

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA



LUMERA

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO AUTOMÁTICA PARA CULTIVO INTELIGENTE

**DAILIA DA SILVA COSTA
ISABELLI PAULINO HOFFMANN
LAURA SCHUCK SABALLA**

SÃO LEOPOLDO

2025

DAILIA DA SILVA COSTA
ISABELLI PAULINO HOFFMANN
LAURA SCHUCK SABALLA

LUMERA
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO AUTOMÁTICA PARA CULTIVO INTELIGENTE

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletrotécnica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação do professor Marcos Rogério dos Santos Barbosa e coorientação do professor Marcelo Diedrich de Souza.

SÃO LEOPOLDO
2025

RESUMO

O projeto tem como objetivo desenvolver um sistema automatizado de iluminação inteligente para o cultivo de plantas em ambientes internos com pouca luz natural. O sistema ajusta automaticamente a intensidade da luz artificial conforme as necessidades das plantas, garantindo que recebam a quantidade ideal de luminosidade para o processo de fotossíntese, mesmo em dias nublados ou durante a noite. A proposta surge diante do crescimento urbano acelerado, que tem reduzido significativamente as áreas verdes e dificultado o cultivo em espaços domésticos. Estima-se que até 2050 cerca de 68% da população mundial viverá em áreas urbanas, reforçando a importância de soluções sustentáveis que permitam o cultivo em locais fechados. Em fase de desenvolvimento, o projeto prevê a realização de testes com dois grupos de plantas: um exposto à luz natural e outro ao sistema de iluminação automatizado. O sistema utiliza lâmpadas LED controladas por sensores de luminosidade, que regulam a intensidade de luz de acordo com as condições do ambiente. O experimento terá duração aproximada de 14 a 21 dias, avaliando parâmetros como crescimento, número de folhas e consumo energético. Espera-se que o uso da iluminação controlada proporcione um desenvolvimento mais rápido das plantas, contribua para a melhoria da qualidade do ar e traga benefícios ao bem-estar humano. A proposta se mostra uma alternativa sustentável e eficiente para o cultivo em espaços urbanos, promovendo economia de energia e facilitando o manejo de plantas em locais com limitação de luz natural.

Palavras-chave: Plantas; Automatizado; Cultivo.

ABSTRACT

The project aims to develop an automated intelligent lighting system for growing plants in indoor environments with limited natural light. The system automatically adjusts the intensity of artificial light according to the plants' needs, ensuring they receive the ideal amount of illumination for photosynthesis, even on cloudy days or at night. This proposal arises from accelerated urban growth, which has significantly reduced green areas and made indoor cultivation more challenging. It is estimated that by 2050, about 68% of the world's population will live in urban areas, highlighting the importance of sustainable solutions that enable plant growth in enclosed spaces. Currently under development, the project plans to test two groups of plants: one exposed to natural light and the other using the automated lighting system. The system employs LED Grow lamps controlled by light sensors that adjust brightness according to environmental conditions. The experiment will last approximately 14 to 21 days and will evaluate parameters such as growth, leaf count, and energy consumption. It is expected that controlled lighting will promote faster plant development, improve air quality, and contribute to human well-being. This proposal represents a sustainable and efficient alternative for urban cultivation, promoting energy savings and facilitating plant care in areas with limited natural light.

Keywords: Plants; Automation; Cultivation.

RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema automatizado de iluminación inteligente para el cultivo de plantas en espacios interiores con poca luz natural. El sistema ajusta automáticamente la intensidad de la luz artificial según las necesidades de las plantas, garantizando que reciban la cantidad ideal de iluminación para la fotosíntesis, incluso en días nublados o durante la noche. La propuesta surge ante el rápido crecimiento urbano, que ha reducido significativamente las áreas verdes y dificultado el cultivo en espacios domésticos. Se estima que para el año 2050, alrededor del 68% de la población mundial vivirá en zonas urbanas, lo que resalta la importancia de soluciones sostenibles que permitan el cultivo en lugares cerrados. Actualmente en desarrollo, el proyecto contempla pruebas con dos grupos de plantas: uno expuesto a la luz natural y otro al sistema de iluminación automatizado. El sistema utiliza lámparas LED Grow controladas por sensores de luminosidad que regulan la intensidad lumínica según las condiciones del ambiente. El experimento tendrá una duración aproximada de 14 a 21 días y evaluará parámetros como crecimiento, número de hojas y consumo energético. Se espera que el uso de iluminación controlada favorezca un desarrollo más rápido de las plantas, mejore la calidad del aire y aporte beneficios al bienestar humano. La propuesta se presenta como una alternativa sostenible y eficiente para el cultivo en entornos urbanos, promoviendo el ahorro energético y facilitando el manejo de plantas en lugares con iluminación natural limitada.

