



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE
E AUTOMAÇÃO - CECAU**



DANIEL HENRIQUE SILVEIRA SIRIO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE ESTUFAS
PARA CULTIVO DE TEMPEROS**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2022

DANIEL HENRIQUE SILVEIRA SIRIO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE ESTUFAS
PARA CULTIVO DE TEMPEROS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Profa. Adrielle de Carvalho Santana, Dra.

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
2022**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S619s Sirio, Daniel Henrique Silveira.
Sistema de monitoramento e controle de estufas para cultivo de temperos. [manuscrito] / Daniel Henrique Silveira Sirio. - 2022.
38 f.: il.: color..

Orientadora: Profa. Dra. Adrielle de Carvalho Santana.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Controle e Automação .

1. Estufas para cultivo - Estufas automáticas. 2. Cultivos agrícolas - Especiarias. 3. Controle automático. 4. Variações ambientais. I. Santana, Adrielle de Carvalho. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniel Henrique Silveira Sirio

Sistema de Monitoramento e Controle de Estufas para Cultivo de Temperos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação

Aprovada em 25 de fevereiro de 2022

Membros da banca

Profa. Dra. Adrielle de Carvalho Santana – Orientadora - UFOP

Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo - Professor Convidado - UFOP

Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Professor Convidado - UFOP

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 11/03/2022



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/03/2022, às 09:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0285454** e o código CRC **CCDAB93C**.

Dedico este trabalho à Deus, por iluminar meu caminho e à minha família que esteve comigo em minha caminhada, principalmente ao meu avô Guilherme, maior fonte de inspiração e para realização desse estudo, aos meus pais Regina e Eduardo e meu irmão Pedro que me apoiaram e confiaram em mim e à Bia que sempre esteve ao meu lado.

RESUMO

Esta pesquisa demonstra, por meio de um estudo a respeito do tema, bem como com a elaboração de um protótipo para exemplificar a teoria apresentada, os benefícios de se realizar o cultivo de plantas em estufas automáticas. Para isso, é apresentada uma análise de como as variações ambientais exercem influência primordial nas plantações, demonstrando a maneira em que uma estufa automática pode contribuir minimizando a interferência dessas variáveis. Posteriormente, é realizada uma experiência com cultivo específico de salsa crêpe e cebolinha, onde são realizados testes práticos do funcionamento do sistema. Esses testes práticos ocorrem por meio do protótipo construído, que foi desenvolvido com a construção da estrutura da estufa e junção dos componentes necessários para seu controle e automatização, conforme será detalhado no decorrer do trabalho. Após realização dos testes, os resultados obtidos são demonstrados, indicando que os processos de irrigação e de controle da umidade do ar foram como esperado e que precisam ser aprimorados os componentes de controle de temperatura para atingir o objetivo pretendido que é o crescimento saudável e acelerado das plantas. Por fim, a conclusão é apresentada, assinalando os benefícios de se realizar um cultivo nesse microambiente controlado, que vão desde um produto com maior qualidade até uma redução do impacto ambiental e revelando os planejamentos futuros e melhorias a serem realizadas no protótipo, com a adequação de componentes e utilização de aplicação *Web* para controle remoto e armazenamento de dados.

Palavras-chaves: Estufas para cultivo - Estufas automáticas. Cultivos agrícolas - Especiarias. Controle automático. Variações ambientais.

ABSTRACT

This research demonstrates, through a study on the subject, as well as with the elaboration of a prototype to exemplify the presented theory, the benefits of carrying out the cultivation of plants in automatic greenhouses. An analysis is presented of how environmental variations exert a primordial influence on plantations, demonstrating the way in which an automatic greenhouse can contribute by minimizing the interference of these variables. Subsequently, an experiment is carried out with specific cultivation of curly parsley and chives, where practical tests of the functioning of the system are carried out. These practical tests take place through the built prototype, which was developed with the construction of the greenhouse structure and the combination of the necessary components for its control and automation, as will be detailed in the course of the work. After carrying out the tests, the results obtained are shown, indicating that the irrigation and air humidity control processes were as expected and that the temperature control components need to be improved to achieve the intended objective, which is healthy and accelerated growth of the plants. Finally, the conclusion is presented, pointing out the benefits of carrying out a cultivation in this controlled microenvironment, ranging from a higher quality product to a reduction in the environmental impact and revealing future plans and improvements to be carried out in the prototype, with the adequacy of components and use of Web application for remote control and data storage.

Key-words: Greenhouses for cultivation - Automatic greenhouses. Agricultural Crops - Spices. Automatic control. Environmental variations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Lâmpada de vapor de sódio (HPS).	18
Figura 2 – Lâmpada fluorescente.	18
Figura 3 – Fita de LED.	19
Figura 4 – <i>Cooler</i> .	21
Figura 5 – Pastilha de Peltier.	21
Figura 6 – Arduino Mega.	22
Figura 7 – Estrutura da estufa composta por tubos e conexões PVC.	23
Figura 8 – Fita de LED <i>full spectrum</i> .	24
Figura 9 – Vaso autoirrigável.	25
Figura 10 – Esquema de irrigação.	25
Figura 11 – Arduino Uno.	26
Figura 12 – Sensor de temperatura e umidade do ar - DHT11.	27
Figura 13 – Sensor de nível do tipo boia.	27
Figura 14 – Sensor de umidade do solo - Higrômetro.	28
Figura 15 – <i>Display</i> LCD 20x4.	29
Figura 16 – Sistema de refrigeração - parte interna.	29
Figura 17 – Sistema de exaustão.	30
Figura 18 – Representação do circuito.	31
Figura 19 – Protótipo da estufa finalizado.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HPS	Lâmpadas de sódio de alta pressão/High Pression Sodium
LCD	Display de Cristal Líquido/Liquid Crystal Display
LED	Diodo Emissor de Luz/Light Emitting Diode
MDF	Fibras de Média Densidade/Medium Density Fiberboard
NTC	Coefficiente Negativo de Temperatura/Negative Temperature Coefficient
PVC	Cloreto de Polivinil/Polyvinyl Chloride
RTC	Relógio de Tempo Real/Real Time Clock

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contextualização	12
1.2	Objetivos geral e específicos	13
1.3	Justificativa do trabalho	13
1.4	Estrutura do trabalho	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Agricultura	15
2.2	Estufas	16
2.2.1	<i>Estufas automatizadas</i>	17
2.3	Iluminação	17
2.3.1	<i>Lâmpada de vapor de sódio (HPS)</i>	17
2.3.2	<i>Lâmpada fluorescente</i>	18
2.3.3	<i>Lâmpada LED</i>	19
2.4	Sensores	19
2.4.1	<i>Sensor de nível</i>	19
2.4.2	<i>Sensor de temperatura e umidade</i>	20
2.4.3	<i>Sensor de umidade do solo</i>	20
2.5	Atuadores	20
2.5.1	<i>Coolers</i>	20
2.5.2	<i>Pastilha de Peltier</i>	21
2.6	Microcontroladores	22
2.6.1	<i>Arduino</i>	22
3	DESENVOLVIMENTO	23
3.1	Estrutura	23
3.1.1	<i>Tubos e conexões PVC</i>	23
3.1.2	<i>Compensado de MDF</i>	23
3.1.3	<i>Papelão</i>	24
3.1.4	<i>Mylar</i>	24
3.2	Iluminação	24
3.3	Irrigação	25
3.4	Arduino Uno	26
3.5	Sensoriamento	26
3.5.1	<i>DHT11</i>	26
3.5.2	<i>Sensor de nível do tipo boia</i>	27

