



**Igor Miguel Uzeika Garlet**

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ PARA O CULTIVO  
DE HORTALIÇAS**

Horizontina-RS

2024

**Igor Miguel Uzeika Garlet**

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ PARA O CULTIVO  
DE HORTALIÇAS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Dr. Geovane Webler

Horizontina-RS

2024

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
**CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“Sistema Automatizado de Suplementação de Luz para o Cultivo de Hortaliças”**

**Elaborada por:  
Igor Miguel Uzeika Garlet**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Controle e Automação

Aprovado em: 02/07/2024  
Pela Comissão Examinadora

---

Dr. Geovane Webler  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Me. Rodrigo Bastos  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Esp. João Michel Machado de Oliveira  
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS  
2024**

## RESUMO

Este trabalho possui o objetivo de projetar, dimensionar e construir um sistema automatizado de suplementação luminosa com iluminação artificial através de lâmpadas *LED*, para aplicação no cultivo de pequeno porte de hortaliças. O sistema foi controlado e instrumentado utilizando a plataforma de prototipagem Arduino e módulos de controle compatíveis. As plantas foram separadas em dois grupos, em um grupo as plantas ficaram expostas apenas a luz natural. No outro grupo, além da luz natural, tem-se a complementação com iluminação artificial. A partir disso, foi comparado o crescimento das plantas nos dois grupos. Foi utilizado o método de abordagem quantitativo e a pesquisa descritiva-exploratória e experimental, para possibilitar a construção do sistema. Como objeto de validação do sistema de suplementação de luz, foi utilizada a rúcula, espécie folha larga e durante o período de cultivo percebeu-se que as plantas que tiveram o período de exposição à luz suplementado apresentaram maior crescimento em um mesmo período em relação as plantas que receberam somente luz natural. O sistema automatizado, acionado sob condições de horários pré-estabelecidos funcionou de acordo com o esperado, sem apresentar falhas ou erros de acionamento das lâmpadas. A partir da fundamentação teórica e aplicação prática foi possível determinar que o sistema possibilita um menor tempo de cultivo das plantas, sem o uso de agrotóxicos, possibilitando também manter a plantação em ambiente interno, com o uso de um sistema automatizado de baixa complexidade e alta robustez.

**Palavras-chave:** Suplementação de luminosidade. Iluminação Artificial. Sistema Automatizado. Hortaliças.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de fotossíntese .....	11
Figura 2 – Intensidade da fotossíntese na clorofila .....	12
Figura 3 - Fotoperíodo.....	12
Figura 4 – Sistema de pivô de irrigação com suplementação luminosa.....	14
Figura 5 – Suplementação luminosa aplicada em gramados esportivos.....	15
Figura 6 – Fazenda vertical com iluminação artificial. ....	16
Figura 7 – Estufa para cultivo indoor doméstico.....	17
Figura 8 - Etapas de desenvolvimento do projeto. ....	20
Figura 9 - (a) Estrutura inicial já existente, (b) estrutura com plástico instalado.....	24
Figura 10 - Estrutura de divisórias dos canteiros .....	25
Figura 11 - (a) Lâmpada LED com soquete, (b) estrutura para instalação das lâmpadas .....	26
Figura 12 - Esquema de ligação elétrica das lâmpadas .....	28
Figura 13 - Esquema de montagem da mangueira de irrigação.....	31
Figura 14 - Esquema de ligação entre o Arduino e os módulos de controle .....	33
Figura 15 - Grande população de plantas no dia 21/03/2024.....	36
Figura 16 - Mangueira abaixando com o peso da água .....	38
Figura 17 - (a) Jato de água da irrigação, (b) posição da nova mangueira .....	38
Figura 18 - Canteiro com grande parte das plantas mortas .....	39
Figura 19 - Lâmpadas acesas .....	40
Figura 20 - Canteiros preparados para o novo ciclo de cultivo.....	41
Figura 21 - (a) Vista aérea de todos os canteiros, (b) destaque para um canteiro ....	42

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1	TEMA.....	8
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	8
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA.....	8
1.4	OBJETIVOS.....	8
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>8</b>
1.5	JUSTIFICATIVA.....	9
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1	FISIOLOGIA DAS PLANTAS.....	10
<b>2.1.1</b>	<b>Processo de fotossíntese .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Fotoperíodo.....</b>	<b>12</b>
2.2	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA AGRICULTURA.....	13
<b>2.2.1</b>	<b>Suplementação luminosa.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Fazendas verticais.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Cultivo <i>Indoor</i> .....</b>	<b>16</b>
2.3	COMPONENTES ELETRÔNICOS PARA PROTOTIPAGEM.....	18
<b>2.3.1</b>	<b><i>Arduino</i> Mega.....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	20
<b>3.1.1</b>	<b>Métodos de abordagem.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Métodos de procedimentos .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Técnica de coleta de dados .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Análise de dados .....</b>	<b>22</b>
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	22
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
4.1	PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA.....	24
<b>4.1.1</b>	<b>Preparativos iniciais e construção da estufa .....</b>	<b>24</b>
4.2	UTILIZAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES ELETRÔNICOS.....	26
<b>4.2.1</b>	<b>Módulo RTC.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Módulo relé 8 canais .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Fio de alimentação para lâmpadas .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Sensor de umidade do solo e irrigação .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Microcontrolador Arduino.....</b>	<b>32</b>
4.3	TESTES INICIAIS E AJUSTES .....	34
<b>4.3.1</b>	<b>Procedimentos iniciais.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Testes do sistema de iluminação artificial .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Testes e parametrização do sistema de irrigação .....</b>	<b>35</b>
4.4	CICLOS DE CULTIVO E COLETA DE DADOS.....	36
<b>4.4.1</b>	<b>Primeiro ciclo de cultivo .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Segundo ciclo de cultivo.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Comparação dos resultados.....</b>	<b>43</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A produção e consumo de alimentos, em especial hortaliças e frutas, é um assunto que desperta interesse e é de grande importância para a manutenção de uma vida saudável, principalmente por serem alimentos ricos em elementos fundamentais para o bom funcionamento do organismo humano. Muitas pessoas não abrem mão de sua alimentação saudável e buscam, mesmo por um valor mais alto, inserir hortaliças em suas refeições, principalmente buscando fornecedores que garantem um cultivo orgânico, sem adição de agrotóxicos e produtos frescos (MELO; VILELA, 2007).

A produção de hortaliças depende de fatores climáticos como níveis de chuva, temperatura e intensidade luminosa para uma boa produção e pode ser amplamente afetada por intempéries como geada, seca, excesso de umidade e chuva de granizo. Com isso, fazendo-se a aplicação de novas tecnologias para o manejo da produção pode-se ter maior garantia de retorno ao final do ciclo produtivo, onde podem ser utilizados sistemas de controle automatizados para manter as condições climáticas adequadas para a produção em ambientes internos, como a instalação de iluminação artificial, controle de umidade e temperatura (GUEDES, 2021). A produção de hortaliças acaba se tornando uma atividade desafiadora, onde o agricultor passa por muitas incertezas até o final do ciclo de crescimento da planta.

O emprego de sistemas automatizados ainda é restrito em propriedades de agricultura familiar, que são as principais produtoras de hortaliças. Segundo Souza et al. (2019) a principal causa da não utilização da tecnologia na agricultura familiar ainda é a dificuldade financeira enfrentada. Muitas vezes as atividades não geram um retorno suficiente para a realização de investimentos mais vultuosos. Além disso, outros fatores que impactam na adoção de recursos tecnológicos são o tamanho da propriedade, falta de acesso à crédito e assistência técnica, a região onde a propriedade está inserida, às atividades de trabalho e acesso à rede de Internet. Assim, muitos produtores acabam estando sempre sujeitos a prejuízos, não conseguindo aumentar a sua produtividade.

Mediante o exposto, o presente estudo teve por objetivo desenvolver um protótipo de um sistema de suplementação de iluminação para o cultivo de hortaliças com a introdução de iluminação artificial. O sistema foi validado inserindo-o em um cultivo de hortaliças, analisando como ocorreu o desenvolvimento das plantas nesta

condição e fazendo uma comparação com o cultivo sob luz natural em um mesmo período de tempo. O sistema possui lâmpadas de *LED*, que utilizam radiação específica com o comprimento de onda adequado para o desenvolvimento das plantas, sistema de controle do acionamento da iluminação e umidade do solo.

## 1.1 TEMA

Sistema automatizado de suplementação de luz na produção de hortaliças.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Desenvolvimento de um sistema automatizado de suplementação de luz na produção de hortaliças aplicado no cultivo de pequeno porte na região noroeste do Rio Grande do Sul.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

De que forma a aplicação de um sistema automatizado de suplementação de luz na produção de hortaliças auxilia na redução do tempo de cultivo e aumento da produção?

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

Projetar, dimensionar e desenvolver um sistema automatizado de suplementação de luminosidade para o cultivo de hortaliças.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver um protótipo de um sistema automatizado de pequeno porte para cultivo de hortaliças com a introdução de iluminação artificial;
- b) Testar e validar o sistema desenvolvido em uma produção de hortaliças;
- c) Realizar o monitoramento da umidade do solo;
- d) Monitorar e comparar o desenvolvimento das plantas expostas em iluminação natural e artificial;

## 1.5 JUSTIFICATIVA

A produção de hortaliças ainda é feita, em sua maioria, em sistemas convencionais, com a plantação feita em ambiente ao ar livre, onde são plantadas mudas ou sementes, utilizados defensivos e fertilizantes e a água é proveniente das chuvas ou sistemas de irrigação e a iluminação depende do clima no local (MELO; VILELA, 2007). Ainda segundo Melo e Vilela (2007), o cultivo pode ser feito de forma protegida, em estufas, onde tem-se maior proteção das plantas contra intempéries. Dessa forma, pode-se verificar um grande espaço para a aplicação de novas formas de cultivo, principalmente com a inserção de recursos tecnológicos.

A luminosidade é um dos fatores mais importantes para o crescimento das plantas. Cada planta possui uma necessidade de luz específica, existindo características de plantas de dia longo, que precisam de grande quantidade de incidência luminosa e plantas de dia curto, que necessitam de poucas horas de luz por dia. Quando a quantidade de luz necessária não é atingida ocorrem problemas como atrasos e interrupção nas fases de desenvolvimento, prejudicando diretamente o crescimento das plantas.

Frente ao exposto e ao objetivo do deste estudo, a construção e atestado de funcionamento do sistema que foi construído é de grande relevância devido sua função de auxiliar na iluminação que incide sobre as plantas em períodos e regiões em que a luz natural é reduzida, possibilita o cultivo em ambientes protegidos e traz redução no tempo de crescimento. Todos estes benefícios trazidos pela aplicação da suplementação luminosa podem ser obtidos por um sistema robusto e de baixo custo, como o que foi desenvolvido neste trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda a fisiologia das plantas, no que se relaciona com a captação de luz para produção da energia utilizada em seu desenvolvimento e a iluminação artificial aplicada na agricultura. Também serão apresentados os componentes eletrônicos de controle utilizados no processo de prototipagem do sistema em estudo.

### 2.1 FISILOGIA DAS PLANTAS

As plantas realizam diversos processos ao longo de seu ciclo de desenvolvimento, com o objetivo de produzir a energia necessária para o crescimento.

A incidência luminosa solar é uma das condições mais importantes para a transformação e produção da energia necessária para a realização dos processos fisiológicos, onde cada espécie possui uma necessidade específica de tempo de luz.

Assim, para um melhor entendimento da necessidade luminosa das plantas, são abordados conceitos sobre o processo de fotossíntese e fotoperíodo.

#### 2.1.1 Processo de fotossíntese

O processo de fotossíntese, realizado pelas plantas e demais organismos vivos fotossintetizantes, tem a luz solar como o elemento fundamental para a transformação da energia luminosa para química. Como produto resultante nesta transformação tem-se moléculas de glicose, sendo estas a base para a realização dos demais processos, durante ciclo de vida dos organismos (SCHWAMBACH; SOBRINHO, 2014). Schwambach e Sobrinho (2014) ainda mostram que, juntamente com a fotossíntese, está diretamente associada a respiração celular que, de forma lenta, faz o uso da glicose produzida, onde retira gás carbônico, água e energia química das moléculas de glicose para colocar em funcionamento todas as reações que ocorrem no organismo, liberando, como produto, neste processo o oxigênio para o ambiente.

A Equação 1 apresenta o processo completo de fotossíntese e a Figura 1 ilustra o processo, demonstrando o recebimento da luz solar, gás carbônico, água e glicose pela planta e a liberação de oxigênio para o ambiente no final do processo.