Palabras clave: Plantas; Automatizado; Cultivo.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Cloroplastos
- Figura 2 – Lâmpada Amarela
- Figura 3 – Lâmpada Branca
- Figura 4 – Lâmpada Azul
- Figura 5 – Lâmpada Vermelha
- Figura 6 – Lâmpada Verde
- Figura 7 – Luz Natural
- Figura 8 – Luz Artificial
- Figura 9 – Arduino UNO
- Figura 10 – Módulo Relé
- Figura 11 – Módulo Dimmer
- Figura 12 – Sensor LDR - GL5528
- Figura 13 – Lâmpada LED para Cultivo
- Figura 14 – Resistor
- Figura 15 – Transistor NMOS
- Figura 16 – Datasheet
- Figura 17 – Esquema Elétrico
- Figura 18 – Código
- Figura 19 – Código
- Figura 20 – Circuito sem luz natural forte
- Figura 21 – Circuito com luz natural média
- Figura 22 – Circuito com luz natural forte
- Figura 23 – Fluxograma
- Figura 24 – Componentes utilizados no circuito
- Figura 25 – Montagem do relé
- Figura 26 – Montagem
- Figura 27 – Lâmpada desligada
- Figura 28 – Lâmpada média intensidade
- Figura 29 – Lâmpada ligada

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado da arte	15
Tabela 2 – Cronograma	46
Tabela 3 - Materiais	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU	Organização das Nações Unidas
OMS	Organização Mundial da Saúde
ATP	Adenosina trifosfato
C3	Plantas com via de fixação de carbono de 3 átomos (via de Calvin)
C4	Plantas com via de fixação de carbono de 4 átomos
FVH	Forragem Verde Hidropônica
HPS	<i>High-Pressure Sodium</i> (lâmpada de vapor de sódio de alta pressão)
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i> (resistor dependente de luz)
LED / LEDs	<i>Light Emitting Diode</i> (diodo emissor de luz)
NADPH	Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato
PGAL	Fosfogliceraldeído (também conhecido como G3P)
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
RuBP	Ribulose-1,5-bisfosfato

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de carbono (fórmula química)
Hz	Hertz (frequência)
m ²	Metro quadrado (área)
N	Newton (força)
nm	Nanômetro (comprimento de onda)
W	Watt (potência)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO.....	13
1.2 PROBLEMA.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
2. ESTADO DA ARTE.....	14
2.1 RESUMO DOS ARTIGOS.....	16
2.1.1 Iluminação led em Câmaras de Crescimento de Plantas. Influência na	
 Eficiência Energética e Desenvolvimento das Plantas.....	16
2.1.2 Produção de forragem verde hidropônica de milho no sistema indoor.....	16
2.1.3 Sistema para cultivo indoor de hortaliças com suplementação luminosa.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 FOTOSSÍNTESE.....	17
3.1.1 Processo da fotossíntese.....	17
3.1.2 Fase luminosa ou fotoquímica.....	18
3.1.3 Fase de fixação de carbono.....	18
3.1.3.1 ATP (adenosina trifosfato).....	18
3.1.3.2 NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato).....	18
3.1.4 O papel da luz no crescimento de plantas.....	18
3.2 SUSTENTABILIDADE.....	19
3.2.1 Sustentabilidade na automação.....	19
3.2.2 Iluminação Sustentável.....	19
3.3 CRESCIMENTO VEGETAL EM AMBIENTE CONTROLADO.....	20
3.4 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NO CULTIVO INDOOR.....	20
3.4.1 Fontes de Luz.....	21
3.4.2 Eficiência energética da iluminação artificial.....	21
3.4.3 As plantas podem crescer apenas com luz artificial?.....	21
3.4.4 Qual é o melhor tipo de luz artificial para o crescimento das plantas?.....	21
3.4.5 Por quanto tempo as luzes artificiais devem ficar acesas nas plantas?.....	22
3.4.6 A tonalidade da luz influencia o desenvolvimento das plantas?.....	22
3.4.7 É possível utilizar lâmpadas incandescentes no cultivo de plantas?.....	22
3.4.8 Tipos de Luz.....	22
3.4.8.1 Luz Amarela.....	22
3.4.8.2 Luz Branca.....	23
3.4.8.3 Luz Azul.....	23
3.4.8.4 Luz Vermelha.....	24
3.4.8.5 Luz Verde.....	25

