionalmente, um recipiente de material plástico com aberturas laterais foi utilizado para simular uma estufa. Elementos eletrônicos, como resistores, relés e LEDs, também foram incorporados para sinalizar e ajustar o funcionamento do protótipo.

4 DESENVOLVIMENTO

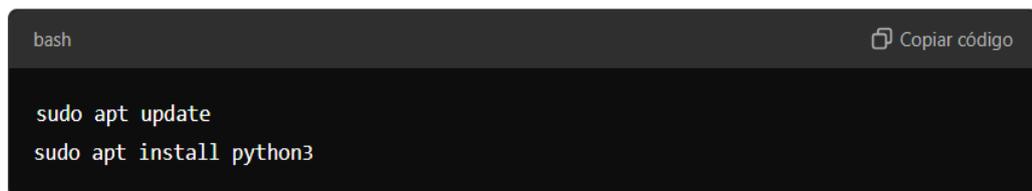
Nesta seção, serão apresentados os procedimentos adotados para a preparação do *hardware*, interconexão dos dispositivos, elaboração de fluxos no *Node-RED*, para visualização das medições obtidas pelos sensores, bem como as configurações indispensáveis para o funcionamento dos atuadores e o controle das variáveis do sistema. O capítulo é encerrado com a montagem do protótipo, no qual a validação do sistema é realizada.

4.1 INSTALAÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL

Para garantir a funcionalidade adequada do *Raspberry Pi*, foi instalado o sistema operacional Raspbian, em sua versão mais recente disponível. O processo de instalação foi realizado conforme descrito abaixo:

- **Download e Preparação do Sistema:** Primeiramente, baixou-se a imagem do sistema operacional a partir do site oficial do *Raspberry Pi* [85]. Para a gravação da imagem no cartão de memória, foi utilizado o *software Raspberry Pi Imager*.
- **Gravação da Imagem no cartão de memória:** Após inserir o cartão de memória no computador, o *Raspberry Pi Imager* foi aberto, e a opção "*Choose OS*" foi selecionada, optando-se pelo *Raspberry Pi OS (64-bit)*. Em seguida, selecionou-se o cartão de memória como dispositivo de armazenamento e o processo de gravação foi iniciado. Uma vez finalizado, o cartão foi ejetado com segurança.
- **Configuração Inicial:** Ao inserir o cartão de memória no *Raspberry Pi* e ligá-lo, o sistema é inicializado, pedindo a configuração inicial, onde foram definidos parâmetros como idioma, fuso horário, senha de acesso e conexão à rede Wi-Fi.
- **Instalação do Python:** Após a configuração básica do sistema, procedeu-se com a instalação do *Python*, que é essencial para a execução de *scripts* de automação e integração com sensores. A instalação foi realizada utilizando o terminal do Raspbian:

Figura 28 - Instalação do *Python*.



```
bash Copiar código  
  
sudo apt update  
sudo apt install python3
```

Fonte: A Autora

- **Atualização de Bibliotecas:** As bibliotecas do *Python* foram atualizadas para garantir a compatibilidade e desempenho do sistema:

Figura 29 - Atualização de bibliotecas.

```
bash Copiar código
sudo apt update
sudo apt upgrade
```

Fonte: A Autora

- **Instalação do *Node-RED*:** O *Node-RED*, ferramenta de fluxo utilizada para visualização e integração dos dados do sistema, já vem pré-instalado nas versões mais recentes do Raspbian. Portanto, foi realizada apenas uma verificação e inicialização do *Node-RED*:

Figura 30 - Inicialização do *Node-RED*.

```
bash Copiar código
node-red-start
```

Fonte: A Autora

Ao finalizar a preparação do *hardware*, o *Raspberry Pi* ficou apto para integrar os sensores e dispositivos necessários para o funcionamento do sistema de monitoramento e automação.

4.2 HABILITAÇÃO DE COMUNICAÇÕES SSH E VNC

Após a instalação do sistema operacional e a atualização dos pacotes no *Raspberry Pi*, foi necessário configurar métodos de acesso remoto para facilitar o desenvolvimento e monitoramento do sistema sem a necessidade de um monitor ou teclado conectados diretamente ao *Raspberry Pi*. Para isso, foram habilitadas as comunicações SSH e VNC, que são essenciais para a interação remota com o dispositivo.

Para permitir o controle remoto do *Raspberry Pi* via linha de comando, foi habilitado o protocolo SSH (*Secure Shell*). Dessa forma, garante-se uma comunicação segura e criptografada com o dispositivo. O SSH é amplamente utilizado para acessar sistemas Linux e executar comandos remotamente a partir de outra máquina na mesma rede. Para habilitar o SSH, primeiro deve-se acessar o menu principal do Raspbian, ir até o *Raspberry Pi*

Configuration e na aba *Interfaces* habilitar a opção SSH. Após essa configuração, torna-se possível acessar o *Raspberry Pi* remotamente usando o PuTTY.

Ainda nas configurações do *Raspberry Pi* habilitou-se o protocolo VNC (*Virtual Network Computing*), pois o mesmo permite o acesso remoto à interface gráfica do *Raspberry Pi*. Diferente do SSH, que oferece apenas acesso via terminal, o VNC possibilita a visualização completa do ambiente de *desktop* do Raspbian, como se o usuário estivesse utilizando diretamente o dispositivo. Isso é especialmente útil para gerenciar tarefas visuais e aplicativos gráficos.

Para acessar o *Raspberry Pi* via VNC, foi instalado o cliente VNC *Viewer* em outro computador. E utilizando o endereço IP do *Raspberry Pi*, foi possível conectar-se e interagir com a interface gráfica do sistema operacional de maneira remota, tornando o gerenciamento visual mais eficiente.

As configurações de comunicação remota, utilizando SSH e VNC, tornaram o processo de desenvolvimento e manutenção do sistema muito mais prático, permitindo acessos simultâneos de diferentes dispositivos sem a necessidade de um monitor ou periféricos conectados diretamente ao *Raspberry Pi*.

4.3 PREPARAÇÃO E INTEGRAÇÃO DO ARDUINO COM O *RASPBERRY PI*

Ao finalizar a preparação do *Raspberry Pi*, foi necessário fazer a instalação da IDE do Arduino, para que o mesmo funcione corretamente e seja capaz de transferir os dados lidos pelos sensores analógicos para o Raspberry, utilizando o protocolo serial, ou seja, através da conexão USB.

Para isso, fez-se a instalação da IDE do Arduino, que permite a programação e o *upload* de códigos para o microcontrolador. A IDE está disponível para diversos sistemas operacionais e pode ser baixada diretamente do *site* oficial do Arduino [86]. Ao finalizar a instalação da IDE, conectou-se o Arduino Uno ao computador via cabo USB, e a selecionou-se a placa na *interface* da IDE através do menu **Ferramentas > Placa > Arduino Uno**. Em seguida, o código apresentado na Figura 31, escrito utilizando a linguagem baseada em C/C++, foi gravado na memória do Arduino.

Após fazer a instalação da IDE o Arduino tornou-se apto para se comunicar com o *Raspberry Pi*.