3.5.3	<i>Sensor de umidade do solo</i>	28
3.6	<i>Display</i> de cristal líquido 20x4	28
3.7	Sistema de refrigeração	29
3.8	Sistema de circulação de ar	30
3.9	Representação do circuito	31
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	32
4.1	Estrutura	32
4.2	Temperatura	33
4.3	Umidade do ar	33
4.4	Umidade do solo e irrigação	33
4.5	Iluminação	34
4.6	Programação	34
4.7	Desenvolvimento das plantas	34
5	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As variações climáticas são os grandes vilões do cultivo de plantas, seja em uma plantação em larga escala ou em uma pequena horta, influenciando diretamente no desenvolvimento do vegetal e, também, no surgimento de pragas e doenças.

Nas palavras de [Guedes e Sousa \(2016\)](#), "Muitas plantações necessitam de cuidados especiais durante o cultivo, cuidados como controle de pragas, temperatura e umidade. Entretanto, a variação climática em muitas regiões acabam afetando o desenvolvimento e até mesmo a perda total da produção".

Estufas são estruturas fechadas nas quais se pode controlar todo o ambiente interno para as necessidades de cada espécie de planta. Pode-se controlar a temperatura, umidade, luminosidade, pH e nutrientes do solo, fotoperíodo, entre outros fatores, o que leva ao controle de pragas e doenças e ao crescimento sadio e natural das plantas.

Segundo [Fernandes \(2017\)](#), "[...] as estufas permitem o controle da temperatura, umidade, luminosidade e controle eficiente de pragas e doenças, podendo se adaptar a diversos tipos de cultivo, permitindo o controle do microclima adequado durante todas as estações do ano". Em virtude disso, o cultivo em estufa se mostra de grande importância.

É ressaltado por [Zolnier \(2001\)](#), que é possível otimizar o cultivo em estufa por meio do controle das variáveis de ambiente e da automação dos processos sob o seu microclima, não havendo contato com agentes externos em seu interior, fazendo com que o ambiente se encontre livre de pragas e doenças. Com isso, não é necessário o uso de agrotóxicos no plantio e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas irá acelerar, tornando as colheitas mais frequentes e proporcionando maior retorno financeiro para quem se utiliza da plantação como sustento.

Além disso, "[...] a utilização de uma estufa automatizada é de grande importância para a otimização do cultivo, pois a interferência humana será mínima e dessa forma o clima no interior da estufa estará adaptado rigorosamente às condições necessárias para o melhor desenvolvimento da plantação"([GUEDES; SOUSA, 2016](#)).

Diante da possibilidade de se controlar todo o microclima da estufa de forma automática, torna-se viável cultivar diversas espécies, independente do clima da região onde ela está inserida e sem necessidade de conhecimento extremamente aprofundado de quem está realizando as plantações. Ademais, a ausência de agrotóxicos durante o plantio faz com que o cultivo seja sustentável, não degradando o meio ambiente, nem contaminando lençóis freáticos. Em conseqüência, é gerado um produto final mais saudável para consumo, além de mais benéfico para o

ambiente (JUNIOR, 2016).

O presente estudo exemplifica, por meio de um protótipo de estufa automatizada, os benefícios de se realizar o cultivo em ambiente controlado. Esses benefícios se estendem desde a qualidade do produto final, até a sustentabilidade ocasionada pela não utilização de agrotóxicos que prejudicam o solo e degradam o meio ambiente e matam animais que não são o alvo, como as abelhas.

1.2 Objetivos geral e específicos

Tem-se como objetivo geral desenvolver um protótipo de estufa com um sistema de monitoramento e controle com foco no desenvolvimento de plantas saudáveis e livres de agrotóxicos, seja para consumo próprio ou para quem exerce atividade laborativa nesse ramo.

Como objetivos específicos almeja-se:

- Realizar testes práticos, por meio da plantação de salsa crespa e cebolinha, para comprovação de funcionamento do sistema;
- Realizar o controle da temperatura, umidade do ar e da iluminação, para manutenção do microambiente no interior da estufa;
- Realizar o monitoramento da umidade do solo e do nível de água, para controle manual da água do sistema de irrigação.

1.3 Justificativa do trabalho

Em virtude das dificuldades enfrentadas no plantio, tais como aumento da instabilidade climática, utilização de agrotóxicos para controle de pragas e até mesmo manter um padrão de cuidado diário requerido, uma estufa automatizada é de grande utilidade para quem labora na área. Por meio do controle das variáveis climáticas, é possível criar o microclima de acordo com as especificidades da cultura. Com isso, a demanda do produtor diminui e a eficiência aumenta, com elevação da qualidade do produto. Essa qualidade beneficia também os consumidores, que adquirem produtos saudáveis e livres de agrotóxicos. Dessa forma, esse cultivo torna-se inclusive mais lucrativo, considerando que o clima possui grande influência no desenvolvimento das plantas. Assim, com a importância certa dos benefícios apontados, justifica-se a realização deste trabalho.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos. No Capítulo 1, encontra-se a apresentação do problema e uma possível solução, além de apresentar os objetivos propostos. O Capítulo 2 consiste na explicação sobre as áreas que abrangem o projeto e que podem influenciar na

solução dos objetivos propostos. No Capítulo 3 é apresentado o desenvolvimento do protótipo e a parte teórica que será utilizada como base para o experimento, explicando como são realizados os procedimentos e análise. No Capítulo 4 são discutidas as observações obtidas nos testes práticos. Por fim, no Capítulo 5 são explicitadas as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Agricultura

A agricultura pode ser definida como a arte de cultivar o solo, abrangendo diversas técnicas para o plantio em geral. Seu surgimento e constantes estudos ao longo do tempo contribuíram de maneira significativa para a evolução dos seres humanos.

É importante ressaltar a importância dessa atividade produtiva, pois, atualmente, é ela que possibilita o sustento alimentar da sociedade. Além disso, a agricultura também engloba fins comerciais. Hoje, no Brasil, o setor do agronegócio é extremamente importante, sendo crucial para a movimentação da economia no país.

Cuidados especiais com temperatura, umidade, controle de pragas, entre outros, durante o cultivo de inúmeros tipos de plantações são necessários. No entanto, o desenvolvimento das culturas e até uma perda total da produção vem sendo afetada pelas variações climáticas em diversas regiões (GUEDES; SOUSA, 2016).