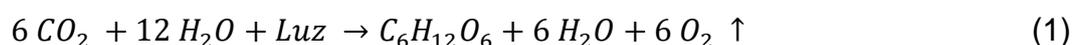
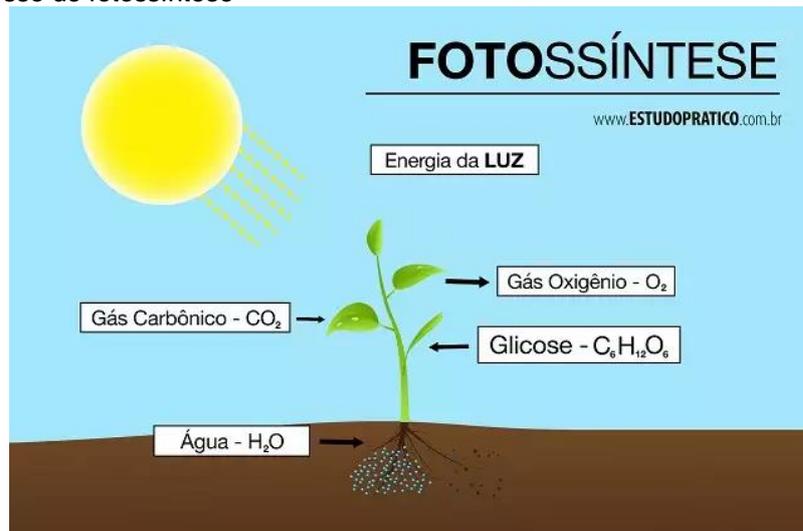


Figura 1 – Processo de fotossíntese



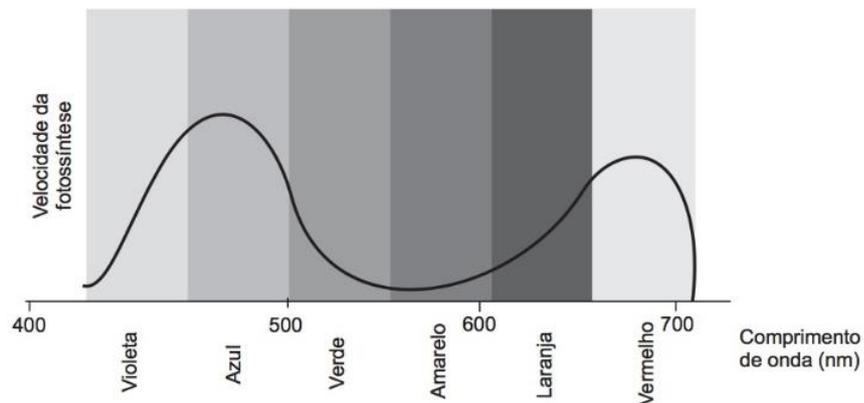
**Fonte:** Duque, 2013

A luz do Sol, da forma como o ser humano pode enxergar é branca, sendo composta por diversos comprimentos de onda, porém, ao fazer a decomposição da mesma, obtém-se as cores violeta, anil, verde, amarelo, alaranjado e vermelho (SCHWAMBACH; SOBRINHO, 2014). Durante o processo de fotossíntese, as plantas absorvem apenas determinados comprimentos, o que ocorre através dos pigmentos fotossintetizantes contidos em sua estrutura (GUIMARÃES, 2017).

Os principais pigmentos fotossintéticos são a clorofila, carotenoides e ficobilinas, cada um absorve determinada faixa de luz solar e reflete o que não é utilizado, assim dando a coloração, visível ao ser humano, às suas partes (SCHWAMBACH; SOBRINHO, 2014). Schwambach e Sobrinho (2014) também apresentam os comprimentos de onda dos pigmentos mais utilizados no processo de fotossíntese, onde a clorofila A absorve as faixas entre 430 nm e 660 nm, representando as cores violeta e vermelho, a clorofila B, absorve entre 465 nm e 660 nm, sendo as cores azul e vermelho, os carotenoides utilizam a faixa entre 400 e 500 nm, com as cores azul e próximo ao verde e as ficobilinas ficam na faixa entre 500 e 600 nm com as cores verde e amarelo.

Dessa forma, cada espécie de planta apresenta um comportamento específico de seu organismo em relação às faixas de cores a que estão expostas. Na Figura 2 está ilustrada a intensidade da fotossíntese na clorofila em relação aos diferentes comprimentos de onda existentes.

Figura 2 – Intensidade da fotossíntese na clorofila



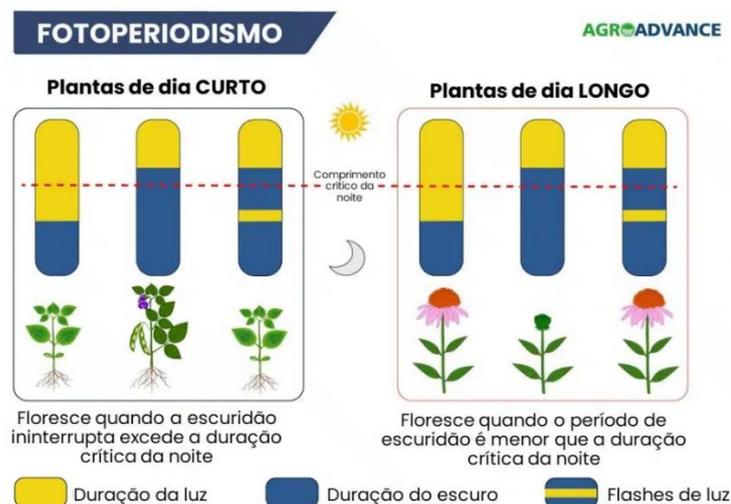
Fonte: Schwambach e Sobrinho, 2014

Dessa forma, pode-se verificar a maior velocidade do processo de fotossíntese é atingida nos comprimentos de onda referentes às cores vermelho, violeta e azul, representando a faixa de maior aproveitamento da incidência de luz pelas plantas.

### 2.1.2 Fotoperíodo

Cada espécie de planta necessita de uma quantidade de incidência de luz solar diferente. O fotoperíodo se refere ao período do dia em que há luz, desde o nascer do Sol até o início da noite e varia durante as estações do ano (SILVEIRA; CEOLA, 2019). Os autores afirmam ainda que, a partir desta característica, é necessário escolher o tipo de planta a ser cultivada de acordo com o local disponível, ou adaptar o mesmo para o tipo de cultivo desejado, onde a falta de luz atrasa o crescimento e o excesso faz com que as etapas de desenvolvimento não tenham seguimento.

Figura 3 - Fotoperíodo.



Fonte: Daneluzzi, 2023

A Figura 3 demonstra como se relaciona o fotoperíodo com o desenvolvimento das plantas, levando em consideração as características específicas de necessidades luminosas das diferentes espécies existentes. Sendo assim, plantas que necessitam de um maior período de exposição à luz, se não receberem a quantidade necessária, suas fases de desenvolvimento não terão seguimento. O mesmo ocorre para plantas que necessitam de pouca luz, quando ficam expostas durante um período maior que o necessário recebendo incidência luminosa.

A fase de reprodução vegetal está fortemente ligada ao fotoperíodo, algumas espécies iniciam esta fase somente em uma condição de incidência solar diária específica (CARNEVSKIS; LOURENÇO, 2018). Da mesma forma, todas as fases da vida das plantas estão associadas ao fotoperíodo, como o crescimento das folhas, caule e raízes, floração e germinação de sementes que dependem de uma iluminação ideal (TEIXEIRA, 2022).

## 2.2 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA AGRICULTURA

Sistemas de automação e inovação em processos no setor da agricultura estão cada vez mais sendo desenvolvidos e aplicados, contribuindo para melhores resultados, tanto no aumento da produção quanto, redução dos custos de operação e diminuição dos riscos de perdas (SILVA, 2022).

A iluminação artificial, aplicada tanto no cultivo total quanto na suplementação, é um dos recursos tecnológicos que estão inseridos para aumentar a produtividade dos cultivares e diminuir as incertezas com relação às perdas, já que vários fatores influenciam no processo produtivo.

### 2.2.1 Suplementação luminosa

São vários os fatores que influenciam no fotoperíodo como dias nublados, sombra projetada na plantação, estações do ano, entre outros (TEIXEIRA, 2022). Para solucionar as deficiências de luminosidade são utilizados sistemas de suplementação de iluminação, utilizando atualmente, lâmpadas LED, para atender as necessidades fotossintéticas das plantas inserindo esta tecnologia nos momentos em que há falta da luz natural do Sol (SILVA, 2020).

Os sistemas de suplementação luminosa são utilizados com um conjunto de demais técnicas de manejo dos cultivos, tais como melhoramento genético, controle

de pragas e irrigação e suplementação mineral. Grande parte destes sistemas podem ser encontrados em grandes lavouras, acoplados juntamente com pivôs de irrigação, como nas soluções desenvolvidas pelo Grupo Fienile, trazendo o controle de duas variáveis, irrigação e luminosidade, em seu pivô de irrigação com lâmpadas led, cor violeta, acopladas (GRUPO FIENILE, 2020). A empresa também possui a tecnologia IRRILUCE, sendo este um pivô somente para suplementação luminosa, para áreas que não necessitam de irrigação complementar, afirmando que na safra de soja entre os anos de 2019 e 2020 no estado de Minas Gerais foi aplicada, em 40 dias, durante a noite e períodos nublados, a suplementação luminosa nas etapas de floração e desenvolvimento de grãos, garantindo um aumento de 66% na produção, partindo de 71 sacas por hectare para 118 com a suplementação.

A Figura 4 apresenta um pivô de irrigação com suplementação luminosa acoplada em uma lavoura com o sistema de iluminação acionado no período da noite.

Figura 4 – Sistema de pivô de irrigação com suplementação luminosa.



**Fonte:** Grupo Fienile, 2020

A suplementação luminosa é aplicada na agricultura, tanto na produção em grandes extensões quanto em pequenas propriedades da agricultura familiar. Contudo, devido sua eficiência, o sistema é aplicado em demais setores, como no esporte, suprindo as deficiências de luz que o gramado das arenas esportivas sofre devido ao formato da construção, normalmente arredondado externamente com abas para proteção das arquibancadas, que acaba sombreando grande parte da grama. Um exemplo é o sistema utilizado na arena do Grêmio, em Porto Alegre - RS (ITOGASS, 2021; GLOBO ESPORTE, 2019). Neste tipo de aplicação os

comprimentos de onda compreendem as faixas de 400 a 700 nm no período de 10 a 12 horas por dia, utilizando lâmpadas de sódio de alta pressão, que geram uma quantidade de dissipação de calor que contribui nos climas de baixas temperaturas (ITOGRASS, 2021). A Figura 5 apresenta um sistema de suplementação luminosa utilizado em gramados de estádios esportivos.

Figura 5 – Suplementação luminosa aplicada em gramados esportivos.



**Fonte:** Itograss, 2021

Dessa forma, pode-se afirmar que a suplementação luminosa pode ser aplicada em vários setores relacionados com o cultivo de plantas, atribuindo resultados positivos significativos ao final do ciclo produtivo ou na manutenção de plantas. Sua viabilidade econômica precisa ser avaliada a partir do tipo de uso que será feito, tamanho da produção e custos de aplicação.

### **2.2.2 Fazendas verticais**

As fazendas verticais são um tipo de cultivo que faz uso da iluminação artificial como seu princípio básico de funcionamento. Sua estrutura é baseada em uma construção, sem especificação de tamanho, para a produção de hortaliças ou frutas em ambiente protegido, com sistema de irrigação que transporta água e nutrientes para a plantação (AMARAL, 2018).

Luz (2017) afirma que as fazendas verticais estão baseadas no cultivo de plantas em níveis, com as estruturas distribuídas de forma vertical uma acima da outra, onde tem-se o controle geral do ambiente, atuando nas variáveis de luz, umidade e temperatura. A Figura 6 apresenta um modelo de fazenda vertical com utilização de iluminação artificial, onde pode-se verificar o aproveitamento do espaço devido a plantação ser construída em vários níveis e, em cada um, está aplicada a

iluminação artificial focada nos comprimentos de onda necessários para o bom desenvolvimento das plantas e que se relaciona com outros tipos de cultivo, como o *indoor*.

Figura 6 – Fazenda vertical com iluminação artificial.



**Fonte:** Ama, 2023

O cultivo em fazendas verticais pode ser estruturado de variadas formas, podendo fazer grandes automações mecânicas ou eletrônicas, aplicando novas tecnologias. Além disso, podem ser aplicadas técnicas de cultivo como hidroponia, onde não há necessidade de ter um solo e os nutrientes são dissolvidos em água que circula por toda a plantação; aeroponia, onde as plantas recebem nutrientes em forma de uma névoa e a aquaponia, sendo um sistema combinado entre hidroponia e piscicultura, tendo circulação de solução nutritiva que passa por dentro do cultivo de peixes (GUNDIM; LIMA, 2020).

Com isso, pode-se verificar que o conceito de fazenda vertical é uma alternativa para produção de alimentos em pequenas áreas e locais onde as condições climáticas não são adequadas para produção de alimentos, devido haver possibilidade de aplicação do controle total de variáveis.