Figura 31 - Código para monitoramento de umidade via Arduino.

```

1  /*==          MONITOR DE UMIDADE DO SOLO          ==*/
2
3  #define umidadeAnalogica A0 // Atribui o pino A0 a variável umidade - leitura analógica do sensor
4  #define umidadeDigital 8   // Atribui o pino 8 a variável umidadeDigital - leitura digital do sensor
5  #define LedVermelho 7     // Atribui o pino 7 a variável LedVermelho
6  #define LedVerde 6       // Atribui o pino 6 a variável LedVerde
7
8  int valorumidade;        // Declaração da variável que armazenará o valor da umidade lida - saída analógica
9  int valorumidadeDigital; // Declaração da variável que armazenará a saída digital do sensor de umidade do solo
10
11 void setup() {
12     Serial.begin(9600); // Inicia a comunicação serial
13     pinMode(umidadeAnalogica, INPUT); // Define umidadeAnalogica como entrada
14     pinMode(umidadeDigital, INPUT); // Define umidadeDigital como entrada
15     pinMode(LedVermelho, OUTPUT); // Define LedVermelho como saída
16     pinMode(LedVerde, OUTPUT); // Define LedVerde como saída
17 }
18
19 void loop() {
20     valorumidade = analogRead(umidadeAnalogica); // Realiza a leitura analógica do sensor e armazena em valorumidade
21     valorumidade = map(valorumidade, 1023, 721, 0, 100); // Transforma os valores analógicos em uma escala de 0 a 100
22
23     valorumidadeDigital = digitalRead(umidadeDigital); // Realiza a leitura digital do sensor e armazena em valorumidadeDigital
24
25     // Enviar os dados via Serial de forma estruturada
26     Serial.print("Umidade:"); // Prefixo para identificar o valor de umidade
27     Serial.print(valorumidade); // Valor de umidade
28     Serial.print(" %;Status:"); // Prefixo para identificar o status
29     if (valorumidadeDigital == 0) { // Solo úmido
30         Serial.println("Solo umido");
31         digitalWrite(LedVermelho, LOW);
32         digitalWrite(LedVerde, HIGH);
33     }
34     else { // Solo seco
35         Serial.println("Solo seco");
36         digitalWrite(LedVermelho, HIGH);
37         digitalWrite(LedVerde, LOW);
38     }
39
40     delay(500); // Atraso de 500ms
41 }
42

```

Fonte: A Autora

4.4 CONEXÃO DOS MÓDULOS E SENSORES

A montagem do *hardware* envolveu a interligação dos sensores e demais componentes com o *Raspberry Pi* e o Arduino Uno, conforme mostrado na Figura 32. A seguir, é feita uma descrição detalhada de como foi realizada a conexão de cada componente.

no *proto-board*, depois o pino de alimentação (VCC) à alimentação de 5 V, o pino de saída digital do sensor foi ao pino 8 do Arduino e o pino de saída analógica ao pino A0 do Arduino. Além disso, para indicar o *status* de solo seco, foi conectado ao pino 7 do Arduino um LED vermelho, juntamente com um resistor de 200 Ω e para indicar o *status* de solo úmido, foi conectado ao pino 6 do Arduino um LED verde, juntamente com um resistor de 200 Ω .

Após isso, foi feita a **conexão do módulo relé** para automatizar o acionamento do *cooler* e da bomba de água, o módulo relé foi conectado ao Raspberry. A conexão consistiu em conectar o pino de alimentação (VCC) à alimentação de 5 V, conectar os dois canais do relé a dois GPIOs do Raspberry, para a parte de controle, conforme mostra a Figura 32, e por fim conectar um dos canais ao *cooler* e outro à minibomba de água.

Esse esquema de ligações garantiu que os dados lidos pelos sensores fossem enviados corretamente para o *Raspberry Pi*. Assim como, a conexão do módulo relé permitiu o correto acionamento dos atuadores.

4.5 CRIAÇÃO DOS GRÁFICOS DE TEMPERATURA E UMIDADE

Para visualizar as medições do sensor DHT22, é necessário adicionar o **nó rpi-dht22** ao *Node-RED*. Essa adição é fundamental para integrar os dados de temperatura e umidade coletados pelo sensor à *interface* do *Node-RED*, permitindo um monitoramento eficiente das condições ambientais.

Para isso, é necessário acessar a *interface* do *Node-RED* e clicar no ícone de menu (geralmente no canto superior direito). Em seguida, selecionar **Manage palette** (Gerenciar Paleta) e, na aba **Install**, procurar por *node-red-contrib-dht-sensor*. Após encontrar o pacote, deve-se clicar em **Install** ao lado do pacote *node-red-contrib-dht-sensor*. Isso adicionará o nó rpi-dht22 ao *Node-RED*. Após a instalação, vê-se que é possível arrastar o nó rpi-dht22 para o fluxo, podendo assim configurá-lo com os pinos GPIO do *Raspberry Pi* que estão conectados ao sensor DHT22.

Ainda no *Node-RED*, foi adicionado um **nó inject (timestamp)** no início do fluxo, e este foi configurado para ser executado a cada 30 segundos, para acionar assim a leitura do sensor DHT22 (Figura 33).

Figura 33 - Configuração nó *inject*.

Delete Cancel Done

⚙️ 📄 🔄

Name

msg. payload = milliseconds since epoch

msg. topic = a_z

+ add inject now

Inject once after 0.1 seconds, then

Repeat interval

every 30 seconds

Fonte: A Autora

Em seguida foi adicionado o nó **rpi-dht22**, e especificadas as variáveis que definem as conexões com o sensor, conforme mostra a Figura 34.

Figura 34 - Configuração nó *rpi-dht22*.

Delete Cancel Done

⚙️ 📄 🔄

Topic rpi-dht22

Sensor model DHT22

Pin numbering BCM GPIO

Pin number 4

Name

Fonte: A Autora

Na saída do nó `rpi-dht22`, foi conectado um **nó *change*** (Figura 35), que foi configurado para escrever no `msg.payload` apenas os valores de umidade que foram recebidos na variável `humidity`.

Figura 35 - Nó *change*.



Fonte: A Autora

Após isolar a variável de umidade, o valor é encaminhado para um **nó *gauge***, que apresenta graficamente o nível atual de umidade. Simultaneamente, o valor contido em `msg.payload` é atribuído a `msg.topic`, possibilitando a exibição da variação da umidade ao longo do tempo em um gráfico de linha. A Figura 36 demonstra a interconexão dos nós, enquanto as Figura 37 e Figura 38 detalham as configurações aplicadas aos nós de *gauge* e *chart*, respectivamente.

Figura 36 - Fluxo para criação dos gráficos de temperatura.



Fonte: A Autora

Figura 37 - Configuração nó *gauge* para umidade do ambiente.

A captura de tela mostra a interface de configuração do nó 'gauge' no Node-RED. O formulário contém os seguintes campos e opções:

- Group:** [Home] Umidade
- Size:** 11 x 4
- Type:** Gauge
- Label:** (campo vazio)
- Value format:** {{value}}
- Units:** %
- Range:** min 0, max 100
- Colour gradient:** (seleção de cores: amarelo, verde, azul)
- Sectors:** 0 ... 60 ... 80 ... 100
- Name:** Gráfico Umidade do Ar

Fonte: A Autora

Figura 38 - Configuração nó *chart* para umidade do ambiente.

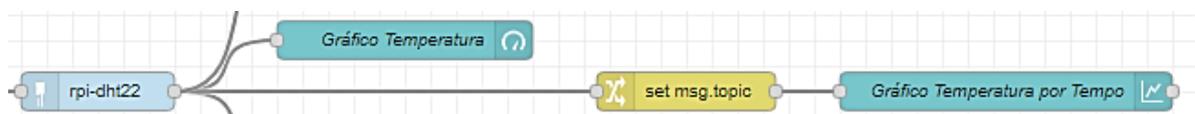
The image shows the configuration panel for a 'chart' node in Node-RED. The settings are as follows:

- Group:** [Home] Umidade
- Size:** 11 x 8
- Label:** optional chart title
- Type:** Line chart (with 'enlarge points' checked)
- X-axis:** last 1 hours OR 1000 points
- X-axis Label:** HH:mm:ss (with 'as UTC' unchecked)
- Y-axis:** min and max input fields
- Legend:** None (with 'Interpolate' set to linear)
- Series Colours:** A grid of 9 color swatches (blue, orange, red, green, purple, etc.)
- Blank label:** display this text before valid data arrives
- Nome:** Gráfico Umidade do Ar por Tempo

Fonte: A Autora

No caso da temperatura, o valor é enviado diretamente para o **nó gauge**, uma vez que, diferentemente da umidade, que é enviada na variável *humidity*, o valor da temperatura é recebido diretamente no *payload*. A configuração necessária para gerar o gráfico de linha segue uma lógica similar àquela aplicada para a umidade. Abaixo estão detalhadas as configurações realizadas para ambas as visualizações (Figura 39, Figura 40 e Figura 41).