Tendo isso em vista, faz-se necessário explicitar alguns fatores que integram e influenciam diretamente esse cultivo da terra.

O solo é elemento natural indispensável para a agricultura, por se tratar de recurso exaurível renovável essencial para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Um solo é considerado fértil quando garante o fornecimento de grandes quantidades de água e nutrientes para as plantas. Existe também o solo infértil, que apresenta escassez no fornecimento dos recursos citados. No entanto, o uso da irrigação e uma boa correção do solo podem suprir essa carência, auxiliando no crescimento e desenvolvimento do cultivo.

Em relação à irrigação, é importante evidenciar que ela pode ser realizada de diversas formas, como exemplo, pode-se citar a irrigação por aspersão, que consiste em simular uma chuva artificial em determinada área e o solo faz a absorção das gotículas. Também existe a fertirrigação, na qual é preparada uma solução de água e fertilizantes para a irrigação (SANTOS; BARRETO, 2012). Além disso, tem-se a irrigação localizada, podendo ser realizada por meio de sistema de gotejamento ou micro aspersão, que são eficientes e demandam baixa utilização de água e energia. Existem também os vasos autoirrigáveis, que consiste em um vaso com um recipiente logo abaixo contendo água e ligado por uma corda que se ramifica pelo solo, esta é responsável pela condução da água, mantendo o solo úmido.

Ademais, as constantes variações climáticas também influenciam diretamente na agricultura, podendo impactar no crescimento e desenvolvimento do cultivo em diversos fatores, sendo alguns deles: a fertilidade dos solos, alterando o seu equilíbrio químico, físico e biológico; a disponibilidade de água, aumentando ou diminuindo o volume de chuvas; e a fisiologia e mor-

fologia das plantas, tornando-as mais propícias à contaminação por pragas e doenças (GHINI, 2006).

2.2 Estufas

As estufas são estruturas construídas com o intuito de propiciar um ambiente favorável para o desenvolvimento do cultivo. Por meio dessas estruturas, as plantações ficam protegidas das oscilações climáticas e de outros fenômenos naturais que são prejudiciais ao seu desenvolvimento.

A maior vantagem das estufas é, portanto, proporcionar a criação de microambientes com condições de temperatura, umidade e luminosidade ideais para o que estiver sendo cultivado, o que é extremamente favorável para a nutrição e desenvolvimento da plantação.

O conceito e os primeiros registros da utilização das estufas como forma de cultivo existe há muitos anos, como explica o autor Guilherme Henrique Aquino:

Durante o século XIII agricultores italianos começaram a utilizar a primeira estufa moderna e o conceito de casas de vegetação se espalhou rapidamente na Europa e em locais com o interesse de proteger as plantas do inverno rigoroso. Em pouco tempo esta técnica de cultivo já podia ser encontrada em qualquer parte do mundo. Ao longo do tempo foram surgindo novos tipos e modelos de estufas, de acordo com as particularidades de cada região, as técnicas de utilização têm sido constantemente melhoradas, e hoje é possível obter resultados altamente significativos, proporcionando excelentes ganhos para os agricultores e com elevado grau de produtividade. Proporcionando colheitas nas entressafras e obtenção de produtos com melhor aspecto e qualidade. (AQUINO, 2013)

Cabe ainda destacar que, com a possibilidade de controlar o ambiente no interior dessas estruturas, não é necessário utilizar agrotóxicos, uma vez que as plantas se desenvolvem em condições climáticas favoráveis a elas e livres também de quaisquer pragas que possam prejudicar a lavoura. Portanto, o benefício desse tipo de cultivo se estende do agricultor ao consumidor. Como preceitua Fernandes (2017): “A utilização de estufas tornou-se fundamental para o abastecimento seguro dos produtos alimentares no mundo”.

Para exemplificar os benefícios das estufas, alguns pontos merecem destaque. Por exemplo, com a utilização das estruturas, o agricultor não fica sujeito à sazonalidade, uma vez que pode estabelecer todas as condições necessárias ao bom crescimento do cultivo. Assim, possibilita-se a ocorrência do “cultivo fora de época”, que além de fornecer produto de qualidade, consegue atender a demanda de consumo sem grande alteração no preço final do produto.

Outro ponto que merece destaque é em relação a proteção contra as pragas. Com o cultivo na estufa, o contato com esses organismos que reduzem as produções das culturas é muito menor. Além disso, caso ocorra o contato, seu controle é muito mais rápido e eficaz dentro dos microambientes.

Salienta-se, ainda, o aumento da qualidade dos vegetais, hortaliças, frutas, etc., considerando que o ambiente dentro das estufas potencializa ao máximo o desenvolvimento das plantas.

Isso ocorre porque os cultivos recebem exatamente as condições ideais para o crescimento, ressaltando-se, ainda, o fato de não ser necessário a utilização de agrotóxicos. Dessa maneira, o produto gerado é de extrema qualidade, o que gera inclusive aumento da lucratividade para os agricultores (FILHO, 2017).

Por fim, evidencia-se outro fator significativo do cultivo nas estufas, que é a sustentabilidade. De maneira geral, essas estruturas ocasionam menos impactos ambientais comparando-se às lavouras tradicionais. Isso se dá pelo uso racional de recursos, como a água e pela redução de agrotóxicos, contribuindo para uma produção mais limpa e sustentável.

2.2.1 Estufas automatizadas

Tendo em vista os benefícios que as estufas podem oferecer ao cultivo, a utilização de sistemas automatizados para monitorar e controlar o microambiente pode aumentar ainda mais sua eficiência, favorecendo ainda mais as condições adequadas para o desenvolvimento da planta em um menor tempo.

É possível realizar nesse microambiente o controle de alguns fatores importantes, como temperatura, umidade e luminosidade. Esse controle pode ser feito utilizando sensores, que são responsáveis por medir as variáveis; os microcontroladores, com a função de interpretar os dados dos sensores e, com base nesses dados, enviar uma resposta para os atuadores, que irão executar a ação enviada pelos microcontroladores no sistema.

2.3 Iluminação

A luz tem um efeito extremamente importante para que as plantas cresçam e se desenvolvam de maneira saudável, sendo ela essencial no processo de fotossíntese, no qual os vegetais convertem energia luminosa em energia química e utilizam como fonte de energia.

Além disso, a iluminação também influencia diretamente na germinação de sementes presentes na camada superficial do solo, chamado de fotoblastismo; e na indução da produção de flores, conhecido como fotoperiodismo. Contudo, segundo Costa et al. (2012), existem "[...] as plantas indiferentes, que são neutras ao fotoperíodo".

Existem diferentes tipos de lâmpadas para se utilizar no sistema de iluminação de uma estufa e a escolha é feita de acordo com o número de plantas, área e intensidade de iluminação, consumo de energia e produção desejadas.

2.3.1 Lâmpada de vapor de sódio (HPS)

A lâmpada HPS, ilustrada na figura 1, é de descarga de alta pressão e ideal para a floração de plantas. Entretanto, ela gera muito calor e, para ambientes fechados, é necessário um bom sistema de ventilação para que o calor possa ser dissipado. Vale ressaltar também que a lâmpada não deve ser instalada próxima da planta, a fim de se evitar queimaduras.