### **2.2.3 Cultivo *Indoor***

O cultivo *indoor* é um modelo de plantação em um ambiente interno, onde são simuladas todas as condições ideais de produção, como iluminação, climatização e irrigação, onde são aplicadas tecnologias para iluminação artificial, controle de temperatura e controle do nível de umidade (SILVA, 2021). Este tipo de cultivo

também é caracterizado por sua proposta de sustentabilidade, contribuindo para a utilização eficiente dos recursos naturais, reduz a necessidade de espaço físico e pode ser utilizado em conjunto a fontes de energia renováveis (CAVALCANTE, 2022).

Este tipo de cultivo pode ser visto em uso em larga escala para ambientes domésticos, com empresas especializadas na construção e comércio de pequenas estufas preparadas com iluminação artificial, através de lâmpadas LED e sistemas de irrigação e climatização. Uma dessas empresas é a Green Power, situada no estado de Santa Catarina com matriz em Florianópolis, que realiza o comércio *online* de estufas, ferramentas, equipamentos e fertilizantes para o cultivo *indoor*. A Figura 7 apresenta uma das estufas vendidas pela empresa Green Power.

Figura 7 – Estufa para cultivo indoor doméstico.



**Fonte:** Green Power Cultivo, [s.d.]

Este tipo de estufa apresentada é preparado para receber iluminação artificial na parte superior e exaustores para o controle da climatização nas laterais. As plantas são colocadas em estruturas com solo onde pode ser instalado um sistema de controle para irrigação automática.

Com isso, pode-se verificar que o cultivo *indoor* é uma das alternativas de cultivo de plantas em ambiente doméstico, utilizando pouco espaço e garantindo as condições ideais para o desenvolvimento das plantas. Também é uma estrutura de cultivo que pode ser aplicada em locais onde as condições naturais não são completamente adequadas para o cultivo de plantas.

## 2.3 COMPONENTES ELETRÔNICOS PARA PROTOTIPAGEM

Para montagem do protótipo foram utilizados os seguintes componentes que serão identificados abaixo.

### 2.3.1 *Arduino* Mega e módulos compatíveis

O *Arduino* foi criado em 2005 sendo uma plataforma de prototipagem de utilização flexível, permitindo grande adaptabilidade para diversas aplicações e compatível com vários módulos eletrônicos de sensoreamento, comunicação, controle e *displays* (JÚNIOR; SILVA, 2015). O *Arduino* Mega possui 70 portas para entrada e saída de informações, sendo que 16 trabalham com dados analógicos e as 54 restantes funcionam de forma digital, também sendo composto pelo processador Atmega1280 e trabalhando com tensão contínua de alimentação de 5 Volts (V) via entrada USB ou tensão contínua de 7 a 12 V via fonte externa (WARREN; ADAMS; MOLLE, 2019). Para o *Arduino* executar as ações desejadas é necessário que seja construído um código de programação contendo as instruções das tarefas que devem ser executadas. Este código é desenvolvido no *software* IDE do *Arduino* em linguagem C e esta ferramenta faz a conversão da linguagem C, considerada de alto nível, para a linguagem de máquina e posteriormente é feito o carregamento deste código no microcontrolador (JÚNIOR; SILVA, 2015).

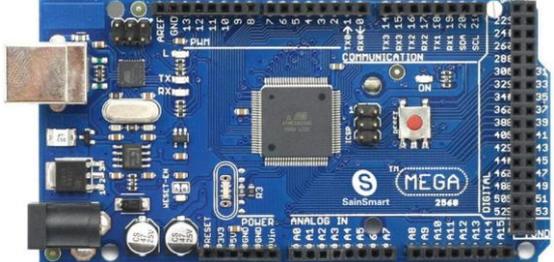
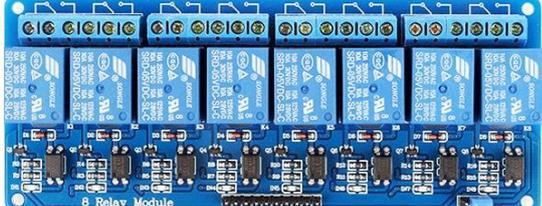
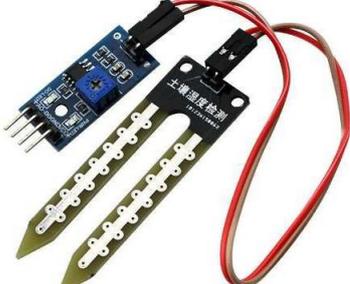
O *Arduino* é excelente recurso para prototipagem por propiciar os seguintes benefícios:

- a) Baixo custo;
- b) Versatilidade;
- c) Programação simples e de código aberto;
- d) Grande quantidade de informações disponíveis.

Existem algumas limitações na utilização do *Arduino*, principalmente relacionadas com sua forma de construção e recursos nativos. Uma limitação está relacionada com a necessidade de adquirir módulos específicos, em alguns modelos, para fazer comunicação remota com a placa, devido não existir recursos próprios. Também pode ser destacada a conexão do *Arduino* com módulos, que quando feita por *jumpers* pode apresentar falhas de comunicação, causando erros na execução das tarefas.

No projeto que está sendo apresentado foram utilizados, além do *Arduino* Mega, componentes para controle de condições de horário, acionamentos e monitoramento de umidade do solo. Os mesmos são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Apresentação dos componentes eletrônicos que compõem o sistema.

Componente	Imagem/representação	Função no projeto
Arduino Mega		<p>Unidade de controle principal que, a partir da programação faz a integração entre todos os módulos conectados.</p>
Módulo RTC DS1302		<p>Monitorar as informações de horas e minutos para controlar o acionamento das lâmpadas.</p>
Módulo Relé		<p>Fazer o acionamento das lâmpadas e válvula solenoide da irrigação.</p>
Válvula Solenoide		<p>Liberar e interromper a circulação de água nos canteiros.</p>
Sensor de Umidade do Solo HL-69		<p>Monitorar o nível de umidade do solo dos canteiros.</p>

Fonte: Autor, 2024

O Quadro 1 apresenta os componentes utilizados no projeto, em conjunto com o *Arduino* com a finalidade de fazer todo o controle e acionamentos necessários na estufa.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica e experimental, demonstrando quais as técnicas e tipo de pesquisa que foram utilizados.

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

##### 3.1.1 Métodos de abordagem

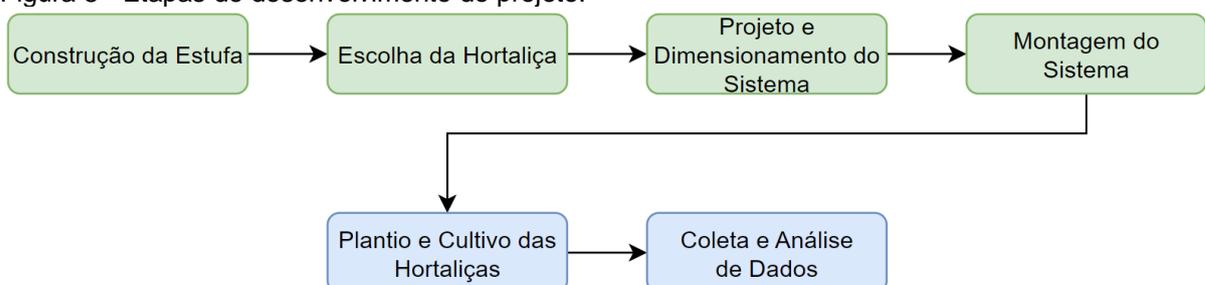
O estudo de caso é classificado com o método de abordagem quantitativo e tipo de pesquisa descritiva-exploratória. Os procedimentos utilizados para a realização da pesquisa foram o procedimento bibliográfico através da busca de informações em livros, artigos e estudos já realizados sobre o assunto, para que seja possível compreender o que já se tem de conhecimento sobre o assunto. O estudo experimental foi realizado por meio da aplicação de suplementação luminosa em parte de uma produção de hortaliças, para posteriormente realizar uma comparação entre o desenvolvimento de plantas que receberam o reforço de iluminação com as que cresceram em condições normais de cultivo, observando que ambas foram conduzidas nas mesmas condições de adubação, temperatura e umidade do solo.

##### 3.1.2 Métodos de procedimentos

O presente estudo foi realizado em uma pequena horta, construída no quintal do terreno de uma residência, localizada na cidade de Horizontina, região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre do ano de 2024.

A Figura 8 apresenta as etapas do desenvolvimento do protótipo.

Figura 8 - Etapas de desenvolvimento do projeto.



Fonte: Autor, 2024

As etapas do projeto do protótipo apresentadas na Figura 8 estão diferenciadas em duas cores. As etapas indicadas em verde foram desenvolvidas apenas uma vez no início do projeto. As etapas na cor azul tiveram duas repetições, devido terem sido feitos dois ciclos de cultivo.

O primeiro passo para iniciar a implantação do experimento foi a escolha da espécie a ser cultivada e onde o projeto seria implantado. Foram feitos dois ciclos de cultivo para validação do sistema, com a utilização de sementes de rúcula, da espécie folha larga, adquiridas em estabelecimento comercial da cidade no primeiro ciclo de cultivo. Para o segundo ciclo, foram utilizadas 160 mudas da mesma espécie de rúcula e, nos dois casos, as plantas cresceram em canteiros com espaçamento de 60 cm x 60 cm cada um.

O experimento contou com oito canteiros, onde dois não tiveram aplicação da suplementação de luz e os demais foram divididos em pares que receberam respectivamente 2h, 4h e 6h de suplementação após as 18h de cada dia, com o ciclo de finalizando às 0h.

O experimento foi implantado em um local com área de 4,7 m x 3,6 m, onde o espaço de plantio ficou limitado 2 m x 4,4 m, em um ambiente protegido, coberto com plástico filme agrícola de 200 micras. As plantas submetidas a iluminação artificial e as que não, foram semeadas e plantadas no solo, o qual recebeu uma adubação uniforme. O ambiente protegido abrigou além das plantas, o sistema de controle, iluminação e irrigação.

O sistema de iluminação utilizou utilizar seis lâmpadas *LED* que emitem radiação com comprimento de onda entre as faixas entre 450 nm e 475 nm e 600 nm e 675 nm, adequadas para o processo de fotossíntese das plantas. As mesmas foram instaladas em uma estrutura a 30 cm de altura em relação as plantas, tendo uma lâmpada por área de 60 cm x 60 cm, seu acionamento foi automático, a partir de relés acionados pelo microcontrolador Arduino.

### **3.1.3 Técnica de coleta de dados**

A técnica de coleta dos dados consiste na observação e levantamento de informações a partir dos dados numéricos e visuais obtidos na experimentação prática.

A umidade foi determinada através de um sensor do tipo sonda, com módulo de comunicação para Arduino, que fez a medição do nível de umidade do solo na

região das raízes das plantas de rúcula e a partir da informação medida, acionou ou não a irrigação. Cada canteiro contou com um sensor para manter a umidade adequada.

A irrigação foi comandada a partir dos sensores de umidade e foi classificada com o tipo microaspersão, pois é uma das formas adequadas para o cultivo da rúcula, onde a água é direcionada diretamente para o solo e não iria afetar os dispositivos eletrônicos.

A medição das plantas foi realizada, durante o período de cultivo, avaliando o comprimento total de cada planta de rúcula. Com isso, foi feita a comparação entre as plantas que receberam a suplementação e as que cresceram em condições naturais.

#### **3.1.4 Análise de dados**

A análise de dados foi feita ao longo do período de cultivo das plantas, com verificação dos dados numéricos e constante observação das condições aplicadas em cada canteiro, fazendo, ao final do ciclo de cultivo, uma avaliação individual das plantas de cada canteiro, comparando os resultados obtidos nos canteiros com e sem suplementação de iluminação.

### **3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS**

Para a realização da pesquisa experimental e coleta dos dados foi necessário reunir os componentes físicos e *softwares* necessários para a montagem e programação do sistema de controle da iluminação da horta, construção de uma estrutura para a instalação do sistema de controle, plantio das hortaliças e instalação do sistema de iluminação. Os materiais utilizados para a construção do sistema automatizado de suplementação de luz e irrigação estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Relação de materiais utilizados, quantidade e valor

Descrição	Quantidade	Valor Unitário
<i>Software</i> Arduino IDE	1 unidade	-
Microcontrolador Arduino Mega 2560	1 unidade	R\$180,00
Lâmpada <i>LED</i> com comprimento de onda específico	6 unidades	R\$64,89
Soquete E27 para lâmpada	6 unidades	R\$4,00
Sensor de umidade do solo com módulo	8 unidades	R\$12,95
Módulo relé 8 canais	1 unidade	R\$69,90
Módulo relé 1 canal	1 unidade	R\$10,90
Válvula solenoide para irrigação	1 unidade	R\$69,90
Módulo RTC ( <i>Real Time Clock</i> ) para Arduino	1 unidade	R\$10,40
Fonte de alimentação 5V-12V	1 unidade	R\$50,00
Fonte de alimentação 12V 1A	1 unidade	R\$15,00
<i>Jumper</i>	79 unidades	R\$0,40
<i>Protoboard</i>	1 unidade	R\$68,90
Fio 1,5 mm - alimentação das lâmpadas	20 metros	R\$2,65
Fio 1 mm - alimentação dos sensores de umidade	20 metros	R\$4,50

**Fonte:** Autor, 2024

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção do trabalho são apresentados os resultados obtidos utilizando a metodologia descrita anteriormente. Estes, em sua totalidade foram baseados a partir da aplicação prática do sistema desenvolvido em uma horta, com o cultivo das hortaliças.