Figura 39 - Fluxo para criação dos gráficos de temperatura.



Fonte: A Autora

Figura 40 - Configuração nó *gauge* para temperatura do ambiente.

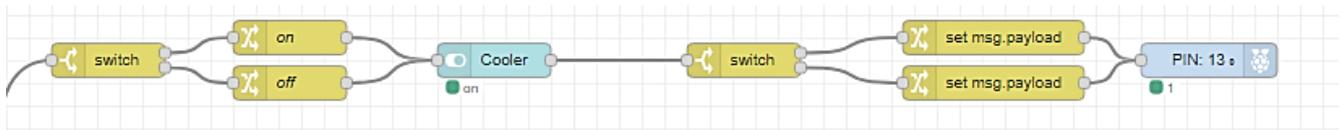
Fonte: A Autora

Figura 41 - Configuração nó *chart* para temperatura do ambiente.

Fonte: A Autora

Por fim, foram adicionados ao fluxo alguns nós do tipo *switch*, como ilustrado na Figura 42, com o objetivo de verificar se houve ultrapassagem da temperatura de referência. Quando o nó *switch* retorna 1, o sistema altera automaticamente o estado do botão *switch* (denominado *cooler*) para "ligado" (*on*), indicando um nível lógico alto no pino 13 do *Raspberry Pi*. Esse sinal aciona o relé, que por sua vez ativa o *cooler*. Caso o retorno do nó *switch* seja 0, a mesma lógica é aplicada, porém desativando o *cooler*. As configurações detalhadas dessas operações são apresentadas nas figuras subsequentes (Figura 42, Figura 43 e Figura 44).

Figura 42 - Fluxo para acionamento do *cooler*.



Fonte: A Autora

Figura 43 - Nó *switch* para verificação de ultrapassagem.

Editar switch nó

Deletar Cancelar Feito

Propriedades ⚙️ 📄 🖨️

Nome

Propriedade

➡ → 1 ✕

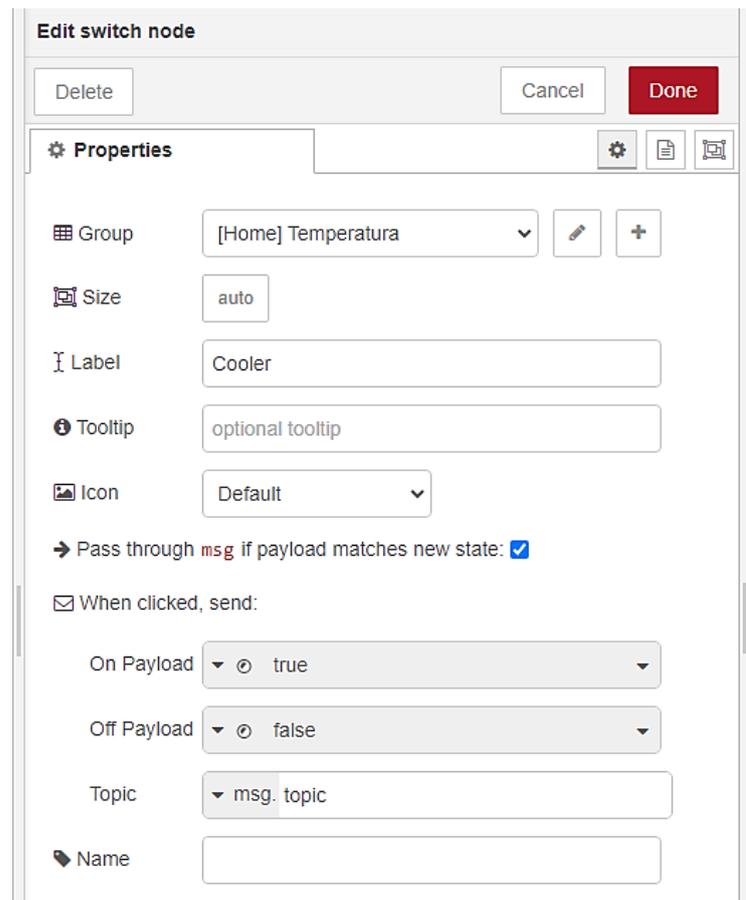
⬅ → 2 ✕

+ adicionar

recriar sequências de mensagens

Fonte: A Autora

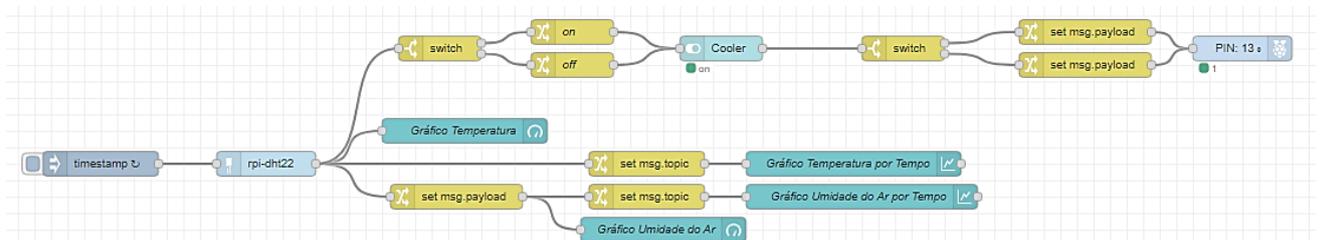
Figura 44 - Nó *switch* para acionamento manual.



Fonte: A Autora

Após finalizar as configurações o fluxo obtido para esta etapa ficou como mostrado na Figura 45.

Figura 45 - Fluxo para tratamento dos dados do DHT22 no *Node-RED*

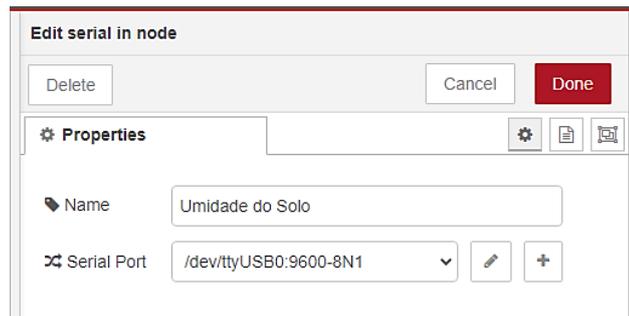


Fonte: A Autora

4.6 CRIAÇÃO DO GRÁFICO DE UMIDADE DO SOLO

Para a obtenção das medições de umidade do solo, inicialmente foi adicionado ao fluxo um **nó serial**, e nas configurações deste selecionou-se a porta USB correspondente (Figura 46).

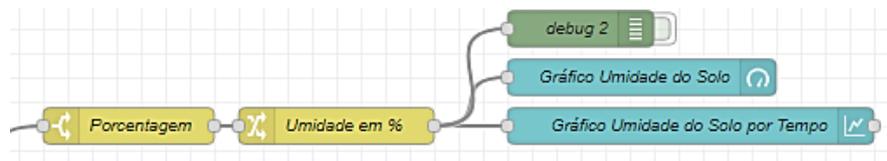
Figura 46 - Configuração nó serial



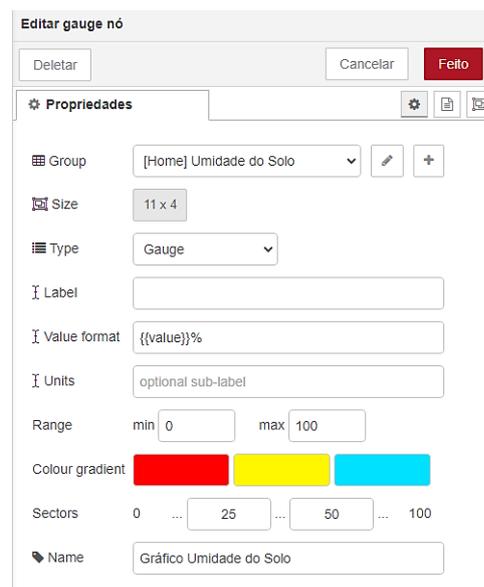
Fonte: A Autora

Em seguida, utiliza-se o **nó *split*** para segmentar a mensagem recebida em duas partes: a umidade do solo, expressa em porcentagem, e o *status* correspondente. Após essa divisão, ambos os valores são processados por um **nó *change***, que realiza a filtragem das informações desnecessárias, garantindo que somente os dados relevantes sejam encaminhados para os respectivos gráficos. Esse procedimento segue uma lógica semelhante àquela empregada na geração dos gráficos de umidade e temperatura. As Figura 47, Figura 48 e Figura 49 ilustram as configurações dos nós envolvidos nesse processo.