Figura 1 – Lâmpada de vapor de sódio (HPS).

Fonte: AVANTLUX, 2022 ¹

2.3.2 Lâmpada fluorescente

Fornecendo mais luz e pouco calor, a lâmpada fluorescente da figura 2 emite luz branca fria, favorecendo o crescimento vegetativo da planta. Contudo, devido a sua baixa potência é recomendado a utilização em ambientes menores, caso contrário, lâmpadas maiores em tamanho ou quantidade se fazem necessárias.



Figura 2 – Lâmpada fluorescente.

Fonte: OUROLUX, 2022 ²

Além disso, esse tipo de lâmpada requer um cuidado maior durante o descarte, pois em sua composição estão presentes dois elementos contaminantes, o fósforo e mercúrio, que ao serem descartados incorretamente se tornam nocivos ao meio ambiente.

¹ <https://avantlux.com.br/produtos/vapor-de-sodio-tubular>

² <https://ourolux.com.br/produtos/iluminac-o/fluorescentes/lamp-elet-3u-9w-127v-6400k.html>

2.3.3 Lâmpada LED

A lâmpada de LED é composta por diodos emissores de luz, conforme figura 3, e é o tipo mais eficiente encontrado atualmente, apresentando maior luminosidade e gastando menos energia. Sua temperatura de operação é menor, sua vida útil é superior às demais e, ainda, não há elementos químicos que causam dano à natureza em sua composição. Desta forma, a utilização das lâmpadas de LED pode ser considerada uma solução ecologicamente correta, além de apresentar melhor custo-benefício.



Figura 3 – Fita de LED.

Fonte: FREEPIK, 2022 ³

Neste ponto, cabe salientar também a existência da lâmpada de LED *full spectrum*, que emite todos os comprimentos de onda com o intuito de simular o espectro do sol e apresenta uma luz de coloração roxa, mostrando, assim, eficiência ainda maior no crescimento e desenvolvimento das plantas do que o LED comum.

2.4 Sensores

Os sensores podem ser descritos como dispositivos eletrônicos que são capazes de mensurar uma grandeza física, por meio da energia do ambiente, podendo ser térmica, luminosa, entre outras. Essa energia mensurada é convertida em sinal elétrico permitindo que um microcontrolador, por exemplo, possa interpretá-lo.

2.4.1 Sensor de nível

Os sensores de nível permitem identificar o nível de água no reservatório, indicando assim o momento correto para realizar a reposição.

Existem alguns tipos desses sensores, sendo que os mais utilizados são o tipo boia e capacitivo. O primeiro contém uma boia que se movimenta verticalmente por meio de uma

³ https://image.freepik.com/fotos-gratis/fita-led-para-decoracao-de-interiores_13913-729.jpg

pequena haste que possui um contato magnético; o segundo possui o funcionamento similar a um capacitor, sendo duas placas metálicas e o material isolante entre elas. Nesse caso, quando o nível está baixo, esse material isolante é o ar e quando o nível está alto é o material que está sendo aferido o nível.

2.4.2 Sensor de temperatura e umidade

Alguns sensores desse tipo, como o DHT11, trabalham com sinal digital e, também, se comunicam com microcontroladores. Para mensurar a temperatura ele possui um sensor do tipo NTC (Coeficiente Negativo de Temperatura) e um sensor resistivo para a umidade.

2.4.3 Sensor de umidade do solo

Existe um tipo de sensor de umidade do solo que "[...] faz uso da condutividade da água para mensurar a umidade de solos"(CORREIA; ABRANTE; SILVA, 2021). Desta forma, se a presença de água for menor, maior será a resistividade à corrente induzidas pelas hastes do sensor.

2.5 Atuadores

Denominam-se os atuadores como dispositivos com capacidade de modificar uma variável do ambiente, como exemplo, a temperatura e umidade. Os atuadores são uma ferramenta complementar aos sensores a fim de se realizar o controle do ambiente.

2.5.1 *Coolers*

Os *coolers*, como o ilustrado na figura 4, são pequenos ventiladores que, conforme a posição de instalação em uma estufa, funcionam como ventilador, enviando ar de fora para dentro, ou como exaustor, tirando o ar de dentro para fora. Desta forma, contribuindo para a manutenção da umidade do ar no interior da estufa.



Figura 4 – Cooler.

Fonte: FREEPIK, 2022 ⁴

2.5.2 Pastilha de Peltier

A pastilha de Peltier, que pode ser vista na figura 5, é um dispositivo que, por meio da circulação de corrente contínua através de seus semicondutores, é criada entre os dois lados da pastilha uma diferença de temperatura. Sendo assim, um destes lados alcança baixas temperaturas, enquanto o outro altas, se fazendo necessário o uso de um dissipador de calor a fim de aumentar a eficiência da pastilha.



Figura 5 – Pastilha de Peltier.

Fonte: MUNDIAL COMPONENTES, 2022 ⁵

⁴ https://image.freepik.com/fotos-gratis/ventilador-de-resfriamento-para-radiador-de-eletronica-de-potencia-com-cabo-de-alimentacao_26821-1128.jpg

⁵ <https://mundialcomponentes.com.br/produtos/detalhes/pastilha-peltier-40x40x4mm-154v-6a-67w-30a70c-tec1-12706>

2.6 Microcontroladores

Microcontroladores podem ser descritos como dispositivos que permitem programação para inúmeras funções específicas e, incluem em sua composição, processador, entrada e saída para periféricos e memória. Este equipamento possibilita o recebimento de dados de leitura de sensores e o envio de uma ação para atuadores agirem no ambiente. Além disso, é possível também, compartilhar dados com outros dispositivos por meio de módulos de comunicação.

2.6.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, que utiliza o microcontroladores ATmega, incluindo *hardware* e *software* livre. Desta forma, é possível desenvolver projetos pela própria IDE do Arduino, utilizando, também, os diversos periféricos desenvolvidos para ele.

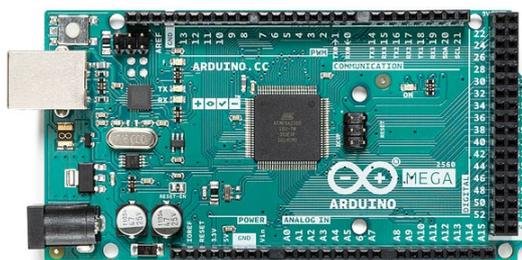


Figura 6 – Arduino Mega.

Fonte: ARDUINO, 2022 ⁶

⁶ <https://store-usa.arduino.cc/collections/most-popular/products/arduino-mega-2560-rev3>

3 DESENVOLVIMENTO

Considerando as definições expostas no capítulo anterior sobre construção de estufa automatizada, foram estabelecidos os itens utilizados na montagem do protótipo objeto deste trabalho, conforme abordado a seguir.