A parte principal do projeto se trata do sistema de iluminação para suplementação luminosa, acionado de forma automatizada, analisado em uma aplicação prática de cultivo de hortaliças para verificar sua funcionalidade e contribuição para o crescimento das plantas.

### 4.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

#### 4.1.1 Preparativos iniciais e construção da estufa

A horta foi construída no quintal de um terreno urbano, conforme Figura 9 (a), onde, primeiramente, foi feita a limpeza do local com a remoção de entulho e adicionada terra adubada com esterco suíno, trazida de uma propriedade rural do mesmo município. No local de construção do projeto havia uma antiga estrutura pré-montada para receber plástico agrícola. Desta forma, foram feitos ajustes na estrutura para ser feita a instalação do plástico e ele não ser danificado quando ventar no local. Posteriormente foi realizada a instalação do plástico agrícola de 200 micras no teto e em torno da estufa, fazendo todo o fechamento do ambiente de produção das hortaliças, que pode ser visualizado na Figura 9 (b).

Figura 9 - (a) Estrutura inicial já existente, (b) estrutura com plástico instalado



Fonte: Autor, 2023

Conforme visualizado na Figura 9 (b), a produção de hortaliças estará protegida de eventos climáticos que possam ocorrer. Após o fechamento da estufa, foi definida a disposição e tamanho dos canteiros de cultivo. Foi definida a área da lateral esquerda do espaço para abrigar os canteiros, cada um deles teve seu espaço definido com a construção de divisórias com pedaços de tábuas de madeira, com altura aproximada de 15 cm e comprimento de 62,5 cm, definindo uma área interna de 60 cm<sup>2</sup> para cada canteiro, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Estrutura de divisórias dos canteiros



**Fonte:** Autor, 2024

Dessa forma, com a delimitação de área construída, a terra que foi adicionada aos canteiros fez com que as plantas ficassem posicionadas a uma altura de 15 cm acima do restante do solo da estufa.

O local possui outras construções e árvores em seu redor, então, antes da construção da estufa foi realizada uma poda parcial de uma árvore que causava grande sombreamento na área. O local possui exposição direta à luz do solar no período das 9h da manhã até aproximadamente 15h30min da tarde.

No local já existia um ponto de água com torneira para a instalação do sistema de irrigação, porém não havia ponto de energia elétrica. Para fazer a alimentação das fontes dos equipamentos do sistema de controle e iluminação foi feita a instalação de um ponto de eletricidade. Para isso foi utilizado um cabo paralelo encapado com seção de 2,5 mm<sup>2</sup>, este, foi ligado diretamente na rede elétrica principal da residência e em sua ponta final foi instalado um pino macho de 20 Amperes (A) e nela ligada uma extensão elétrica com cinco tomadas.

A partir da escolha da espécie de hortaliça a ser cultivada, foi realizado o dimensionamento e projeto do sistema automatizado de acionamento das lâmpadas e irrigação. Primeiramente, foram escolhidas e instaladas as lâmpadas *LED*. Elas foram adquiridas de acordo com o comprimento de onda emitido, estando entre 450 a 475 nm e 600 a 675 nm e a potência de 60 Watts (W), apropriada para canteiros de até 1 m<sup>2</sup> de área, atendendo a necessidade do projeto, apresentada na Figura 11 (a).

Figura 11 - (a) Lâmpada LED com soquete, (b) estrutura para instalação das lâmpadas



**Fonte:** Autor, 2024

Para a instalação das lâmpadas foi elaborada uma estrutura de madeira para cada canteiro, para isso foram utilizados dois pedaços de madeira com 60 cm de comprimento e 10 cm de largura. Foi montada uma estrutura em L, conforme Figura 11 (b), sendo fixadas as duas peças perpendicularmente e enterrada uma delas 10 cm no solo. Na peça que ficou suspensa, foi fixado o soquete, ajustando-o para ficar na posição central do canteiro. A altura da lâmpada foi ajustada a 30 cm do solo, considerando esta medida entre a parte emissora de luz e o solo.

## 4.2 UTILIZAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES ELETRÔNICOS

### 4.2.1 Módulo RTC

Para fazer a condição de acionamento das lâmpadas, através de horário específico, foi escolhido um módulo RTC – *Real Time Clock* (Relógio de Tempo Real), modelo DS1302, apresentado no Quadro 3(a), que é capaz de trabalhar com dados de hora, minuto, segundos, dia, mês, ano e dia da semana. No projeto, será utilizada sua função de trabalho com o horário real, utilizando os dados de hora e minutos, onde seu funcionamento utiliza valores de 0 a 23 para hora, 0 a 59 para minutos. Este

módulo é alimentado com tensão 5 Volts em Corrente Contínua (VDC) e é possível ligar uma bateria 3 VDC que, em casos de corte na alimentação principal do módulo, não haverá parada em seu funcionamento e conseqüentemente não serão perdidas as informações que estavam sendo armazenadas e utilizadas para comandar o acionamento das lâmpadas. Dessa forma, ao retornar o funcionamento do módulo de controle, o código irá fazer a validação das condições estabelecidas utilizando a informação real e atualizada do horário.

#### 4.2.2 Módulo relé 8 canais

A alimentação das lâmpadas é feita com tensão 220 Volts em Corrente Alternada (VAC), com seu acionamento feito por relés, utilizando um relé para cada lâmpada. Foi utilizado um módulo de relé de 8 canais, apresentado no Quadro 3(d), ou seja, um módulo que contém 8 relés, suportando cada um 250 VAC e 10 A, sendo que, deste módulo foram utilizados somente seis relés. A alimentação do módulo relé necessita de duas fontes 5 VDC, onde uma fonte deve ser do controlador (Arduino) e a outra uma fonte externa com a mesma tensão.

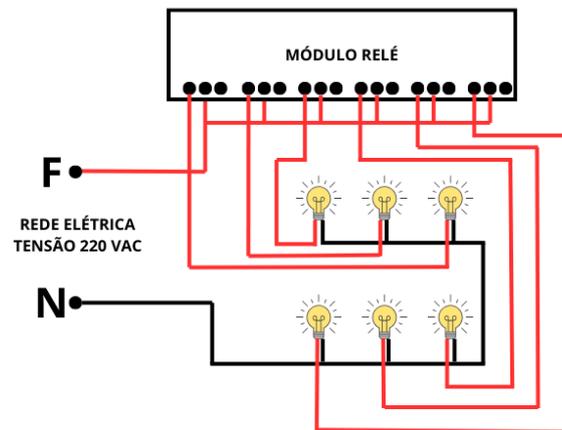
#### 4.2.3 Fio de alimentação para lâmpadas

Para levar a tensão até as lâmpadas, foi utilizado fio paralelo com seção de 1,5 mm<sup>2</sup>, onde foi feito um compartilhamento do neutro e a fase vinda direto da tomada foi compartilhada entre os seis relés e de cada um deles foi retirado um fio para cada lâmpada. Para garantir a segurança do circuito, antes de escolher o fio, foi analisado o consumo de corrente das lâmpadas, onde, considerando que cada lâmpada possui uma potência de 60 W e estariam ligadas em uma tensão de 220 Volts (V) foi feito o cálculo da corrente I consumida, apresentado na equação 2, sendo feita a divisão da potência (P) de cada lâmpada e a tensão (V) consumida, com o resultado multiplicado pela quantidade de lâmpadas existentes.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{60W}{220V} = 0,27A * 6 \text{ Lâmpadas} = 1,62A \quad (2)$$

Dessa forma, considerando o consumo total de corrente de 1,62 A para as seis lâmpadas e que o fio, os relés e o pino macho da tomada utilizados podem suportar até 10 A na tensão de 220V, foi feita a ligação das lâmpadas, juntamente com o módulo de relés, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Esquema de ligação elétrica das lâmpadas

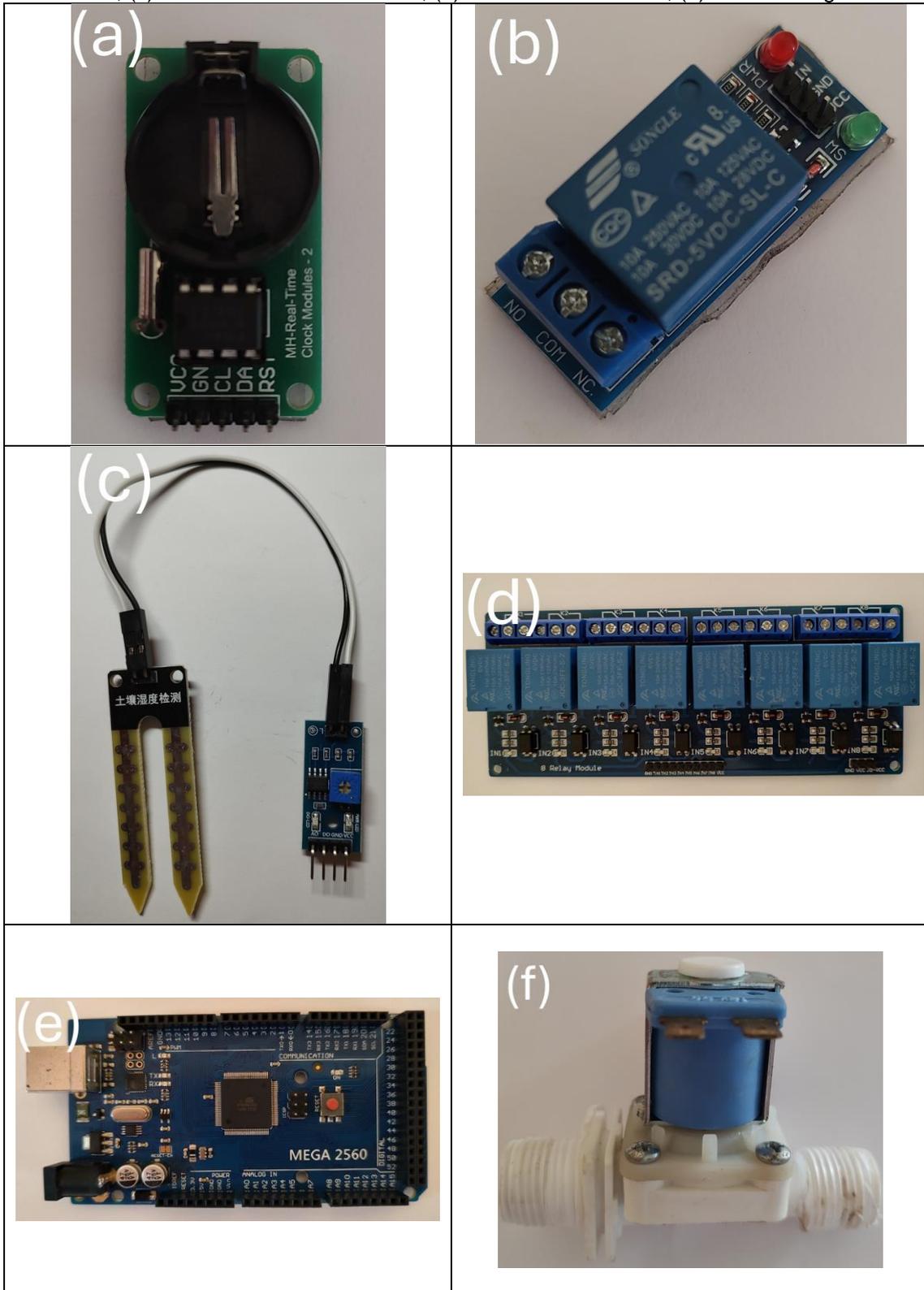


**Fonte:** Autor, 2024

Para fixação das lâmpadas, utilizou-se soquete do tipo E27, sendo este o mais utilizado em circuitos residenciais, também suportando 10 A de corrente máxima de operação em 220 V. Dessa forma o dimensionamento do fio e demais componentes ficou adequado para o projeto e de acordo com a norma NBR 5410.

O Quadro 3 relaciona os módulos eletrônicos de controle e acionamento que foram utilizados na execução do projeto.

Quadro 3 - Componentes eletrônicos utilizados no projeto. (a) Módulo de tempo real (RTC), (b) módulo relé 1 canal, (c) sensor de umidade do solo, (d) módulo relé 8 canais, (e) Arduino Mega 2560



Fonte: Autor, 2024

#### 4.2.4 Sensor de umidade do solo e irrigação

Para fazer o controle automatizado da umidade do solo, foram utilizados oito módulos sensores de umidade do solo do tipo higrômetro, modelo HL-69, apresentado no Quadro 3(c). Este módulo é composto por uma sonda que fica enterrada no solo e diretamente ligada por dois *jumpers* a um módulo eletrônico. A sonda possui dois eletrodos interligados entre si que recebem tensão, a aplicam no solo e a partir do valor de tensão que retorna e é enviado para o módulo, é determinado o nível de umidade existente no solo.