Figura 47 - Fluxo para criação dos gráficos de umidade do solo



Fonte: A Autora

Figura 48 - Configuração nó *gauge* para umidade do solo

Fonte: A Autora

Figura 49 - Configuração nó *chart* para umidade do solo

Editar chart nó

Deletar Cancelar Feito

Propriedades

Group [Home] Umidade do Solo

Size 11 x 6

Label optional chart title

Type Line chart enlarge points

X-axis last 1 hours OR 1000 points

X-axis Label HH:mm:ss as UTC

Y-axis min 0 max 100

Legend None Interpolate linear

Series Colours

Blank label display this text before valid data arrives

Nome Gráfico Umidade do Solo por Tempo

Fonte: A Autora

O *status* recebido é então encaminhado para um nó de texto, onde, nas configurações desse nó (Figura 50), foi aplicado um código CSS para estilizar a exibição do texto de acordo com a informação recebida. Esse processo permite uma visualização diferenciada, tornando mais claro e intuitivo o estado atual do sistema com base nos dados monitorados.

Por fim, foram adicionados ao fluxo alguns nós do tipo *switch*, como ilustrado na Figura 51, com o objetivo de verificar se o *status* do solo era seco ou úmido. Quando o nó *switch* retorna 1, o sistema altera automaticamente o estado do botão *switch* (denominado bomba de água) para "ligado" (*on*), indicando um nível lógico alto no pino 15 do *Raspberry Pi*, durante um período de 5s, que é definido pelo nó *trigger*. Esse sinal aciona o relé, que por sua vez ativa a mini bomba submersível de água. Caso o retorno do nó *switch* seja 0, a mesma lógica é aplicada, porém desativando a bomba.

Figura 50 - Configuração nó *chart* para umidade do solo

Deletar
Cancelar Feito

⚙️ **Propriedades**

Template type: Widget in group

Group: [Home] Umidade do Solo

Size: 11 x 1

Nome: Status

📄 **Template**

```

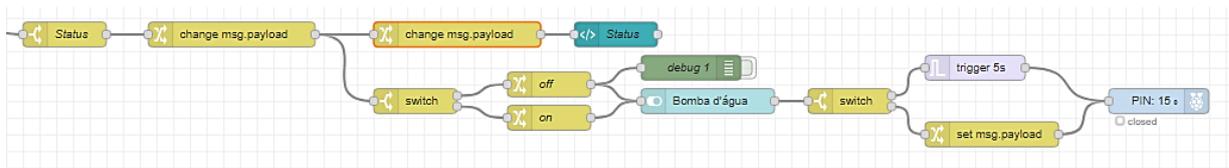
1 <div id="soilStatus" style="font-size: 20px; font-weight: bold; text-align: center;">
2   {{msg.payload}}
3 </div>
4
5 <script>
6   (function(scope) {
7     scope.$watch('msg.payload', function(status) {
8       var element = document.getElementById("soilStatus");
9       if(status.includes("seco")) {
10        element.style.color = "red";
11      } else if(status.includes("úmido")) {
12        element.style.color = "blue";
13      }
14    });
15  })(scope);
16 </script>

```

- Pass through messages from input.
- Add output messages to stored state.
- Reload last value on refresh.

Fonte: A Autora

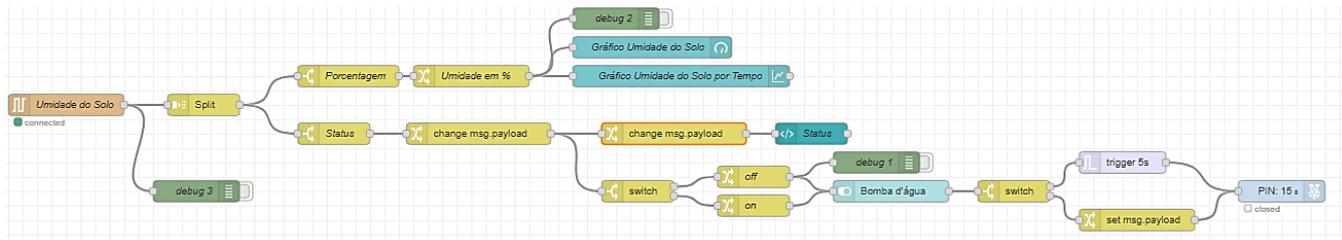
Figura 51 - Fluxo para acionamento da bomba de água



Fonte: A Autora

Após finalizar as configurações o fluxo obtido para esta etapa ficou como mostrado na Figura 52.

Figura 52 – Fluxo para tratamento dos dados do sensor de umidade do solo



Fonte: A Autora

4.7 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Após a finalização da montagem do *hardware*, das configurações necessárias e da programação do fluxo no *Node-RED*, iniciou-se a etapa de montagem do protótipo para validação do sistema. Nessa fase, utilizou-se uma estrutura de material plástico dividida em duas partes. A parte superior serviu como suporte para os componentes, isolando-os das demais partes do sistema. Na parte inferior, foi colocado um reservatório de água contendo uma bomba submersa para simular a irrigação. Além disso, um segundo recipiente com solo foi adicionado, permitindo realizar as medições de umidade do solo.

A montagem completa será apresentada a seguir juntamente com os resultados obtidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos após o teste de validação no protótipo desenvolvido. Além disso, são discutidos os fatores que influenciaram nos resultados e os possíveis pontos de melhoria do sistema.