3.1 Estrutura

Para montar a estufa foram utilizados: tubos e conexões PVC; compensado de MDF; papelão e *mylar*.

3.1.1 Tubos e conexões PVC

Foram utilizados tubos de PVC de 1/2" com 50cm e 32cm de comprimento e conexões do tipo joelho e te de 90° para dar forma e sustentação à estufa e seus componentes. Este material foi escolhido por ser leve, de fácil instalação e ter alta durabilidade. A estrutura montada é ilustrada na figura 7.



Figura 7 – Estrutura da estufa composta por tubos e conexões PVC.

Fonte: Próprio Autor

3.1.2 Compensado de MDF

A escolha deste material se deu pelo fato dele ser rígido e capaz de suportar os componentes eletrônicos fixados no fundo da estrutura. Foi utilizado também na frente, como porta e para fixação do *display* e na base da estufa.

3.1.3 Papelão

O papelão, além de ser material reciclável, é leve e contribui para a redução do peso da estufa, o que justifica a sua escolha.

3.1.4 Mylar

Este material é uma folha de poliéster e tem como principal propriedade a alta reflexão. Diante disso, o *mylar* foi escolhido como revestimento interno da estufa para garantir maior incidência de luz sobre a planta e, conseqüentemente, maior absorção de energia térmica.

3.2 Iluminação

Conforme apontado anteriormente, o efeito da iluminação sobre o desenvolvimento do cultivo é de extrema importância, pois é por meio da luz que as plantas conseguem ter energia necessária para seu crescimento.

No protótipo objeto deste trabalho foi escolhida a luz de LED *full spectrum*, conforme a figura 8, por se tratar do tipo mais eficiente encontrado atualmente, uma vez que necessita de menor gasto de energia para maior luminosidade. Além disso, a lâmpada LED possui vida útil superior às demais e não prejudicam a natureza em sua composição, sendo por esses motivos a forma de iluminação escolhida para este trabalho.

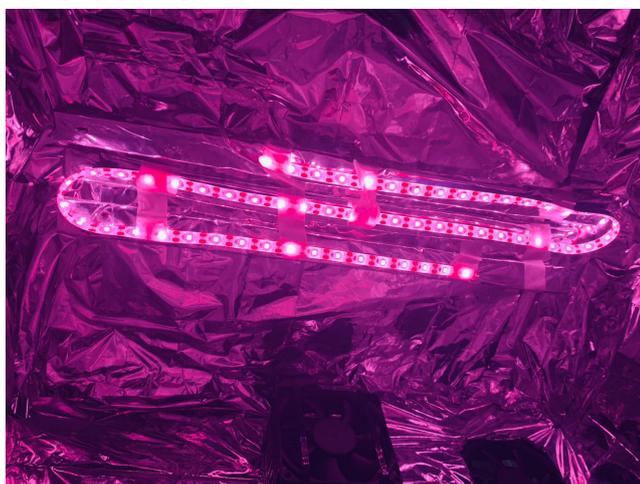


Figura 8 – Fita de LED *full spectrum*.

Fonte: Próprio Autor

O controle da fita de LED, que foi inicializada acesa, foi feito utilizando um contador que tem o seu valor incrementado a cada *delay* de 1000 milissegundos ao final de cada loop, funcionando como um relógio. Após 43200 segundos, o equivalente a 12 horas, as luzes eram apagadas. Quando o contador possui o valor de 86400 segundos, o ciclo de 24 horas se encerra e seu valor é zerado, iniciando uma nova contagem e acionando a iluminação novamente.

3.3 Irrigação

Como forma de fornecimento de água para a planta, foi desenvolvido um vaso autoirrigável, como na figura 9, utilizando duas caixas de plástico de cinco litros com tampa, uma contendo terra (superior) e a outra água (inferior).



Figura 9 – Vaso autoirrigável.

Fonte: Próprio Autor

Para realizar a irrigação do cultivo foi utilizado um sistema com cordões de algodão, que possuem espaços de ar, interligando as duas caixas. O cordão de algodão possui a função de conduzir a água, que é filtrada e preenche os espaços de ar por meio da sua capacidade de capilaridade, percorrendo toda a extensão do cordão até chegar na terra da caixa superior, como exemplificado na figura 10.



Figura 10 – Esquema de irrigação.

Fonte: Próprio Autor

Conhecendo seu funcionamento, é possível dimensionar a quantidade e comprimento dos cordões conforme a demanda das plantas e o volume da área que será cultivada, aproveitando da melhor maneira os espaços e deixando-os mais livres para o desenvolvimento radicular, evitando que as raízes e os cordões compitam por eles.

Dessa forma, este sistema de irrigação permite que a planta absorva somente quantidades de água conforme a sua necessidade para se desenvolver, evitando assim o desperdício.

3.4 Arduino Uno

Para o projeto foi escolhido o Arduino Uno, que utiliza o microcontrolador ATmega 328, conversor A/D de 10 bits e pinos analógicos, digitais, de alimentação, GND e comunicação I2C, conforme a figura 11. Além disso, o Arduino possui plataforma de código aberto e uma comunidade forte, portanto, há muito material para consulta.



Figura 11 – Arduino Uno.

Fonte: Próprio Autor

3.5 Sensoriamento

3.5.1 DHT11

Para realizar a leitura da temperatura e umidade do ar, foi escolhido o DHT11, um componente bastante utilizado em trabalhos com Arduino, que pode ser visto na figura 12. Além disso, é um sensor de simples utilização e necessita apenas de um único pino do Arduino para envio de dados.

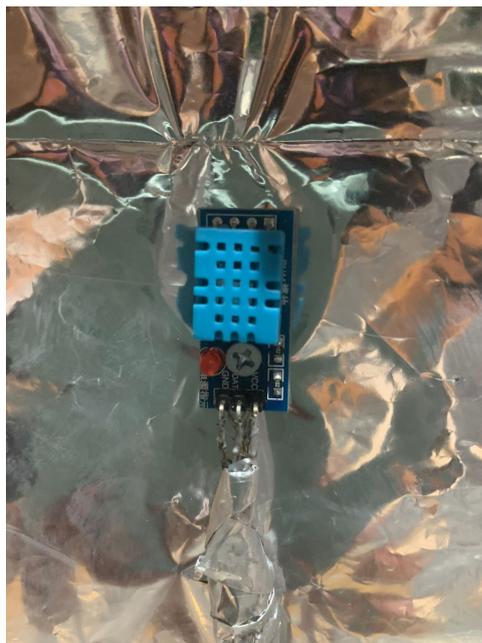


Figura 12 – Sensor de temperatura e umidade do ar - DHT11.

Fonte: Próprio Autor

3.5.2 Sensor de nível do tipo boia

O sensor digital do tipo boia, mostrado na figura 13, foi escolhido para verificar a disponibilidade de água do reservatório do vaso autoirrigável e possui dois fios, um GND e outro para envio do sinal, conectado ao pino 5 do Arduino. Caso o nível esteja baixo, o sensor envia um sinal alto e, como resposta, é mostrada uma mensagem no *display* para que seja feita a reposição da água no reservatório.