O módulo que recebe a informação de tensão que retorna do solo é alimentado com tensão de 5 V e GND. Seu modo de operação com o microcontrolador pode ser configurado de duas formas, enviando a informação para ele de forma analógica ou digital, bastando verificar na placa do circuito suas marcações, sendo respectivamente A0 e D0 para cada um dos modos.

Seu funcionamento no modo analógico envia para a central de controle um valor que pode variar entre 0 e 1023, com ele é determinado o nível de umidade presente no solo, sendo necessário fazer testes para validar que condição representa cada os valores mais altos e baixos. Dessa forma, no código de programação é possível definir uma condição para acionamento do sistema de irrigação, abrangendo uma faixa específica de valores.

O modo digital funciona enviando uma informação de estado lógico, onde o controlador recebe a informação 0 ou 1, representando *low* e *high* (baixo e alto) respectivamente. Para definir o nível de umidade que irá acionar a irrigação existe um *trimpot*, sendo este um pequeno potenciômetro que ajusta a resistência do circuito do módulo, dessa forma é necessário colocar a sonda em uma condição de umidade em que se deseja definir como seco e ajustar o potenciômetro para acionar neste momento. Assim o módulo vai emitir um sinal luminoso com um *LED* indicador, enviando o valor 1 para o controlador, quando o controlador receber 0, a umidade estará dentro do nível normal. No projeto foi utilizado o módulo em modo digital, enviando valor 1 (*high*) quando o solo estiver seco.

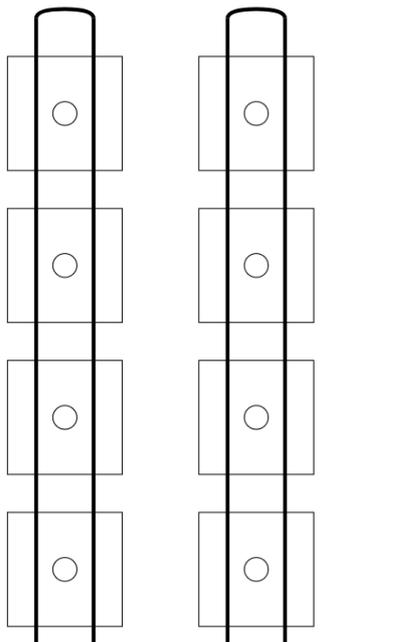
O sistema de irrigação das hortaliças foi construído, utilizando o conceito de microaspersão, utilizando mangueira de jardim, onde foram feitos furos tendo o objetivo de sair um pequeno jato de água direcionado para as plantas. Para fazer o controle da irrigação foi utilizada uma válvula solenoide que comanda a passagem de

água pela mangueira, o ponto de água utilizado possui encanamento de 25 mm em seu final uma torneira.

A válvula solenoide, apresentada no Quadro 3(f), possui internamente um pequeno pistão e uma bobina que, quando acionada com 12 VDC, faz o recolhimento do pistão, liberando a passagem da água, ao desenergizar a bobina, o pistão retorna à posição de repouso bloqueando a passagem de água. Para liberar a tensão de acionamento para a válvula, foi utilizado um módulo relé de um canal, apresentado no Quadro 3(b), que, a partir da informação enviada pelos sensores de umidade do solo recebida pelo controlador, é validada a condição no código de programação e se necessário são liberados 12 V para o solenoide e possibilita a passagem de água.

A construção e conceito de funcionamento da irrigação no projeto consiste em ter a torneira sempre aberta controlando a vazão de forma a ter um jato de água adequado para molhar as plantas nos canteiros. O controle de passagem da água é feito pela válvula, que, conforme características informadas pelo fornecedor, suporta a pressão de água vinda diretamente da rua. Foi utilizado um pequeno pedaço de mangueira para fazer a junção entre a torneira e a válvula solenoide e após a válvula a ligação é feita diretamente com todo o circuito de irrigação que percorre os canteiros, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Esquema de montagem da mangueira de irrigação



Fonte: Autor, 2024

Na Figura 13 pode ser visualizada a forma de montagem do circuito de passagem da água, fazendo a mangueira passar duas vezes em cada canteiro, para que desta forma fossem irrigadas todas as plantas uniformemente, também ficando a uma altura de aproximadamente 20 cm do solo.

#### 4.2.5 Microcontrolador Arduino

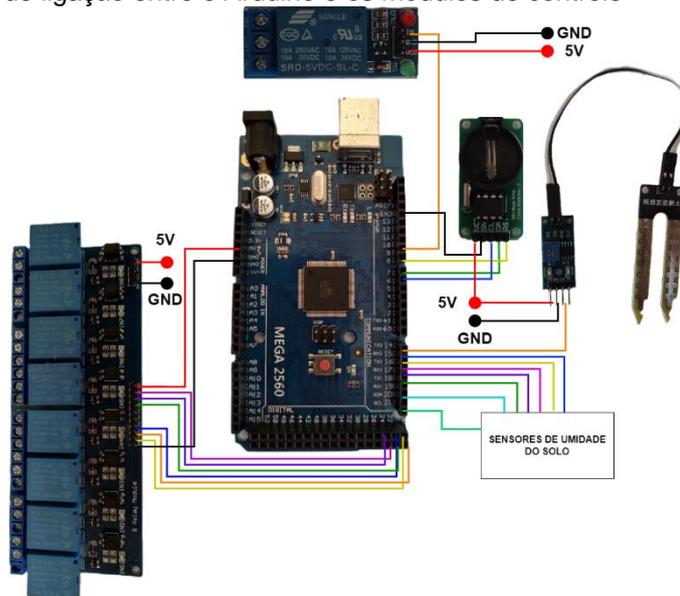
Como unidade de controle foi utilizado o microcontrolador Arduino Mega 2560, apresentado no Quadro 3(e), que possui capacidade de processamento e portas de comunicação suficientes e superior às necessidades do projeto. Este é o responsável por receber as informações de horário e do nível de umidade do solo e, validando condições previamente estabelecidas, faz o acionamento do módulo de relé para ligar ou desligar as lâmpadas e a liberação ou interrupção do fornecimento de água para as plantas. Para fazer a validação das condições é desenvolvido um código de programação em linguagem C, apresentado no Apêndice A, e este posteriormente é carregado para o Arduino. Este código é desenvolvido na IDE (*Integrated Development Environment* ou Ambiente Integrado de Desenvolvimento) do próprio fabricante do microcontrolador, sendo este um *software* com ferramentas para desenvolver o código de programação que será utilizado junto ao Arduino.

O Arduino após ter o código carregado para sua memória vai fazer a validação inicial das variáveis e condições definidas e entrará em *loop*, dessa forma, executando o código de forma ininterrupta, recebendo e enviando informações, validando condições e fazendo acionamentos. Para carregar o código para o Arduino é utilizado um cabo USB A/B que é conectado em sua porta USB B e em um computador, na USB A.

A alimentação de energia do Arduino pode ser feita com o mesmo conectado diretamente a um computador durante sua operação, porém, em situações como a do projeto em questão, onde os componentes ficaram localizados em ambiente externo não há possibilidade de deixar um computador conectado a ele. Sendo assim, foi utilizada uma fonte de 12 VDC e 1 A conectada à sua porta de entrada de energia, que pode trabalhar com uma faixa de tensão entre 7 VDC e 12 VDC devido possuir um regulador de tensão em seu circuito. Esta fonte de alimentação externa pode ser utilizada em paralelo com a alimentação via porta USB, conectando o microcontrolador a um computador para a realização de ajustes no código se necessário.

O microcontrolador possui 16 portas analógicas e 54 digitais, para trabalhar com sensores e demais dispositivos que enviam ou recebem informações respectivamente nas mesmas características. Para o desenvolvimento do projeto, foram utilizadas somente portas digitais para comunicação com todos os sensores e módulos de relés de acionamento das lâmpadas e solenoide de irrigação e módulo RTC, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Esquema de ligação entre o Arduino e os módulos de controle



Fonte: Autor, 2024

A Figura 14 apresenta o esquema de ligação entre o Arduino e os módulos utilizados no projeto. Os sensores de umidade foram representados pela imagem que mostra o conjunto da sonda com o módulo e este ligado ao Arduino em sua saída digital e alimentado com tensão de 5 V, os sete sensores restantes estão representados somente a partir de sua ligação com o Arduino, porém a ligação é feita conforme demonstrado na imagem dos componentes reais.

Para abrigar o Arduino foi construída uma estrutura para o mesmo ser instalado, junto dos módulos RTC e de relés. Esta estrutura foi fixada junto à sustentação de um telhado que há construído ao lado da estufa, assim todos os fios de alimentação de eletricidade e de envio de informações foram passados desde o Arduino, entrando pela parte frontal da estufa e distribuídos até o seu respectivo local de ligação. Com a montagem realizada desta forma, o Arduino e os módulos, que são componentes eletrônicos sensíveis, ficam protegidos da umidade.

### 4.3 TESTES INICIAIS E AJUSTES

#### 4.3.1 Procedimentos iniciais

O primeiro plantio foi realizado no segundo semestre do ano de 2023, onde a única diferença existente no projeto eram os canteiros, eles não possuíam as delimitações de área para concentrar a terra. Nesta primeira aplicação a terra foi adicionada e delimitada manualmente, sendo esta também misturada com esterco suíno e trazida de uma propriedade rural do interior do município e o plantio foi feito com mudas de rúcula da espécie folha larga. Porém, no dia 5 de outubro de 2023, após uma forte chuva, ocorreu o acúmulo de grande quantidade de água em cima do plástico da estufa, formando alguns bolsões de água, fazendo com que a estrutura de ferro fosse deformada e acabou caindo ao chão, danificando as plantas que estavam com menos de uma semana de plantio, além de derramar grande quantidade de água que removeu parte das plantas dos canteiros. Sendo assim foi necessário recomeçar o projeto.

Após fazer uma reforma e reforços na estrutura da estufa, também foram consertados alguns rasgos no plástico para evitar entrada de água da chuva e reconstruídos os canteiros, da forma como o projeto seguiu até seu final. Antes de fazer o plantio para o início da avaliação do crescimento das plantas, foram feitos testes de acionamento das lâmpadas e irrigação, validando como seu funcionamento iria ocorrer, dentro das mesmas condições definidas para operação no período de cultivo das plantas.

#### 4.3.2 Testes do sistema de iluminação artificial

Ao iniciar os testes da iluminação, foi verificado um problema na condição de desligamento do último par de lâmpadas, que seria feito à 1h de cada dia. O acionamento ocorria corretamente, ligando todas as lâmpadas às 19h e desligando o primeiro par às 21h, porém ao chegar às 23h todas as lâmpadas restantes eram desligadas, sendo que o segundo par, somente, deveria desligar. Então, ao verificar que a condição que faz a validação do horário de desligamento total, identificando se ele é maior que 23 e menor ou igual à 1 estava ocasionando o problema do acionamento incorreto, com isso, foi realizada uma análise do princípio de funcionamento do módulo RTC. Este utiliza valores de 0 até 23 para as horas, porém

não tendo a compreensão de tempo, somente de valores inteiros. Dessa forma foi encontrado um problema de lógica de programação, onde o código acabou por não conseguir fazer a comparação de valores maior que 23 e menor ou igual à 1.

Para corrigir a condição de desligamento do último par de lâmpadas, foi realizada uma mudança geral dos horários de acionamento, onde todas as lâmpadas passaram a ser ligadas às 18h de cada dia, às 20h as lâmpadas 5 e 6 são desligadas, às 22h às lâmpadas 3 e 4 desligam e às 0h as lâmpadas 1 e 2 são desligadas. Como novas condições de acionamento foram definidas as seguintes condições apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Condições de acionamento das lâmpadas

Canteiro/Lâmpada	Ação	Condição
1,2,3,4,5 e 6	Liga	horas $\geq$ 18 e $<$ 20
5 e 6	Desliga	horas $\geq$ 20 e $<$ 22
3 e 4	Desliga	horas $\geq$ 22 e $\leq$ 23 e minutos $\leq$ 59
1 e 2	Desliga	horas $>$ 23 e minutos $>$ 59

Fonte: Autor, 2024

Com as condições estabelecidas acima temos que, após todas as lâmpadas serem ligadas às 18h, quando atingido o horário das 20h as lâmpadas 5 e 6 desligam e 1, 2, 3 e 4 ficam ligadas pois a condição não foi atendida para seu desligamento. A partir das 22h as lâmpadas 3 e 4 serão desligadas, as lâmpadas 5 e 6 permanecerão desligadas e somente 1 e 2 vão ficar ligadas. Quando chegar no horário das 0h as lâmpadas 1 e 2 também serão desligadas, tendo todas as lâmpadas desligadas e permanecendo desta forma até às 18h do próximo dia. Nos testes realizados com as novas condições definidas não ocorreram problemas de acionamento, tendo o sistema um ótimo funcionamento e atendimento dos horários corretamente.