5.1 DESEMPENHO DO SISTEMA

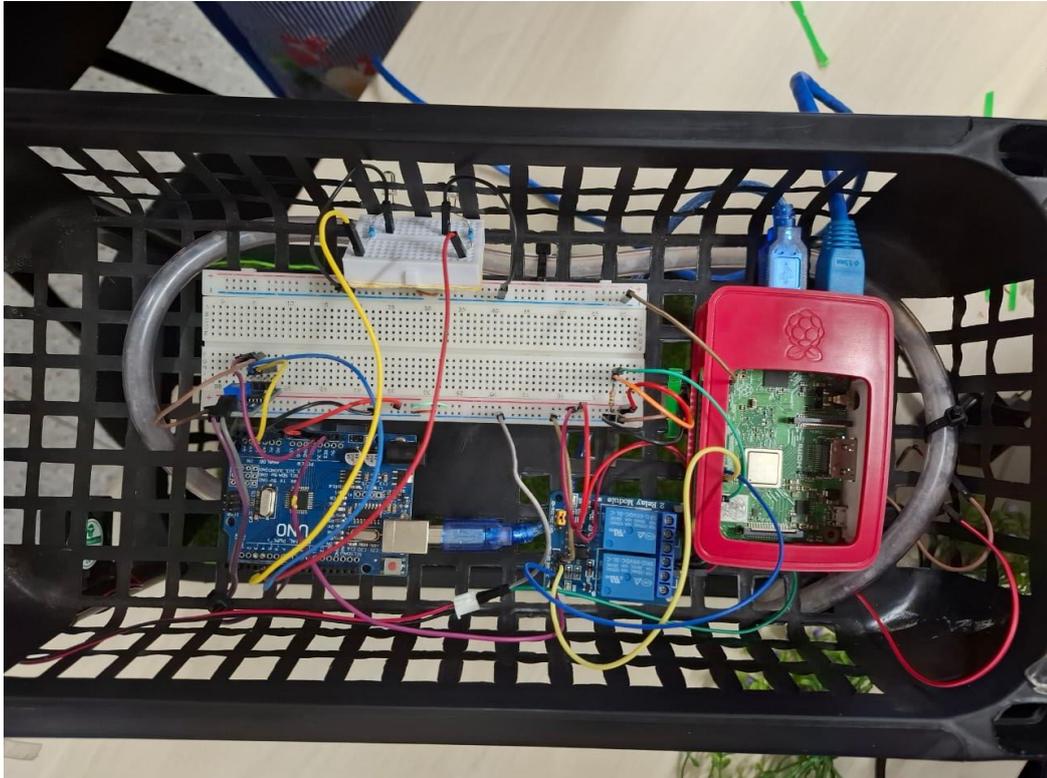
A comunicação entre o Arduino e o *Raspberry Pi* foi realizada via conexão serial, utilizando a porta USB, o que permitiu uma integração eficiente entre os dois dispositivos. O *Raspberry Pi*, responsável pelo processamento e controle, foi conectado ao Arduino, fazendo assim a leitura dos sensores de umidade do solo. A integração mostrou-se eficaz para distribuir as tarefas, com o Arduino lidando com os sensores analógicos e o *Raspberry Pi* centralizando o controle do sistema. A facilidade de comunicação e a compatibilidade entre as plataformas garantiram o bom desempenho do sistema, sem sobrecarregar nenhum dos dispositivos.

Os sensores utilizados no projeto foram conectados diretamente ao *Raspberry Pi* (no caso do DHT22) e ao Arduino (no caso do sensor de umidade do solo). Os dados de temperatura, umidade do ar e umidade do solo foram processados em tempo real, exibidos por meio do *Node-RED* e utilizados para acionar os atuadores. A configuração do nó *rpi-dht22* foi essencial para o correto funcionamento da leitura de temperatura e umidade, enquanto o nó serial permitiu a leitura dos dados do Arduino.

A montagem do *hardware* exigiu uma cuidadosa interligação de sensores, relés e outros componentes. A precisão das leituras mostrou-se satisfatória, porém foi possível identificar que, em determinados momentos, ela foi afetada por ruídos ou falhas na comunicação serial, especialmente em períodos prolongados de operação. Além disso, a montagem em *protoboard* comprometeu a durabilidade do sistema durante os testes de longa duração.

A automação dos atuadores (*cooler* e bomba de água) foi implementada com sucesso através do uso de módulos relé, controlados pelos pinos GPIO do *Raspberry Pi*. O sistema foi configurado para acionar o *cooler* quando a temperatura ultrapassava um valor de referência e para ligar a bomba de água ao detectar baixa umidade no solo. A utilização dos nós *switch* e *trigger* foi essencial para a implementação das regras de controle, permitindo uma automação eficiente e responsiva com base nas leituras dos sensores. O sistema demonstrou uma resposta rápida e precisa às mudanças nas variáveis monitoradas, mantendo as condições ambientais dentro dos limites pré-definidos.

Figura 53 - Hardware para processamento dos dados

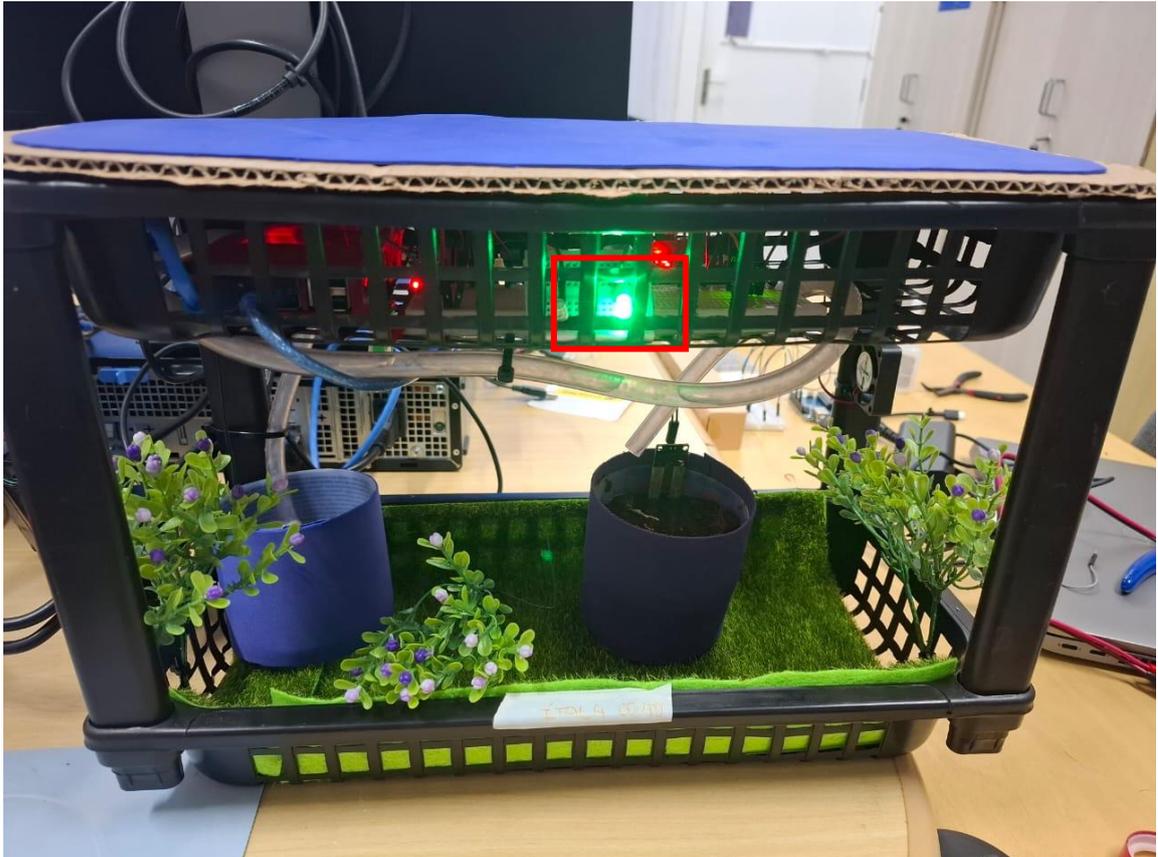


Fonte: A Autora

No entanto, é possível otimizar a resposta dos atuadores utilizando técnicas de controle mais sofisticadas, como o controle PID, disponível no *Node-RED* através de nós específicos. O uso de PID no controle dos atuadores, como o *cooler* e a bomba de água, proporcionaria uma resposta mais suave e gradual, ajustando a saída de forma contínua em vez de simplesmente ligar ou desligar os dispositivos com base em valores fixos. Isso seria especialmente útil em casos em que a temperatura ou umidade flutuam de maneira mais lenta, evitando picos ou quedas abruptas que podem comprometer a estabilidade do sistema.

A capacidade de ajustar o ganho proporcional (P), o tempo integral (I) e o tempo derivativo (D) permitiria sintonizar o sistema para diferentes condições e plantas, oferecendo um nível mais avançado de controle automatizado. Isso resultaria em um controle mais preciso das variáveis ambientais da estufa, melhorando a eficiência energética e prolongando a vida útil dos atuadores, ao reduzir o número de acionamentos bruscos e desnecessários.