Figura 13 – Sensor de nível do tipo boia.

Fonte: Próprio Autor

3.5.3 Sensor de umidade do solo

A fim de monitorar a umidade do solo, foi escolhido um módulo de sensor para Arduino, que realiza a medição por condutividade da água, ilustrado na figura 14. O envio de dados pode ser feito de maneira digital ou analógica, sendo esta última escolhida para o presente trabalho, por meio do pino A0.



Figura 14 – Sensor de umidade do solo - Higrômetro.

Fonte: Próprio Autor

Este sensor contém uma pinça, que é colocada diretamente no solo, e um módulo responsável pelo envio de dados coletados pela pinça. A aquisição de dados de forma analógica permite, por meio de uma conversão implementada via *software*, verificar a porcentagem da umidade do solo, de maneira que a ponta da pinça é 0% e a extremidade superior é 100%.

3.6 Display de cristal líquido 20x4

Para mostrar os valores da temperatura, umidade do ar e do solo, o estado do reservatório e se a iluminação, refrigeração e exaustão estão ligados, foi utilizado um *display* matricial de 20 colunas e 4 linhas, ilustrado na figura 15. Além disso, foi incorporado um módulo I2C em conjunto com o *display* possibilitando o uso de apenas 2 pinos, sendo eles o A4 e A5, além do de alimentação e GND, simplificando a comunicação com o Arduino.

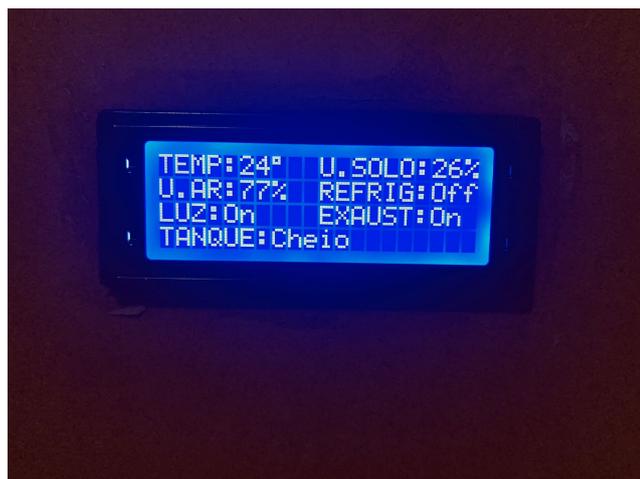


Figura 15 – *Display* LCD 20x4.

Fonte: Próprio Autor

3.7 Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração desenvolvido para o protótipo é composto por uma pastilha de Peltier, que resfria um de seus lados e esquentava o outro; e dois conjuntos de dissipador de calor e *cooler*. O dissipador absorve toda a energia térmica produzida pela pastilha e o *cooler* espalha o ar frio no interior da estufa e o ar quente no ambiente.



Figura 16 – Sistema de refrigeração - parte interna.

Fonte: Próprio Autor

O sistema mostrado na figura 16 entra em funcionamento quando a temperatura interna ultrapassa 24°C e é desligado a uma temperatura de 15°C ou após 10 minutos de funcionamento

e permanecendo desligado por 2 minutos. Este intervalo do funcionamento da refrigeração é necessário para não ocorrer sobrecarga do sistema, sendo 2 minutos suficientes para o lado que fica quente retornar à temperatura ambiente.

Dessa forma, a pastilha de Peltier é acionada pelo relé 1 do módulo de 4 canais, conectado ao pino 3 do Arduino, e o *cooler* pelo relé 2 conectado ao pino 4, e ambos alimentados por uma fonte chaveada de 12v.

3.8 Sistema de circulação de ar

O sistema de circulação de ar da estufa é responsável por regular a umidade do ar em seu interior, sendo acionado ao atingir umidade superior a 80% e desligada ao atingir o valor de 50% ou após 10 minutos de funcionamento e permanecendo obrigatoriamente desligado por 2 minutos. Ademais, possui dois *coolers*, conforme a figura 17, sendo um com a função de exaustão para retirar o ar úmido de dentro e outro responsável pela ventilação, possibilitando a entrada de ar novo e seco.



Figura 17 – Sistema de exaustão.

Fonte: Próprio Autor

Além disso, o sistema de circulação, da mesma maneira que o sistema de refrigeração, é alimentado por uma fonte chaveada e seu funcionamento é controlado pelo relé 3 do módulo de 4 canais, que foi conectado ao pino 13 do Arduino.

3.9 Representação do circuito

A figura 18 abaixo mostra como foi projetado o circuito do sistema e tem o objetivo de facilitar a visualização da disposição dos componentes e suas ligações.

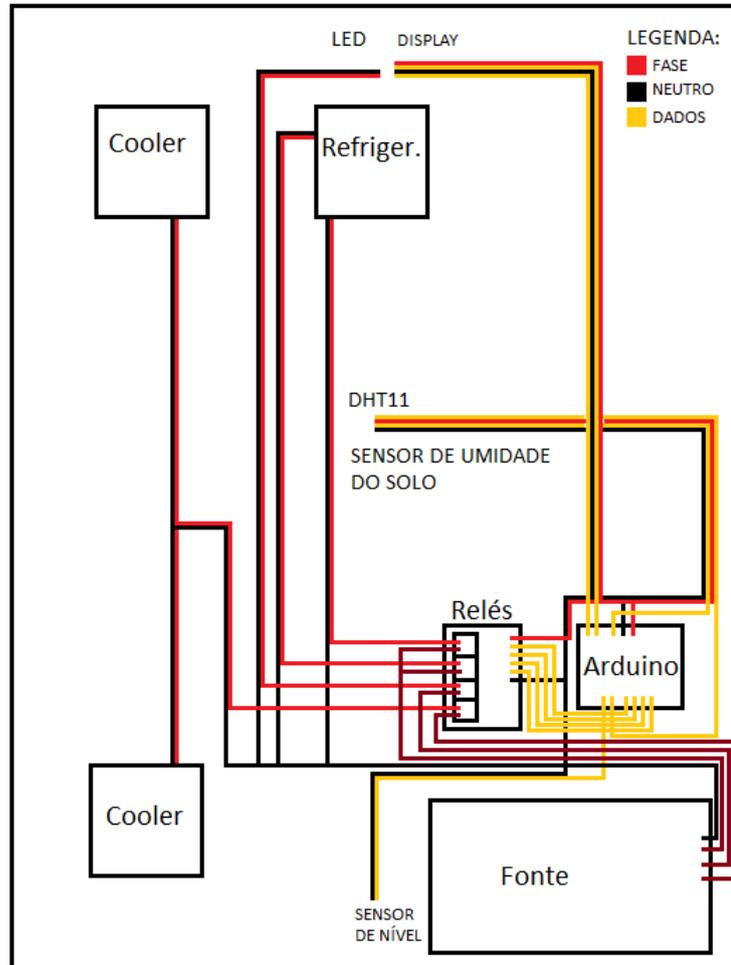


Figura 18 – Representação do circuito.