### 4.3.3 Testes e parametrização do sistema de irrigação

Para fazer o acionamento da irrigação, após ter previamente definido que o modo de operação dos módulos dos sensores seria de forma digital, foram realizadas medições em vários níveis de umidade para entender como seria o formato da informação enviada para o Arduino. Para isso foi adicionada água na terra dos canteiros em níveis e locais diferentes, foi verificado visualmente até qual profundidade o solo apresentava umidade e a quantidade de água existente. Na condição que foi mais adequada para a sobrevivência das plantas foi realizado o

ajuste do *trimpot* do módulo do sensor para que este nível de umidade fosse considerado ideal e quando identificasse o solo com menor umidade fizesse o acionamento da irrigação, com o objetivo de sempre manter uniforme o nível de umidade nos canteiros.

#### 4.4 CICLOS DE CULTIVO E COLETA DE DADOS

O projeto contou com dois ciclos de cultivo da mesma espécie de hortaliça, rúcula folha larga. Nos dois períodos de produção foram mantidas exatamente as condições de luminosidade artificial e nos mesmos canteiros, sendo alterados somente as características da irrigação, a forma de plantio e a quantidade de plantas existentes em cada canteiro.

##### 4.4.1 Primeiro ciclo de cultivo

O primeiro ciclo de cultivo foi iniciado no dia 17/03/2024, onde foram utilizadas 30g de sementes de rúcula, da espécie folha larga, que foram espalhadas por toda a área de cada canteiro, sem um padrão definido. Este período de cultivo iniciou com a irrigação funcionando com o nível de umidade definido a partir do ajuste dos módulos dos sensores, conforme os experimentos realizados. Durante este período o clima se manteve quente, com temperaturas chegando facilmente aos 30 °C, o que possivelmente colaborou para a rápida germinação das sementes, que em apenas dois dias já possibilitou ver algumas plantas saindo da terra. No dia 21/03/2024 era possível ver uma grande população de plantas já crescendo, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Grande população de plantas no dia 21/03/2024



Fonte: Autor, 2024

Após a fase inicial de crescimento, apresentada na Figura 15, que ocorreu até por volta do dia 02/04/2024, foi possível verificar as primeiras diferenças no desenvolvimento das plantas, quando comparados os canteiros com e sem suplementação de luz. As plantas já haviam passado do período inicial de desenvolvimento, ocorrendo, desta forma, o crescimento das folhas e ao verificar os canteiros que estavam sob a iluminação artificial notava-se maior crescimento das plantas principalmente as que estavam situadas na região central do canteiro, onde também está localizada a lâmpada. Ao comparar as plantas dos canteiros que estavam submetidos somente à luz natural com os demais, foi constatado que estas plantas apresentavam folhas com tamanho de comprimento e largura muito menores. O cultivo seguiu desta forma, com uma diferença bastante visível em relação ao crescimento das plantas que contavam com a suplementação luminosa, podendo fazer considerações de que os canteiros que ficavam sob a iluminação artificial de duas e quatro horas apresentavam as maiores plantas, com tamanhos semelhantes.

A irrigação iniciou de forma automática a partir do dia 21/03/2024, pois no momento do plantio, no dia 17/03, foi adicionada água no solo devido estar seco e após plantar as sementes a irrigação foi feita manualmente com cuidado para não remover a terra e ocorrerem problemas de germinação. Dessa forma, após as plantas já apresentarem sustentação, foi acionado o sistema de irrigação automático. A partir dos furos feitos na parte lateral da mangueira um pequeno jato de água era direcionado para as plantas e o solo. Ao decorrer do funcionamento foram identificados alguns problemas com este sistema, um deles foi o tipo de mangueira utilizado que por ser de um material com maleabilidade e, devido estar a 20 cm de altura do solo, estava apoiada a cada 80 cm entre os canteiros e com o peso da água que percorria a mangueira, a mesma acabava deformando em alguns pontos, conforme visualizado na Figura 16, fazendo com que a água não circulasse de forma uniforme por todos os canteiros, devido à baixa pressão do encanamento.

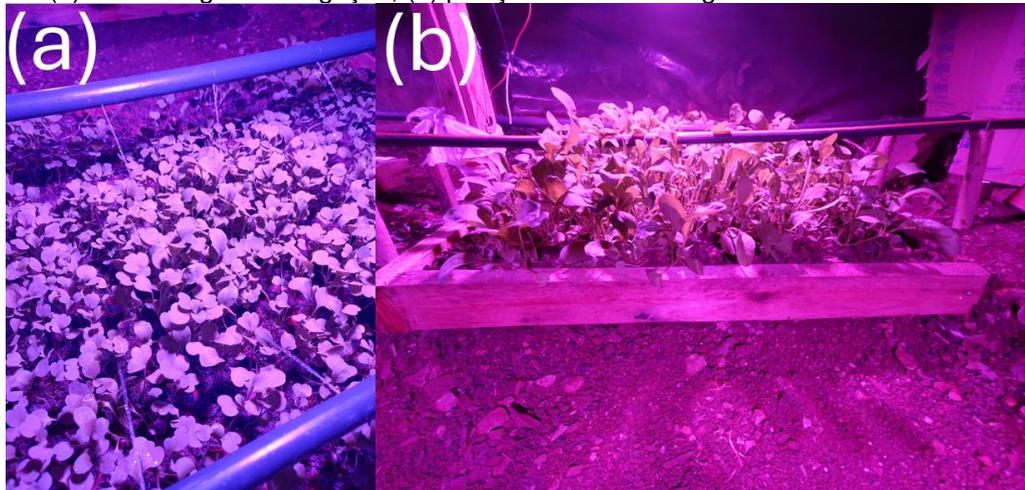
Figura 16 - Mangueira abaixando com o peso da água



Fonte: Autor, 2024

Para solucionar o problema da deficiência de irrigação apresentado no Figura 16, foi realizada a substituição da mangueira de jardim por uma específica para o uso em sistemas de irrigação, sendo construída com material rígido. Nesta, foram feitos furos de 1 mm nas laterais para a saída da água, foi mantida à 20 cm de altura do solo, apoiada a cada 80 cm e, por não apresentar deformação, os canteiros eram irrigados de forma uniforme.

Figura 17 - (a) Jato de água da irrigação, (b) posição da nova mangueira



Fonte: Autor, 2024

A Figura 17(a) apresenta como o jato de água sai, pelo furo de 1 mm da mangueira, onde a torneira foi ajustada para não haver uma vazão muito grande de água e o jato não ter força suficiente para danificar as plantas. Na Figura 17(b) pode ser visualizada a posição da mangueira de irrigação, em relação a sua altura, em meio as plantas.

O segundo problema encontrado na irrigação foi que as plantas acabavam ficando com excesso de umidade devido ao solenoide de controle da irrigação ser

acionado muitas vezes por dia, a partir das variações na detecção de umidade identificadas pelo sensor, além do que, a água em excesso era direcionada para as folhas das plantas, conforme ocorria o crescimento delas, e normalmente passavam o período da noite molhadas. Para contornar o excesso de água foram desativados os sensores de umidade e a irrigação foi controlada manualmente, utilizando o sistema físico já instalado.

O cultivo estava apresentando bons resultados de crescimento e principalmente uma grande diferença de tamanho entre as plantas que estavam sendo suplementadas com a iluminação artificial. Porém quando as plantas atingiram 21 dias de cultivo foi observado um início de murchamento, principalmente das plantas que estavam na parte central dos canteiros, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Canteiro com grande parte das plantas mortas



**Fonte:** Autor, 2024

Na Figura 18, pode ser visto que ao decorrer dos dias as plantas foram murchando cada vez mais até ocorrer a morte de quase a totalidade da população de plantas dos canteiros, onde era possível observar que as folhas estavam com sua aparência murcha, porém ao tocar nas folhas pode-se notar que estavam com a textura viscosa, com grande nível de umidade. Sendo assim, foram mantidas as plantas restantes, sob as mesmas condições de iluminação e umidade até o dia 21/04/2024.

Em relação ao sistema de acionamento da iluminação artificial, o módulo RTC, responsável por controlar o horário, fez o controle e enviou corretamente as informações ao Arduino. Porém, seu recurso de manter o circuito energizado com uma bateria em caso de falta de eletricidade não funcionou, onde, ocorreram algumas

situações de queda na eletricidade e o mesmo acabou desligando e perdendo as informações, sendo necessária uma intervenção para o ajuste do horário via código de programação, conectando o Arduino a um computador.

Durante o período de cultivo das hortaliças, para fins de validação de funcionamento do sistema automatizado de suplementação de luz, foi verificado que o sistema funcionou corretamente, sendo acionado automaticamente todos os dias, nos horários pré-estabelecidos, onde pode ser vista uma representação de como é o ambiente de produção com a aplicação deste tipo de iluminação na Figura 19.

Figura 19 - Lâmpadas acesas



**Fonte:** Autor, 2024

A Figura 19 mostra o efeito da lâmpada *LED* que emite luz com os comprimentos de onda que mais são aproveitados pelas plantas no processo de fotossíntese, sendo elas os tons visíveis de vermelho e azul, resultando na cor violeta apresentada.

Também foi possível comprovar o impacto positivo da suplementação de luminosidade com luz artificial no crescimento das plantas, quando comparados os canteiros com e sem a utilização deste recurso, tendo assim, plantas maiores em menor tempo de cultivo. Fazendo uma avaliação visual, logo percebe-se a diferença, principalmente na altura das plantas, com imagens de comparação apresentadas no Apêndice B.

#### 4.4.2 Segundo ciclo de cultivo

O segundo ciclo de cultivo iniciou no dia 21/04/2024, sendo feito novamente o plantio da rúcula folha larga. Primeiramente foram removidas as plantas que restaram da primeira avaliação de crescimento e adicionada uma pequena quantidade de terra nos canteiros, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Canteiros preparados para o novo ciclo de cultivo



**Fonte:** Autor, 2024

Também pode ser visto na Figura 20 que, para este período de cultivo, foi realizada uma mudança na irrigação, onde foram removidos os pontos de apoio da mangueira, agora ficando em contato direto com o solo dos canteiros.

Também foi realizada uma segunda alteração, sendo esta, feita foi na forma de plantio, desta vez foram plantadas 160 mudas, divididas em oito canteiros, totalizando 20 mudas por canteiro, demonstrado na Figura 21(a,b). Estas, foram adquiridas em uma loja agropecuária do município e já contavam com, aproximadamente, sete dias de vida.

Figura 21 - (a) Vista aérea de todos os canteiros, (b) destaque para um canteiro



Fonte: Autor, 2024

Antes de fazer o plantio, o solo foi umedecido e foram feitas pequenas covas para receber as mudas, que foram posicionadas de forma com que ao ser ativada a irrigação o jato de água atingisse a área do solo próxima de cada planta. A condição de suplementação luminosa permaneceu a mesma, com o acionamento das lâmpadas às 18h, desligando um par a cada duas horas e desligando totalmente às 0h. A irrigação voltou a ser automática, devido ao novo posicionamento da mangueira que não iria molhar diretamente as folhas, sendo a água direcionada para a área das raízes das plantas.

Logo após o plantio, foi verificado que, na terra que foi adicionada aos canteiros existia uma grande população de pequenos crustáceos conhecidos popularmente como tatu bolinha. Estes, estavam se movimentando na região das raízes das plantas, acabaram matando uma pequena parte das mesmas e impediam as demais de crescer de forma reta e na vertical, além de estarem se alimentando das folhas. Dessa forma, a partir deste fato que ocorreu por um período de 15 dias e o clima com temperaturas mais baixas, na faixa de 20 °C, e dias nublados o crescimento das plantas foi prejudicado, demorando mais tempo para ser possível visualizar resultados expressivos, porém era possível ver que existiam diferenças entre as plantas que receberam luminosidade artificial para as que não receberam. Para não ocorrer a perda das plantas, foi feito um tratamento químico para eliminar os crustáceos que estavam atacando as mesmas e após três dias as plantas já apresentaram retomada do crescimento.

Após o crescimento ser retomado, o cultivo ocorreu normalmente com as plantas que restaram em cada canteiro, porém ao acompanhar o funcionamento da irrigação, foi verificada uma certa falha de funcionamento dos sensores de umidade, que já não estavam mais detectando corretamente o nível de umidade do solo. Os sensores apresentavam intermitência de funcionamento e novamente, assim como no primeiro cultivo, foram desativados e o processo de irrigação foi acionado manualmente, ligando a válvula solenoide diretamente com uma fonte 12 V.

As plantas receberam iluminação artificial até o dia 24/05/2024, assim completando um período de 33 dias e tendo alguns dias de carência, considerando que o plantio foi feito com mudas e nos primeiros dias não houve crescimento. Ao final deste ciclo foi possível determinar que novamente a suplementação de luz impactou positivamente, resultando em um maior crescimento das plantas que ficaram sob à luz artificial, principalmente nos canteiros 1, 2, 3 e 4, sendo estes os pares que ficaram, respectivamente, seis e quatro horas sendo suplementados, com imagens de comparação apresentadas no Apêndice C.