Figura 54 - Vista frontal com destaque do LED indicador de umidade



Fonte: A Autora

Figura 55 - Vista lateral com destaque do sensor dht22 e do reservatório de água



Fonte: A Autora

Figura 56 - Vista lateral com destaque do *cooler*

Fonte: A Autora

5.2 USABILIDADE E EFICÁCIA DO NODE RED COMO INTERFACE

O *Node-RED* mostrou-se uma plataforma altamente intuitiva e eficaz para a criação de fluxos que integraram os sensores e atuadores. A interface gráfica simplificou a visualização das variáveis ambientais, permitindo o monitoramento dos dados de temperatura e umidade em tempo real através de gráficos interativos. A utilização de nós como *gauge* e *chart* proporcionou uma experiência de uso satisfatória. Além disso, a configuração dos nós *change* e *split* facilitou o tratamento dos dados antes de serem exibidos nos gráficos. No entanto, em termos de escalabilidade, o *Node-RED* pode apresentar limitações em sistemas maiores ou com mais sensores.

Figura 57 - Dashboard criado no Node-RED para visualização das medições.



Fonte: A Autora

Por meio da visualização no *Node-RED* (Figura 57) foi feita a validação dos dados coletados, o que mostrou as variações de temperatura e umidade ao longo do tempo. Os gráficos gerados pelo sistema permitiram acompanhar em tempo real as condições dentro da estufa e ajustar as ações automáticas conforme necessário. No entanto, a precisão dos sensores poderia ser melhorada com calibrações mais rigorosas, especialmente em ambientes onde grandes variações de temperatura e umidade são esperadas.

5.3 ESCALABILIDADE, CONFIABILIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO

O protótipo foi desenvolvido com componentes de baixo custo, como o *Raspberry Pi* e o Arduino, o que permitiu a criação de uma solução acessível para pequenos agricultores. O custo total do sistema foi mantido baixo, especialmente em comparação com sistemas comerciais de estufas automatizadas. Contudo, a escalabilidade do projeto pode ser limitada pela capacidade do *hardware* escolhido, principalmente em sistemas de estufas maiores ou com uma maior quantidade de sensores e atuadores. A modularidade do projeto, no entanto, permite que novos sensores ou dispositivos sejam integrados de forma relativamente simples, embora isso possa aumentar o custo total.

Para garantir a confiabilidade do sistema em operações de longo prazo, é essencial considerar a durabilidade dos componentes, como os sensores e relés, bem como a estabilidade da comunicação entre o *Raspberry Pi* e o Arduino. A operação contínua pode expor o sistema a falhas de *hardware*, especialmente se não houver um monitoramento constante do estado dos sensores e atuadores. Além disso, a operação prolongada pode requerer a implementação de

mecanismos de recuperação de falhas, como reinicializações automáticas ou redundância em componentes críticos. O uso de protocolos de comunicação robustos, como o SSH e VNC para acesso remoto, mostrou-se útil para monitoramento e ajustes sem a necessidade de intervenção física frequente.

6 CONCLUSÃO

Como pode ser visto nos capítulos anteriores todos os objetivos deste trabalho foram atendidos. O primeiro objetivo específico, referente ao desenvolvimento do protótipo de *hardware* para aquisição de dados em uma estufa, foi alcançado utilizando o *Raspberry Pi 3* e sensores para monitorar as variáveis ambientais essenciais como temperatura e umidade.

O segundo objetivo específico, que tratava da implementação do sistema de gerenciamento, também foi cumprido. O *software* desenvolvido processa os dados dos sensores e exibe as informações em tempo real por meio de uma interface gráfica interativa no *Node-RED*, além de realizar o controle automatizado dos atuadores. O uso do *Node-RED* apresentou vantagens significativas, como sua interface intuitiva e a facilidade de integração com sensores e atuadores, permitindo a visualização e o controle de forma simplificada.

O terceiro objetivo específico, relacionado à validação do sistema em uma estufa real, também foi realizado com sucesso. Os testes realizados no protótipo demonstraram a eficácia na coleta de dados e no controle automatizado do ambiente da estufa, podendo assim atender às necessidades de pequenos produtores.

Apesar dos resultados satisfatórios, há espaço para melhorias no trabalho desenvolvido. A implementação de um controle PID no *Node-RED* pode otimizar o funcionamento dos atuadores, proporcionando uma resposta mais suave e precisa. Além disso, a robustez do sistema pode ser aprimorada para garantir maior confiabilidade em operações prolongadas e minimizar interferências na comunicação serial. A escalabilidade do projeto também pode ser explorada, adaptando-o para estufas de maior porte ou integrando novos sensores e funcionalidades.

Outra melhoria significativa seria a integração de um banco de dados, como o MySQL, ao *Node-RED*. Isso permitiria o armazenamento estruturado dos dados coletados, viabilizando o acesso remoto e histórico das informações da estufa. Com a adoção de um banco de dados, o sistema poderia ser acessado e monitorado por múltiplos dispositivos remotamente, proporcionando maior flexibilidade e controle para o usuário, além de facilitar a análise de dados a longo prazo. Isso abriria a possibilidade de desenvolvimento de novas funcionalidades, como relatórios automáticos e previsões baseadas em dados históricos.

REFERÊNCIAS

- [1] “Caminho até a Indústria 4.0: os destaques das revoluções industriais,” TOTVS, 11 Abril 2019. [Online]. Available: <https://avozdaindustria.com.br/ind-stria-40-totvs/caminho-ind-stria-40-os-destaques-das-revolu-es-industriais>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [2] Jacto, “Agricultura 4.0: tudo o que precisa saber,” Jacto, 13 novembro 2018. [Online]. Available: <https://blog.jacto.com.br/agricultura-4-0-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. [Acesso em 06 novembro 2019].
- [3] “Lista dos 30 termos mais utilizados sobre Indústria 4.0,” TOTVS, 11 Abril 2019. [Online]. Available: <https://avozdaindustria.com.br/ind-stria-40-totvs/lista-dos-30-termos-mais-utilizados-sobre-ind-stria-40>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [4] D. Bittencourt, “Agricultura familiar, desafios e oportunidades rumo à inovação,” Embrapa, 23 Janeiro 2018. [Online]. Available: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31505030/artigo---agricultura-familiar-desafios-e-oportunidades-rumo-a-inovacao>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [5] E. d. Freitas, “Importância dos pequenos produtores no Brasil,” [Online]. Available: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/importancia-dos-pequenos-produtores-no-brasil.htm>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [6] “Estufas Automatizadas E A Alta Tecnologia Na Produção De Alface,” Strider, 03 Outubro 2019. [Online]. Available: <https://blog.strider.ag/estufas-automatizadas-e-a-alta-tecnologia-na-producao-de-alface/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [7] P. Rodrigues, “Software projeta estufa e materiais para cultivo protegido de hortaliças,” Embrapa, 20 Outubro 2015. [Online]. Available: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/6692245/software-projeta-estufa-e-materiais-para-cultivo-protegido-de-hortalicas>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [8] P. Rodrigues, “Agricultura Protegida,” *Hortaliças em Revista*, pp. 6-9, 2015.
- [9] F. C. Bezerra, “Produção de Mudas e Hortaliças em Ambiente Protegido,” Dezembro 2003.
- [10] A. C. L. Nogueira e A. Schukler, “Os Pequenos Produtores Rurais e a Sustentabilidade,” Rádio e Televisão Record S.A, [Online]. Available:

- <https://www.portaldoagronegocio.com.br/artigo/os-pequenos-produtores-rurais-e-a-sustentabilidade>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [11] F. Motta, “5 Dificuldades e problemas na agricultura familiar Brasileira.,” Elysios, 15 Agosto 2018. [Online]. Available: <https://elysios.com.br/blog/5-dificuldades-e-problemas-na-agricultura-familiar-brasileira/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [12] M. G. Côrrea, E. Mesquita e R. Pereira, “As dificuldades do pequeno agricultor para aderir à produção certificada,” 02 Novembro 2018. [Online]. Available: <http://www.p22on.com.br/2018/11/02/as-dificuldades-do-pequeno-agricultor-para-aderir-producao-certificada/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [13] “Introdução: O que é gerenciamento da informação?,” 11 Outubro 2017. [Online]. Available: <https://netscandigital.com/blog/gerenciamento-da-informacao/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [14] O. L. D. Santos, J. D. S. M. Júnior e M. R. M. Neves, “Sistema de Controle de Temperatura para uma Estufa com Monitoramento via Aplicativo,” *RCT - Revista de Ciência e Tecnologia*, vol. 3, 2017.
- [15] A. L. d. A. Junior, *Sistema de Monitoramento e Climatização de Estufa de Pequeno Porte em um Contexto Doméstico*, Brasília - DF, 2016.
- [16] J. F. Loureiro, R. C. Brito e F. T. E. Favarim, “Automação de estufa agrícola integrando *hardware* livre e controle remoto pela Internet,” *Revista de Computação Aplicada ao Agronegócio*, vol. 1, pp. 38-55, Junho 2018.
- [17] D. G. Fernandes, E. Preuss e T. L. d. Silva, *Sistema Automatizado de Controle de Estufas para Cultivo de Hortaliças*, Frederico Westphalen - RS, 2017.
- [18] L. B. Santos, *Sistema Automatizado para Controle de Umidade e Temperatura de Morangos Aplicados aos Pequenos Produtores*, Brasília - DF, 2014.
- [19] “Agricultura,” 29 Setembro 2019. [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Agricultura>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [20] A. Ribeiro, “O que é Agricultura,” [Online]. Available: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-agricultura.htm>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [21] “PermaculturaRJ,” [Online]. Available: <http://permaculturarj.blogspot.com/2012/03/morangos-do-sitio.html>. [Acesso em 07 Novembro 2019].

- [22] *LEI N° 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006*, Brasília, DF: Diário Oficial da União.
- [23] “Agricultura Familiar,” 7Graus, 09 Fevereiro 2018. [Online]. Available: <https://www.todamateria.com.br/agricultura-familiar/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [24] D. Miorandi, S. Sicari, F. d. Pellegrini e I. Chlamtac, “Internet of things: Vision, applications and research challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 10, pp. 1497-1516, 2012.
- [25] J. Morgan, “A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things',” 23 Maio 2014. [Online]. Available: A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things'. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [26] B. Rodrigues, D. Souza, M. d. M. Botelho e F. S. Parreiras, “Agricultura 4.0: O mundo digital revoluciona o campo,” *Fonte*, n° 20, pp. 67-75, 2018.
- [27] CanalTi, “RFID (O que é, como funciona, utilização),” 08 Novembro 2017. [Online]. Available: <https://www.canalti.com.br/redes-de-computadores/rfid-o-que-e-como-funciona-utilizacao/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [28] T. Harwood, “IoT Technology Guidebook,” 01 Novembro 2019. [Online]. Available: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-technologies/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [29] E. Alecrim, “Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona?,” 30 Janeiro 2008. [Online]. Available: <https://www.infowester.com/bluetooth.php>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [30] “Introdução à tecnologia NFC (Near Field Communication),” [Online]. Available: <https://epxx.co/artigos/nfc.html>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [31] O. Almeida, “Easy IOT,” 29 Abril 2019. [Online]. Available: <https://www.easyiot.com.br/tecnologia-lora/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [32] Teleco: Inteligência em Telecomunicações, “Redes sem Fio: Comparação entre os protocolos,” [Online]. Available: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredespbaidd/pagina_6.asp. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [33] L. Tang e N. Wang, “Future internet: The Internet of Things,” *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE)*, 2010.

- [34] Atech: Grupo Embraer, “Entenda como IoT pode ser aplicado no setor de agribusiness,” 05 Fevereiro 2019. [Online]. Available: <https://www.atech.com.br/blog/entenda-como-iot-pode-ser-aplicado-no-setor-de-agribusiness/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [35] F. P. Neves, “Agricultura 4.0 - A produção digital e o novo modelo de negócio agrícola,” 11 Outubro 2017. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/codaf/agricultura-40-a-producao-digital-e-o-novo-modelo-de-negocio-agrcola-prof-fabiano-neves>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [36] J. Abrantes e J. T. d. S. Filho, “A viabilidade da agricultura urbana através da hidroponia e do associativismo/cooperativismo,” [Online]. Available: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/430_Segetambiental.pdf. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [37] W. G. Hopkins, em *Photosynthesis and Respiration*, Infobase Publishing, 2006.
- [38] Z. Cermeño, “CONSTRUCCIÓN DE INVERNADEROS,” Madrid, Grupo Mundi Prensa, 2005.
- [39] CGE: Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo, “Umidade Relativa do Ar,” [Online]. Available: <http://www.cgesp.org/v3/umidade-relativa-do-ar.jsp>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [40] J. U. T. BRANDAO FILHO e O. CALLEGARI, “O Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido,” *Informe Agropecuário*, vol. 20, nº 200/201, pp. 64-68, 07 Dezembro 1999.
- [41] A. B. d. Santos e R. G. Barreto, “PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTUFA,” Curitiba, 2012.
- [42] V. Estevão, “Como funciona uma estufa de plantas?,” [Online]. Available: <https://www.efeitojoule.com/2008/05/vestibular-faculdades-funciona-estufa.html>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [43] “Efeito de Estufa,” Tripod, [Online]. Available: http://tipospoluicao.tripod.com/Poluicao_atmosferica/efeito_de_estufa.htm. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [44] A. Perdígones, S. Benedicto e J. L. Garcia, “Automatização de estufas:,” *Agrotec: Revista técnico-científica agrícola*, pp. 78-81, Setembro 2013.

- [45] Pot, “Smart Greenhouse Remote Monitoring Systems,” Circular Economy, [Online]. Available: <https://www.postscapes.com/smart-greenhouses/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [46] CPT - Centro de Produções Técnicas, “Modelo ideal de estufa para a agricultura orgânica,” [Online]. Available: <https://www.cpt.com.br/cursos-agricultura-organica/artigos/modelo-ideal-de-estufa-para-a-agricultura-organica>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [47] Tropical Estufas , “Cage Agrícola 6,25x14m,” [Online]. Available: <https://tropicalestufas.com.br/produto/cage-agricola-625x12m/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [48] Nexus Corporation , “ESTUFA CAPELA / PARA JARDINAGEM / COM ESTRUTURA DE ALUMÍNIO / EM VIDRO,” [Online]. Available: <https://www.agriexpo.online/pt/prod/nexus-corporation/product-178381-38990.html>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [49] “Cidade Nova,” [Online]. Available: https://www.cidadenova.org.br/editorial/inova/1528-com_estufas_inteligentes_empresa_promete. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [50] “Pinterest,” [Online]. Available: <https://www.pinterest.ca/pin/836754805741400988/?autologin=true>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [51] “Hortas Urbanas,” [Online]. Available: <https://vegepod.pt/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [52] K. Ogata, Engenharia de Controle Moderno, São Paulo: Pearson, 2011.
- [53] M. McRoberts, Arduino Básico, São Paulo: Novatec, 2011.
- [54] “ARDUINO UNO R3 WITH ATMEGA328P,” Enhanced Radio Devices, [Online]. Available: <https://inductivetwig.com/products/arduino-uno-r3-with-atmega328p>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [55] “Raspberry Pi,” Baú da Eletrônica, [Online]. Available: <https://www.baudaeletronica.com.br/iot/raspberry-pi>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [56] “Raspberry Pi,” Wikipédia, 16 Maio 2019. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi#cite_note-faq2-1. [Acesso em 07 Novembro 2019].