Fonte: Próprio Autor

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

O quarto capítulo deste trabalho demonstra e discute os resultados do protótipo desenvolvido, nos moldes expostos anteriormente, de acordo com a figura 19.

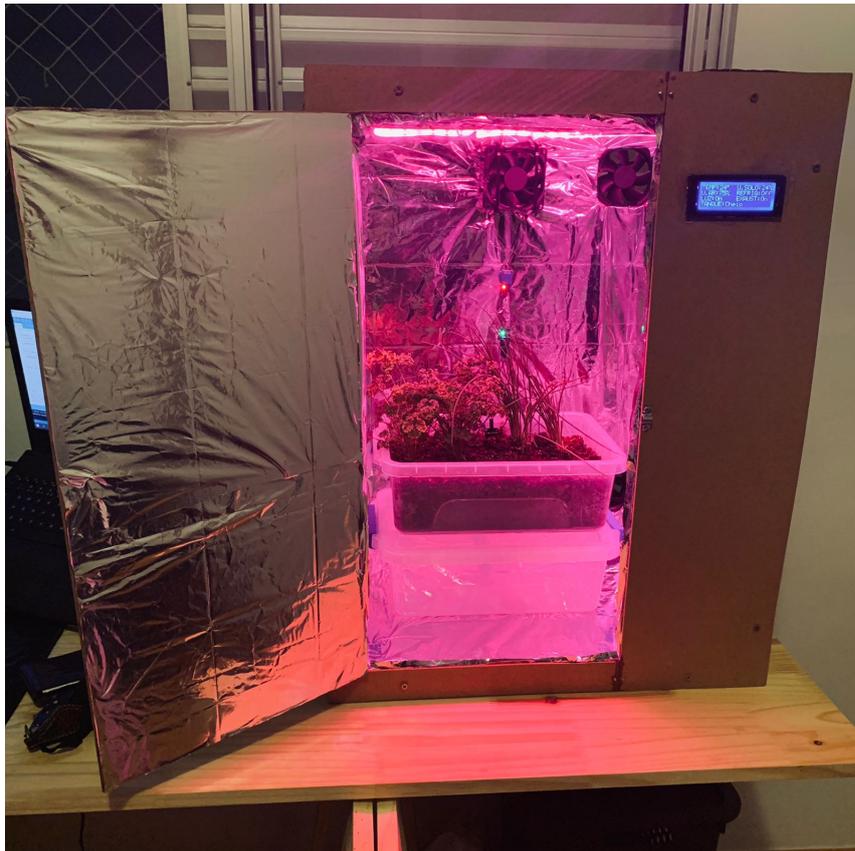


Figura 19 – Protótipo da estufa finalizado.

Fonte: Próprio Autor

Os testes com a estufa em funcionamento foram executados no período de 4 semanas, entre os meses de novembro e dezembro. O protótipo estava no município de Governador Valadares/MG e durante este período as médias de temperatura foram de 30°C.

4.1 Estrutura

A estrutura do protótipo, feita de tubos e conexões PVC, compensado de MDF, papelão e *mylar*, atendeu ao esperado. Além de ter sido acessível, pelo baixo custo dos componentes envolvidos na estrutura, o manuseio e transporte da estufa foram de fácil execução, pois os materiais são leves. Além disso, destaca-se a sustentabilidade do protótipo, com uso de materiais recicláveis, em atenção ao bem estar do meio ambiente.

4.2 Temperatura

A faixa de temperatura ideal para as culturas escolhidas é entre 24°C e 15°C e, para atingir essa faixa, o controle da temperatura do protótipo foi realizado da seguinte maneira: para resfriar o ambiente interno da estufa, foi usada uma pastilha de Peltier e um par de conjunto de dissipador-*cooler*. Além disso, ocorreu a aquisição dos dados pelo DHT11.

Neste ponto, com a realização dos testes práticos, foi possível constatar que o sistema composto pela pastilha de Peltier e o par dissipador-*cooler* não são suficientes para atingir a temperatura mínima estabelecida sem a necessidade de um intervalo em seu funcionamento, para evitar uma sobrecarga. Para alcançar essa temperatura de maneira direta, é necessário dimensionar a potência requerida pelo sistema e projetá-lo a fim de reforçá-lo, aumentando a quantidade de componentes (pastilha de Peltier, dissipador e *cooler*) para integrar o protótipo. Dessa forma, com o sistema mais robusto, o controle de temperatura será mais eficiente, evitando a necessidade desse intervalo de funcionamento.

Cabe ressaltar a importância dos experimentos, pois é a partir da análise dos testes que se conclui a necessidade de aumento, diminuição ou modificação dos componentes.

4.3 Umidade do ar

Para controlar a umidade do ar no interior da estufa, foi realizado controle por meio do sistema composto por dois *coolers*. Como disposto anteriormente, esses componentes são utilizados para fazer a troca do ar e, assim como a temperatura, o DHT11 também faz o sensoriamento da umidade do ar, sendo então o responsável pela aquisição dos dados.

O sistema utilizado atendeu às expectativas, uma vez que as trocas de ar aconteceram nos momentos programados e a umidade do ar se manteve na faixa de 80% à 50% estabelecida para as plantas.

4.4 Umidade do solo e irrigação

Inicialmente, é importante ressaltar que o monitoramento da umidade do solo foi realizado a fim de comprovar o funcionamento do sistema de autoirrigação, conforme descrito no capítulo anterior. Esta forma de irrigação obteve a performance esperada em virtude dos dados adquiridos pelo sensor, apresentando porcentagens de umidade altas sem que o solo ficasse encharcado.

Com isso comprova-se que o sistema de autoirrigação utilizando a corda de tecido foi eficiente para manter a umidade do solo em condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas.

É sabida a existência do risco de oxidação da pinça que afere a umidade do solo, entretanto, neste trabalho tal oxidação não foi observada. Caso venha a acontecer, a pinça

utilizada pode ser substituída por uma pinça de material inoxidável.

4.5 Iluminação

Para o controle da iluminação, foi respeitado o fotoperíodo de 12h/12h, sendo 12 horas com a fita de LED acesa e 12 horas apagada. Em um primeiro momento, a maneira de realizar o controle do momento em que as luzes são ligadas e desligadas foi por meio de um módulo RTC, entretanto houve falhas na leitura e impressão dos valores de data e hora, onde esses valores eram mostrados de maneira inesperada e diferente da hora real, impossibilitando que a iluminação fosse controlada.

Em virtude dos fatos, foi realizada a implementação de uma lógica que funciona como um relógio, que alterna o estado da fita de LED entre ligado e desligado a cada 12 horas. A utilização dessa forma de controle de iluminação apresentou bons resultados, em que se teve o fotoperíodo conforme esperado.