#### 4.4.3 Comparação dos resultados

Durante os dois ciclos de cultivo foram feitas medições de tamanho das plantas, o fator avaliado foi o crescimento em altura, devido a folha ter uma área muito pequena e visualmente era a característica mais notável de comparação entre as plantas. As medições foram realizadas com uma amostra aleatória de plantas do canteiro.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no primeiro ciclo de cultivo, com a medição feita no dia 09/04/2024.

Tabela 1 - Medições feitas no dia 09/04/24 no primeiro ciclo de cultivo

PRIMEIRO CICLO DE CULTIVO			
Data da Medição	Canteiro	Suplementação	Média (cm)
09/04/2024	1	6h	15,2
09/04/2024	2	6h	14,7
09/04/2024	3	4h	14,6
09/04/2024	4	4h	15,2
09/04/2024	5	2h	16,1
09/04/2024	6	2h	15,3
09/04/2024	7	Não Suplementado	13,3
09/04/2024	8	Não Suplementado	14,1

Fonte: Autor, 2024

Analisando a Tabela 1, pode se verificar que de fato os canteiros com a suplementação apresentaram tamanhos médios maiores. Os canteiros 1, 2, 3 e 4 tiveram resultados numéricos muito parecidos, porém, visualmente, as plantas dos canteiros 3, 4, 5 e 6 possuíam melhor aparência.

A Tabela 2 apresenta os resultados da primeira medição realizada no segundo período de cultivo, no dia 02/05/2024.

Tabela 2 - Primeira medição feita no segundo ciclo de cultivo, no dia 02/05/24

SEGUNDO CICLO DE CULTIVO			
Data da Medição	Canteiro	Suplementação	Média (cm)
02/05/2024	1	6h	7,4
02/05/2024	2	6h	6,7
02/05/2024	3	4h	6,8
02/05/2024	4	4h	6,6
02/05/2024	5	2h	7,2
02/05/2024	6	2h	7,1
02/05/2024	7	Não Suplementado	5,6
02/05/2024	8	Não Suplementado	5,5

Fonte: Autor, 2024

No momento da primeira medição do segundo ciclo de produção, haviam passados 11 dias desde o plantio que foi realizado no dia 21/04/2024. Mesmo com plantas pequenas, já foi possível identificar que as plantas que não estavam sendo suplementadas com luminosidade apresentaram tamanhos menores, sendo que neste período o destaque foi para os canteiros 5 e 6 que recebem o menor tempo de suplementação, apenas duas horas.

A Tabela 3 apresenta as médias de tamanho da segunda medição feita no segundo período de plantio.

Tabela 3 - Segunda medição feita no segundo ciclo de cultivo no dia 19/05/24

SEGUNDO CICLO DE CULTIVO			
Data da Medição	Canteiro	Suplementação	Média (cm)
19/05/2024	1	6h	15,2
19/05/2024	2	6h	14,3
19/05/2024	3	4h	15,8
19/05/2024	4	4h	13,8
19/05/2024	5	2h	13,6
19/05/2024	6	2h	13,2
19/05/2024	7	Não Suplementado	11
19/05/2024	8	Não Suplementado	9,5

**Fonte:** Autor, 2024

Nesta segunda medição do segundo ciclo de cultivo as plantas estavam plantadas há 28 dias. A medição foi realizada neste intervalo devido as plantas estarem sofrendo ataque de pragas, sendo assim, não houve mudança no crescimento por um período de aproximadamente 15 dias. Nesta verificação os canteiros 1 e 2, sendo os que receberam o maior tempo de suplementação, com seis horas, apresentaram em dados numéricos e visualmente maior tamanho das plantas e novamente os canteiros sem suplementação estavam com uma diferença considerável em relação aos demais. Esta diferença de tamanho para os canteiros que receberam maior tempo de luz artificial pode estar relacionada com o clima, que apresentou vários dias nublados.

A Tabela 4 apresenta a terceira e última medição feita no segundo período de cultivo das hortaliças.

Tabela 4 - Terceira medição feita no segundo período de cultivo no dia 02/06/24

SEGUNDO CICLO DE CULTIVO			
Data da Medição	Canteiro	Suplementação	Média (cm)
02/06/2024	1	6h	24,9
02/06/2024	2	6h	22,3
02/06/2024	3	4h	24,8
02/06/2024	4	4h	22,5
02/06/2024	5	2h	23,6
02/06/2024	6	2h	22,2
02/06/2024	7	Não Suplementado	19,4
02/06/2024	8	Não Suplementado	17,5

**Fonte:** Autor, 2024

Esta medição foi feita, deixando um intervalo de tempo de 14 dias e mesmo após as luzes não sendo acionadas desde o dia 24/05/2024, para verificar como seria o comportamento das plantas. Foi possível verificar que, no final do ciclo produtivo a aplicação das lâmpadas apresentou resultados positivos para os canteiros, que apresentavam uma certa uniformidade de tamanho de plantas, além de ter maior tamanho. Nos canteiros que estavam somente sob a luz natural existem plantas de tamanhos variados, além do que as maiores plantas existentes são menores quando comparadas com os canteiros que receberam suplementação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de iluminação artificial para processos de produção de plantas é um recurso já utilizado em diferentes tipos de plantações e de diversas formas, como em cultivos em ambiente interno e para fazer a suplementação da luz natural. Com isso, foi realizado um estudo de fundamentação teórica sobre o processo de fotossíntese das plantas, decomposição da luz solar e o funcionamento de lâmpadas *LED*. Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver um sistema automatizado de pequeno porte para fazer a suplementação de luminosidade na produção de hortaliças, utilizando lâmpadas *LED* que emitem radiação com comprimento de onda específico para o processo de fotossíntese das plantas. Após a etapa de experimentação foi alcançado o objetivo geral do trabalho.

Após dimensionamento e a construção do projeto, percebeu-se que o sistema de controle e acionamento das lâmpadas, se mostrou extremamente robusto, não apresentando qualquer tipo de falhas ou erros em seu funcionamento durante todo o período de estudo. O sistema de irrigação não apresentou o resultado desejado, sendo necessário desativar o mesmo nos dois ciclos de cultivo.

Durante o período de crescimento das plantas pode-se concluir que, pelo fato de as lâmpadas emitirem radiação com os comprimentos de onda que as plantas fazem maior absorção, há uma otimização do processo de crescimento. Em todas as observações e medições das plantas as que estavam sendo suplementadas sempre apresentaram maiores tamanhos em um mesmo período, quando comparadas com as plantas que ficavam expostas somente à luz natural. Também foi observado que quando o clima estava com maiores períodos de luz natural os canteiros que recebiam duas e quatro horas tiveram melhores resultados, já no período de dias nublados as plantas que ficaram seis horas cresceram mais.

## REFERÊNCIAS

AMA. **Baixo consumo de hortaliças desafia agricultura vertical no Brasil.** [S. l.], 8 fev. 2023. Disponível em: <https://blog.cidadeama.com.br/baixo-consumo-de-hortalicas-desafia-agricultura-vertical-no-brasil/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

AMARAL, Cristiane de Avila. **Vertical Farm (Fazenda Vertical): análise da quantidade do investimento usando protótipo de empreendimento imobiliário.** Orientador: João da Rocha Lima Jr. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. DOI 10.11606/D.3.2018.tde-09042018-151952. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-09042018-151952/publico/CristianedeAvilaAmaralCorr18.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

CARNEVSKIS, Elisabeth Lima; LOURENÇO, Leandro Fellet. **AGROMETEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA.** Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO S.A., 2018. 228 p. ISBN 978-85-9502-867-8. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595028678>. Acesso em: 5 jun. 2023.

CAVALCANTE, Rosyane Costa. **EFEITO DE DIFERENTES LUMINÁRIAS LED NA FOTOSÍNTESE DA ALFACE CULTIVADA EM AMBIENTE CONTROLADO.** Orientador: Clarice Aparecida Megguer. 2022. Dissertação (Mestrado em Oleicultura) - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Goiano - Campus Morrinhos, [S. l.], 2022. Disponível em: [https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2509/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20ROSYANE\\_COSTA.pdf](https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2509/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20ROSYANE_COSTA.pdf). Acesso em: 12 jun. 2023.

DANELUZZI, Gabriel. **Fotoperíodo e fotoperiodismo: impacto da luz do dia em plantas e animais.** [S.l.], 04 dez. 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-fotoperiodo-fotoperiodismo>. Acesso em: 7 jul. 2024.

DUQUE, Nathalia. **Fotossíntese das plantas:** Entenda esse processo e suas fases. [S. l.], 2 abr. 2013. Disponível em: <https://www.estudopratico.com.br/fotossintese-das-plantas-entenda-esse-processo-e-suas-fases/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

GLOBO ESPORTE. **Arena do Grêmio reforça iluminação artificial para tratamento do gramado.** [S. l.], 15 jul. 2019. Disponível em: <https://ge.globo.com/rs/futebol/times/gremio/noticia/arena-do-gremio-reforca-iluminacao-artificial-para-tratamento-do-gramado.ghtml>. Acesso em: 5 jun. 2023.

GROW POWER. **Estufa Green House Combat PRO 40x40x120.** [S. l.], [2022]. Disponível em: <https://www.growpowercultivo.com.br/produto/estufa-green-house-combat-pro-40x40x120.html>. Acesso em: 12 jun. 2023.

GRUPO FIENILE. **LUZ NO CAMPO:** A maior inovação da agricultura mundial. [S. l.], 12 mar. 2020. Disponível em: <https://www.grupofienile.com.br/post/luz-no-campo-a-maior-inova%C3%A7%C3%A3o-da-agricultura-mundial>. Acesso em: 7 jun. 2023.

GUEDES, Philip Tavares. Introdução. In: GUEDES, Philip Tavares. **Desenvolvimento de um sistema supervisor e montagem de um protótipo de cultivo indoor**

**automatizado.** Orientador: Diógenes Viegas Mendes Ferreira. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2021. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/3162>. Acesso em: 21 maio 2023.

GUIMARÃES, Inah de Almeida Bossi. **Análise e Dimensionamento de Sistema de Iluminação Artificial com LEDs para Suplementação Luminosa no Cultivo de *Humulus lupulus*.** Orientador: Pedro Santos Almeida. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engenhariaeletrica/files/2018/01/TTC-Inah-Guimar%C3%A3es-Inah-Almeida.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2023.

GUNDIM, Lady Laura Soares; LIMA, Renata Priore. FAZENDA VERTICAL COMO MODELO SUSTENTÁVEL DE AGRICULTURA URBANA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 12, p. 1-15, 30 mar. 2020. DOI 10.59306/rgsa.v12e12023e18784. Disponível em: [https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/18784](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/18784). Acesso em: 12 jun. 2023.

ITOGRASS. **ITOGRASSEM CAMPO:** Iluminação Artificial. [S. l.], 15 out. 2021. Disponível em: <https://itograss.com.br/noticias/itograssemcampo-iluminacao-artificial/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

JÚNIOR, Sérgio Luiz S.; SILVA, Rodrigo A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos.** São Paulo: SRV Editora LTDA, 2015. E-book. ISBN 9788536518152. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518152/>. Acesso em: 07 jul. 2024.

LUZ, Marcella. **CULTIVO URBANO:** Fazenda vertical de apoio a EPAGRI e UFSC. Orientador: Larissa Carvalho Trindade. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade do Sul de Santa Catarina, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/16002/1/TCC%201%20-%20CULTIVO%20URBANO.2017-B.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.

MELO, Paulo Cesar Tavares de; VILELA, Nirlene Junqueira. **Importância da cadeira produtiva brasileira de hortaliças.** Curso Técnico de Agronegócios: Oleicultura, Fortaleza: Escola Estadual de Educação Profissional - EEEP, p. 237, 2013. Disponível em: [http://licita.seplag.ce.gov.br/pub/198956%5C198956\\_2013123113428\\_olericultura.pdf](http://licita.seplag.ce.gov.br/pub/198956%5C198956_2013123113428_olericultura.pdf). Acesso em: 21 maio 2023.

SCHWAMBACH, Cornélio; SOBRINHO, Geraldo Cardoso. **FISIOLOGIA VEGETAL:** Introdução às Características, Funcionamento e Estruturas das Plantas e Interação com a Natureza. 1. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2014. 192 p. ISBN 978-85-365-2157-2. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536521572>. Acesso em: 4 jun. 2023.

SILVA, Alessandro Sabino da. **Aspectos produtivos, qualitativos e fisiológicos do pimentão submetido à aplicação foliar de extrato de *Ascophyllum nodosum* e suplementação luminosa**. Orientador: Simone da Costa Mello. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2020. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-07052020-102744/publico/Alessandro\\_Sabino\\_da\\_Silva\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-07052020-102744/publico/Alessandro_Sabino_da_Silva_versao_revisada.pdf). Acesso em: 5 jun. 2023.