- [57] D. Matos, “Aprendendo Internet of Things com Raspberry Pi,” 05 Janeiro 2019. [Online]. Available: <http://www.cienciaedados.com/aprendendo-internet-of-things-com-raspberry-pi/>. [Acesso em 08 Novembro 2019].
- [58] L. Orsini, “ReadWrite,” 07 Maio 2014. [Online]. Available: <https://readwrite.com/2014/05/07/arduino-vs-raspberry-pi-projects-diy-platform/>. [Acesso em 08 Novembro 2019].
- [59] Raspberry PI, [Online]. Available: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>. [Acesso em 08 Novembro 2019].
- [60] “Raspberry Pi 3 Model B+,” RASPBERRY PI FOUNDATION, [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [61] Eletrogate, “Módulo sensor de umidade do solo,” Eletrogate, [Online]. Available: [https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-umidade-de-solo?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=\[MC4\]_\[G\]_\[PMax\]_ArduinoRoboticaSensoresModuloss&utm_content=&utm_term=&gad_sou](https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-umidade-de-solo?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=[MC4]_[G]_[PMax]_ArduinoRoboticaSensoresModuloss&utm_content=&utm_term=&gad_sou). [Acesso em 26 09 2024].
- [62] “Guide for Soil Moisture Sensor YL-69 or HL-69 with Arduino,” Random Nerd Tutorials, [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/guide-for-soil-moisture-sensor-yl-69-or-hl-69-with-the-arduino/>. [Acesso em 26 09 2024].
- [63] Thomas Liu, “Datasheet,” [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. [Acesso em 26 09 2024].
- [64] Eletrogate, “Sensor de Umidade e Temperatura DHT22 / Am2302,” [Online]. Available: [https://www.eletrogate.com/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=\[MC4\]_\[G\]_\[PMax\]_ArduinoRoboticaSensoresModuloss&utm_content=&utm_t](https://www.eletrogate.com/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=[MC4]_[G]_[PMax]_ArduinoRoboticaSensoresModuloss&utm_content=&utm_t). [Acesso em 26 09 2024].
- [65] Adafruit Industries, “Digikey,” [Online]. Available: https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/2516/3368_Web.pdf. [Acesso em 26 09 2024].

- [66] Mercado Livre, “Micro Ventilador Cooler 5v 60x60x25mm,” [Online]. Available: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3641058555-micro-ventilador-cooler-5v-60x60x25mm-_JM?matt_tool=83149186&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303413646&matt_ad_group_id=125984292437&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_cre. [Acesso em 26 09 2024].
- [67] Maker Hero, “Mini Bomba D’água Submersiva 3-6V,” [Online]. Available: <https://www.makehero.com/produto/mini-bomba-dagua-submersiva-3-6v/>. [Acesso em 26 09 2024].
- [68] Eletrogate, “Mini Bomba Submersível p/ Água,” [Online]. Available: [https://www.eletrogate.com/mini-bomba-submersa-5v-p-agua?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=\[MC4\]_\[G\]_\[PMax\]_Categorias&utm_content=&utm_term=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwjNS3.](https://www.eletrogate.com/mini-bomba-submersa-5v-p-agua?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=[MC4]_[G]_[PMax]_Categorias&utm_content=&utm_term=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwjNS3.) [Acesso em 26 09 2024].
- [69] Maker Hero, “Módulo Relé 2 Canais 5V WiFi IoT ESP8266,” [Online]. Available: <https://www.makehero.com/produto/modulo-rele-2-canais-5v-wifi-iot-esp8266/#tab-blogrelacionados.> [Acesso em 26 09 2024].
- [70] Eletrogate, “Módulo Relé 2 Canais 5V com Optoacoplador,” [Online]. Available: <https://www.eletrogate.com/modulo-rele-2-canais-5v.> [Acesso em 26 09 2024].
- [71] OpenJS Foundation, “Node Red,” [Online]. Available: <https://nodered.org/>. [Acesso em 08 Novembro 2019].
- [72] N. Oliveira, “Por que Node-RED para IOT ?,” 13 Fevereiro 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/@netoolii/por-que-node-red-para-iot-41a4ab170c56.> [Acesso em 08 Novembro 2019].
- [73] GitHub, “Node Red,” [Online]. Available: <https://github.com/node-red/node-red.> [Acesso em 08 Novembro 2019].
- [74] J. R. Celestrini, “Desenvolvimento de aplicações integrando serviços web, fontes de dados e dispositivos IoT com o uso do Node-RED,” 2019. [Online]. Available: <http://inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes%20de%20Sensores%20sem%20Fio/Minicursos%20Node-RED.pdf.> [Acesso em 2019].

- [75] Node-RED, “Working with messages,” [Online]. Available: <https://nodered.org/docs/user-guide/messages>. [Acesso em 06 09 2024].
- [76] Node-RED, “node-red-dashboard,” [Online]. Available: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>. [Acesso em 26 09 2024].
- [77] FlowFuse, “Change,” 05 08 2024. [Online]. Available: <https://flowfuse.com/node-red/core-nodes/change/>. [Acesso em 26 09 2024].
- [78] FlowFuse, “Inject,” 05 08 2024. [Online]. Available: <https://flowfuse.com/node-red/core-nodes/inject/>. [Acesso em 26 09 2024].
- [79] Node-RED, “node-red-contrib-dht-sensor,” [Online]. Available: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-dht-sensor>. [Acesso em 26 09 2024].
- [80] Node-RED, “node-red-node-serialport,” [Online]. Available: <https://flows.nodered.org/node/node-red-node-serialport>. [Acesso em 26 09 2024].
- [81] FlowFuse, “Split,” [Online]. Available: <https://flowfuse.com/node-red/core-nodes/split/>. [Acesso em 26 09 2024].
- [82] FlowFuse, “Switch,” 05 08 2024. [Online]. Available: <https://flowfuse.com/node-red/core-nodes/switch/>. [Acesso em 26 09 2024].
- [83] FlowFuse, “Trigger,” [Online]. Available: <https://flowfuse.com/node-red/core-nodes/trigger/>. [Acesso em 26 09 2024].
- [84] Raspberry Pi, “Raspberry Pi OS,” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/software/>. [Acesso em 06 09 2024].
- [85] “Downloads,” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>. [Acesso em 06 09 2024].
- [86] Embrapa, “Trajetória da Agricultura Brasileira,” Embrapa, 2018. [Online]. Available: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [87] “Agricultura Familiar: Linha de Pesquisa,” UFV, [Online]. Available: http://arquivo.ufv.br/dft/milho/agricultura_familiar.htm. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [88] Embrapa, “Agricultura Familiar no Brasil,” Embrapa, [Online]. Available: <https://www.embrapa.br/aiaf-14-agricultura-familiar-no-brasil>. [Acesso em 06 Novembro 2019].

- [89] L. Magalhães, “Agricultura Orgânica,” 7Graus, 06 Dezembro 2018. [Online]. Available: <https://www.todamateria.com.br/agricultura-organica/>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [90] Associação de Agricultura Orgânica, “Agricultura Orgânica,” [Online]. Available: <http://www.aao.org.br/aao/agricultura-organica.php>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [91] Agência Brasil, “Produção Orgânica está em expansão no país,” 29 Agosto 2018. [Online]. Available: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-08/producao-organica-esta-em-expansao-no-pais>. [Acesso em 06 Novembro 2019].
- [92] Sebrae, “Oportunidades da horta orgânica em estufa,” 21 Abril 2014. [Online]. Available: <https://respostas.sebrae.com.br/oportunidades-da-horta-organica-em-estufa/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [93] Globo Comunicação e Participações S.A., “O que é e como usar o MySQL?,” 25 Abril 2012. [Online]. Available: <https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/04/o-que-e-e-como-usar-o-mysql.html>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [94] “ESTUFA CRISTAL ANTI UV,” [Online]. Available: <http://masterborsp.com.br/lonas/lonas-para-estufas/estufa-cristal-anti-uv/74/>. [Acesso em 07 Novembro 2019].
- [95] Node-RED, “The Core Nodes,” [Online]. Available: <https://nodered.org/docs/user-guide/nodes#:~:text=Template-,Inject,payload%20and%20topic%20properties%20set..>. [Acesso em 26 09 2024].