Da maneira em que foi implantado esse sistema no protótipo, foi possível observar sua contribuição para o desenvolvimento das culturas. Isso se deu pelo fato da fita de LED *full spectrum* simular o espectro do sol, fonte sabidamente essencial para a agricultura.

4.6 Programação

No código fonte do protótipo existem dois blocos, o bloco de *setup()* e o bloco de *loop()*. Previamente ao primeiro bloco são incluídas bibliotecas, definições do projeto, instanciamento de objetos e declaração de variáveis globais. No bloco *setup()* a comunicação com o *display* é iniciada e os pinos de entrada e saída são definidos; e no bloco *loop()* são realizadas leituras dos sensores e enviados comandos para os atuadores, para a realização do controle e a atualização dos valores no *display* a cada alteração. O código utilizado está disponível no link <https://github.com/danielhssirio/Estufa> em repositório do GitHub.

4.7 Desenvolvimento das plantas

Enquanto o protótipo estava sendo finalizado, as mudas foram cultivadas no modo convencional pelo período de 15 dias. Posteriormente, foram migradas para o interior da estufa, após conclusão da primeira etapa da construção.

Foi possível verificar uma aceleração no crescimento do cultivo, comparando o tempo similar de 15 dias dentro e fora da estufa. Após 4 semanas de testes e observação, tanto a salsa crespa quanto a cebolinha estavam desenvolvidas, podendo serem consumidas.

Considerando que o protótipo ainda está em desenvolvimento, cabe ressaltar a importância de dar continuidade à fase de testes, realizando o cultivo, de forma simultânea, no interior da estufa e fora dela, levando em consideração o estado fenológico das plantas que serão compara-

das. Assim atinge-se o objetivo de obter uma maior precisão dos resultados e redução do tempo necessário para crescimento das plantas.

5 CONCLUSÃO

A partir do estudo feito, juntamente com a construção do protótipo e discussão dos resultados exposta no capítulo anterior, inferem-se os benefícios de se realizar o cultivo em uma estufa controlada e automatizada. Esses benefícios, inclusive, vão além da qualidade do produto final, uma vez que a criação desse ambiente controlado gera menor impacto ambiental e até maior lucratividade ao produtor.

Neste ponto, cabe ressaltar que com o controle das variáveis de ambiente e da automação dos processos sob o microclima da estufa, o contato com os agentes externos torna-se inexistente, o que faz com que o ambiente fique livre de pragas e doenças. Dessa forma, é desnecessário o uso de agrotóxico no plantio, o crescimento do cultivo saudável e de qualidade irá acelerar. Essa agilidade faz com que as eventuais colheitas sejam mais frequentes e o retorno financeiro para quem utiliza da plantação como fonte de renda seja mais rápido.

Sem a necessidade de agrotóxicos e com utilização racional e controlada dos recursos naturais necessários para a plantação, o impacto ambiental ocasionado é menor, o que faz com que a estufa seja sustentável, sem comprometimentos e prejuízos ao meio ambiente.

Insta salientar, entretanto, que é necessário fazer estudo aprofundado e testes práticos a fim de se concluir quais são os melhores componentes de controle e automação a serem inseridos ao automatizar uma estufa. Isso se dá diante das inúmeras possibilidades de sensores existentes, bem como pela variedade de plantas, sendo que cada uma possui uma necessidade distinta.

No caso em apreço, foi possível esquematizar e construir a estrutura do protótipo, além de definir os atuadores a serem utilizados para o cultivo testado e suas respectivas funções. Com isso, restou clara a probabilidade de sucesso da teoria apresentada, uma vez que os objetivos propostos para esse fim foram atingidos.

Entretanto, é importante ressaltar que o projeto está em fase de construção. Considerando a necessidade de tempo para desenvolvimento completo das plantas, a continuidade do estudo acaba por demonstrar a necessidade de alteração ou aumento de alguns componentes inicialmente utilizados, conforme inclusive já apontado anteriormente na discussão dos resultados.

De toda forma, no contexto didático que esse trabalho se apresenta, além da exposição da teoria com fundamento teórico dos benefícios da forma de cultivo explicitada, este projeto poderá servir também como material de apoio para aqueles que tiverem interesse em desenvolver um equipamento acessível, uma vez que explicita e detalha os procedimentos e componentes utilizados para construção do protótipo da estufa automatizada ilustrada nos capítulos anteriores.

Por ainda estar em andamento, o projeto conta com planejamentos futuros a serem executados, como a adequação dos componentes para melhorar o controle de temperatura e

a comparação do cultivo simultâneo dentro e fora do protótipo. Ademais, para um controle cada vez mais efetivo, planeja-se a utilização de uma aplicação *Web* para transmissão de dados para controle remoto da estufa e armazenamento em banco de dados que poderá ser facilmente acessado por dispositivos com acesso à internet.

Conclui-se, por fim, que o controle e automatização da uma estufa pode ocorrer de maneira acessível e prática, ocasionando desenvolvimento saudável e eficaz das plantas e propiciando retorno mais benéfico tanto para consumidores tanto para aqueles que utilizam da plantação como sustento.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, G. H. Estufa automatizada para cultivo de plantas: Sistema de coleta de dados. In: *XIII Congresso Nacional de Iniciação Científica*. [S.l.: s.n.], 2013. Citado na página 16.
- CORREIA, M. F. R.; ABRANTE, P. L.; SILVA, F. S. D. Viabilidade do uso de sensor higrômetro de arduino para correção da dosagem de concreto. In: *VII Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia*. [S.l.: s.n.], 2021. Citado na página 20.
- COSTA, N. et al. Germinação e crescimento inicial de tomate italiano (*lycopersicon esculentum* mill.): efeitos do fotoperíodo. *Natureza On Line*, 2012. Escola Superior São Francisco de Assis, v. 10, n. 4, p. 183–185, 2012. Citado na página 17.
- FERNANDES, D. G. *Sistema automatizado de controle de estufas para cultivo de hortaliças*. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 16.
- FILHO, A. C. M. *Sistema de automação e controle inteligente para cultivo protegido*. Tese (Doutorado), 2017. Citado na página 17.
- GHINI, R. Influência das mudanças climáticas na agricultura. In: IN: CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE, 1.; SEMINÁRIO REGIONAL DE . . . *Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. [S.l.], 2006. Citado na página 16.
- GUEDES, B. C.; SOUSA, G. F. V. de. Estufa agrícola automatizada utilizando micro controlador arduino e comunicação serial. In: *VII Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 15.
- JUNIOR, A. L. d. A. *Sistema de monitoramento e climatização de estufa de pequeno porte em um contexto doméstico*. [S.l.]: Centro Universitário de Brasília, 2016. Citado na página 13.
- SANTOS, A. B. d.; BARRETO, R. G. *Projeto e desenvolvimento de uma estufa automatizada para plantas*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Citado na página 15.
- ZOLNIER, S. Ambientes climatizados para produção vegetal. In: *III Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, PR, Brazil*. [S.l.: s.n.], 2001. Citado na página 12.