SILVA, Aline Oliveira da. **Efeito do uso da iluminação artificial (LED) no armazenamento de sementes de feijão-caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Orientador: Diocléa Almeida Seabra. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal da Amazônia - UFRA, [S. l.], 2022. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2079>. Acesso em: 5 jun. 2023.

SILVA, Luciano de Melo. **MANEJO DA ILUMINAÇÃO EM CULTIVO INDOOR DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.)**. Orientador: Rafael Vasconcelos Ribeiro. 2021. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico Programa de Pós-Graduação, Campinas, SP, 2021. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb114919.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SILVEIRA, Talita Antonia da; CEOLA, Gessiane. **FISIOLOGIA VEGETAL**. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO S.A., 2019. 228 p. ISBN 978-85-9502-925-2. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595029262>. Acesso em: 5 jun. 2023.

SOUZA, Paulo Marcelo de et al. **Diferenças regionais de tecnologia na agricultura familiar no Brasil**. Revista de Economia e Sociologia Rural, [S. l.], p. 594-617, 28 nov. 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.169354>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/3fRGp9DWRgFwKKqj59BT85J/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 21 maio 2023.

TEIXEIRA, Messias de Lara. **ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA COM LÂMPADAS LED NO CULTIVO DE ALFACE**. Orientador: Paulo César Vargas Luz. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, [S. l.], 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/27930>. Acesso em: 10 jun. 2023.

WARREN, John-David; ADAMS, Josh; MOLLE, Harald. **Arduino para robótica**. São Paulo: Editora Blucher, 2019. E-book. ISBN 9788521211532. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521211532/>. Acesso em: 07 jul. 2024.

## APÊNDICE A

```

//=====Inclusão de Bibliotecas=====
#include <virtuabotixRTC.h> //BIBLIOTECA PARA USO DO MÓDULO DE TEMPO REAL -
RTC DS1302
//=====Definição de Hardware=====
//PINOS DO MÓDULO RTC (MÓDULO DE TEMPO REAL)
#define clk 6
#define dat 7
#define rst 8
//PORTAS DOS RELÉS PARA ACIONAMENTO DAS LÂMPADAS
int lamp_1 = 22;
int lamp_2 = 23;
int lamp_3 = 24;
int lamp_4 = 25;
int lamp_5 = 26;
int lamp_6 = 27;
//PORTA DO RELÉ PARA ACIONAR O SOLENÓIDE DE CONTROLE DA IRRIGAÇÃO
int rele_solenode = 9;
//PORTAS PARA DOS SENSORES DE UMIDADE DO SOLO - 0 = SOLO ÚMIDO|1 = SOLO SECO
int sensor_1 = 14;
int sensor_2 = 15;
int sensor_3 = 16;
int sensor_4 = 17;
int sensor_5 = 18;
int sensor_6 = 19;
int sensor_7 = 20;
int sensor_8 = 21;
//=====Variáveis para Configuração de Horário=====
#define segL 20
#define minL 00
#define horL 19
#define d_segL 2
#define d_mesL 8
#define mesL 4
#define anoL 2024
//=====Objeto RTC=====
virtuabotixRTC myRTC(clk, dat, rst);
//=====Funções=====
void DS1302();
void week(int dayW);
//=====
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(lamp_1, OUTPUT);
  pinMode(lamp_2, OUTPUT);
  pinMode(lamp_3, OUTPUT);
  pinMode(lamp_4, OUTPUT);
}

```

```

pinMode(lamp_5, OUTPUT);
pinMode(lamp_6, OUTPUT);
pinMode(rele_solenoid, OUTPUT);
digitalWrite(rele_solenoid, HIGH);
pinMode(sensor_1, INPUT);
pinMode(sensor_2, INPUT);
pinMode(sensor_3, INPUT);
pinMode(sensor_4, INPUT);
pinMode(sensor_5, INPUT);
pinMode(sensor_6, INPUT);
pinMode(sensor_7, INPUT);
pinMode(sensor_8, INPUT);
//=====Linha de código para configuração inicial do Módulo
RTC=====
//myRTC.setDS1302Time(segL, minL, horL, d_semL, d_mesL, mesL, anoL);
}

void loop() {
//Inicializa a função DS1302 para leitura das informações de data e hora:
DS1302();
//Define que as lâmpadas e o solenóide iniciam desligados quando o Arduino é
ligado a primeira vez:
digitalWrite(lamp_1, HIGH);
digitalWrite(lamp_2, HIGH);
digitalWrite(lamp_3, HIGH);
digitalWrite(lamp_4, HIGH);
digitalWrite(lamp_5, HIGH);
digitalWrite(lamp_6, HIGH);
digitalWrite(rele_solenoid, HIGH);
//Inicializa a função de acionamento das lâmpadas:
ligarLampadas();
//Inicializa a função de acionamento da irrigação:
irrigacao();
/*int Sensor2 = digitalRead(sensor_2);
Serial.print("SENSOR 2: ");
Serial.println(Sensor2);*/
}

//=====Desenvolvimento de Funções=====
//Função para atualizar o horário:
void DS1302() {
myRTC.updateTime();
}
//Função para acionamento das lâmpadas:
void ligarLampadas() {
//Liga todas as lâmpadas às 18h:
if ((myRTC.hours >= 18) && (myRTC.hours < 20)) {
digitalWrite(lamp_1, LOW);
digitalWrite(lamp_2, LOW);
}
}

```

```

    digitalWrite(lamp_3, LOW);
    digitalWrite(lamp_4, LOW);
    digitalWrite(lamp_5, LOW);
    digitalWrite(lamp_6, LOW);
    //Entre às 20h e 22h desliga as lâmpadas dos canteiros 5 e 6 e mantém as
    demais ligadas:
} else if ((myRTC.hours >= 20) && (myRTC.hours < 22)) {
    digitalWrite(lamp_1, LOW);
    digitalWrite(lamp_2, LOW);
    digitalWrite(lamp_3, LOW);
    digitalWrite(lamp_4, LOW);
    digitalWrite(lamp_5, HIGH);
    digitalWrite(lamp_6, HIGH);
    //Entre às 22h e 00h desliga as lâmpadas dos canteiros 3 e 4 e mantém dos
    canteiros 1 e 2 ligadas:
} else if ((myRTC.hours >= 22) && (myRTC.hours <= 23) && (myRTC.minutes <=
59)) {
    digitalWrite(lamp_1, LOW);
    digitalWrite(lamp_2, LOW);
    digitalWrite(lamp_3, HIGH);
    digitalWrite(lamp_4, HIGH);
    digitalWrite(lamp_5, HIGH);
    digitalWrite(lamp_6, HIGH);
    //A partir das 00h desliga as lâmpadas restantes:
} else if ((myRTC.hours > 23) && (myRTC.minutes > 59)) {
    digitalWrite(lamp_1, HIGH);
    digitalWrite(lamp_2, HIGH);
    digitalWrite(lamp_3, HIGH);
    digitalWrite(lamp_4, HIGH);
    digitalWrite(lamp_5, HIGH);
    digitalWrite(lamp_6, HIGH);
}
}
//Função que faz o acionamento da irrigação:
void irrigacao() {
    if ((myRTC.hours == 19) && (myRTC.minutes >= 10) && (myRTC.minutes <= 19)) {
        digitalWrite(rele_solenoide, LOW);
    } else {
        digitalWrite(rele_solenoide, HIGH);
    }
}

void irrigacaoSensor() {
    int Sensor1 = digitalRead(sensor_1);
    int Sensor2 = digitalRead(sensor_2);
    int Sensor3 = digitalRead(sensor_3);
    int Sensor4 = digitalRead(sensor_4);
    int Sensor5 = digitalRead(sensor_5);
    int Sensor6 = digitalRead(sensor_6);
}

```

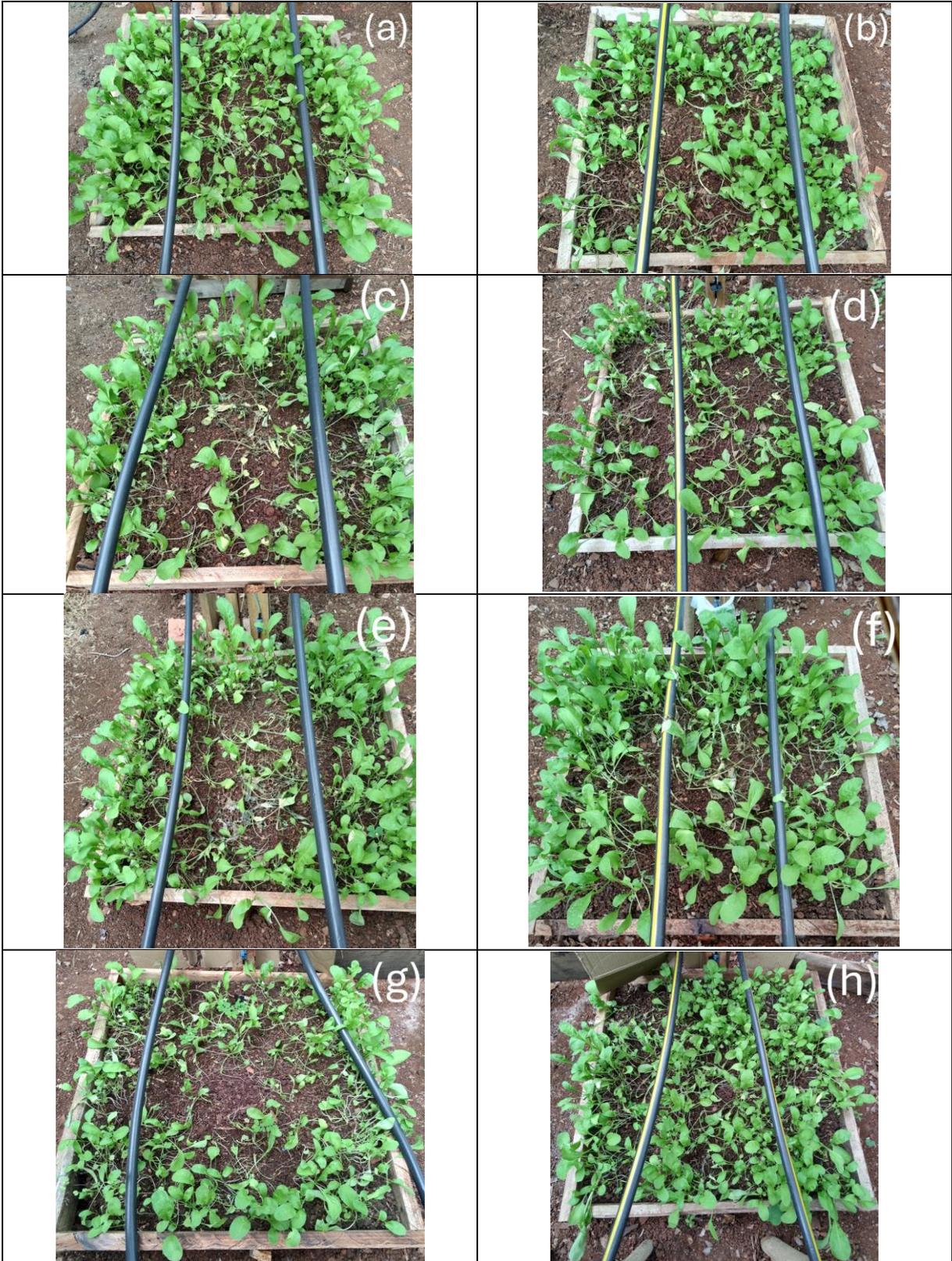
```
int Sensor7 = digitalRead(sensor_7);
int Sensor8 = digitalRead(sensor_8);

if (Sensor1 == 1 || sensor_2 == 1 && sensor_3 == 1 && sensor_4 == 1 &&
sensor_5 == 1 && sensor_6 == 1 && sensor_7 == 1 && sensor_8 == 1) {

    digitalWrite(rele_solenoid, LOW);
} else {
    digitalWrite(rele_solenoid, HIGH);
}
}
```

**APÊNDICE B**

Quadro 5 - Imagens do primeiro ciclo de cultivo no dia 13/04/2024, (a) canteiro 1, suplementado 6h, (b) canteiro 2, suplementado 6h, (c) canteiro 3, suplementado 4h, (d) canteiro 4, suplementado 4h, (e) canteiro 5, suplementado 2h, (f) canteiro 6, suplementado 4h, (g) canteiro 7, não suplementado e (h) canteiro 8, não suplementado



Fonte: Autor, 2024

## APÊNDICE C

Quadro 6 - Imagens do segundo ciclo de cultivo no dia 02/06/2024, (a) canteiro 1, suplementado 6h, (b) canteiro 2, suplementado 6h, (c) canteiro 3, suplementado 4h, (d) canteiro 4, suplementado 4h, (e) canteiro 5, suplementado 2h, (f) canteiro 6, suplementado 4, (g) canteiro 7, não suplementado e (h) canteiro 8, não suplementado



Fonte: Autor, 2024