3.5 AUTOMAÇÃO NO CULTIVO INDOOR.....	25
3.5.1 Conceito de automação.....	25
3.5.2 Aplicação da automação no controle de luz.....	26
3.6 SENSORES E CONTROLE.....	26
3.7 COMPARATIVO: LUZ NATURAL VS. LUZ ARTIFICIAL.....	26
3.7.1 Luz Natural.....	26
3.7.2 Luz Artificial.....	27
3.7.3 Tempo de exposição e intensidade de luz.....	28
3.8 COMPONENTES.....	28
3.8.1 Arduino.....	28
3.8.2 Relé.....	29
3.8.3 Módulo dimmer.....	29
3.8.4 Sensor de luminosidade.....	29
3.8.5 Lâmpada LED para Cultivo.....	30
3.8.6 Resistor.....	31
3.8.7 Transistor NMOS.....	31
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 TIPO DE PESQUISA.....	33
4.2 ESQUEMA ELÉTRICO.....	34
4.2.1 Componentes principais.....	34
4.2.2 Funcionamento.....	34
4.2.3 Lógica.....	35
4.3 PROGRAMAÇÃO.....	36
4.3.1 Declaração de variáveis.....	37
4.3.2 Configuração inicial (setup).....	37
4.3.3 Laço principal (loop).....	37
4.6 DESENVOLVIMENTO.....	42
5. CRONOGRAMA.....	46
6. RECURSOS.....	47
7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS.....	48
REFERÊNCIAS.....	49
ANEXOS.....	53

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas urbanas tem gerado uma extrema falta de espaços verdes. Com a ocupação do solo voltada à infraestrutura e à expansão urbana, o contato com a natureza vem se tornando cada vez mais limitado, especialmente em locais fechados e com pouca luz natural. Essa ausência afeta a presença de plantas em ambientes internos, reduzindo os benefícios que elas podem oferecer, como a purificação do ar e a regulação da temperatura e umidade.

Diante disso, surge a necessidade de soluções que possibilitem o cultivo vegetal em locais onde a luminosidade natural é insuficiente. A luz é um dos fatores fundamentais para que ocorra a fotossíntese, e sua ausência compromete diretamente o desenvolvimento vegetal. Pensando nisso, o projeto propõe um sistema automático de iluminação que ajusta, de forma inteligente, a intensidade luminosa de acordo com as necessidades das plantas, garantindo que esse processo aconteça mesmo sob dias nublados, clima instável ou em ambientes naturalmente escuros, tornando-se contínuo.

Mais do que permitir o cultivo em espaços antes considerados impróprios, a proposta oferece autonomia ao usuário, não havendo necessidade de acompanhamento constante. O sistema funciona de maneira inteligente, reconhecendo a necessidade de luz e respondendo a ela automaticamente. Isso economiza a energia e permite que qualquer pessoa, mesmo em meio às restrições de espaço ou estrutura, cultive de forma simples, contínua e adaptada às condições reais do ambiente em que vive.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Iluminação automatizada para ambientes internos com ajuste automático de luz conforme a necessidade das plantas.

1.2 PROBLEMA

É possível por meio de um sistema automático de iluminação realizar a fotossíntese de plantas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de iluminação automatizado que forneça às plantas a luz necessária para seu crescimento saudável em locais escuros ou durante a noite, permitindo o cultivo autônomo e eficiente de diversas espécies de plantas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar diferentes tipos de lâmpadas e fontes de luz artificial para o crescimento vegetal.
- Analisar as necessidades de iluminação para o cultivo indoor.
- Comparar o consumo de energia da iluminação automatizada com o de sistemas tradicionais de iluminação artificial.
- Avaliar a diferença de iluminação interna e externa no crescimento e desenvolvimento de plantas.

1.4 JUSTIFICATIVA

A urbanização acelerada tem gerado um impacto negativo na quantidade de áreas verdes disponíveis nas cidades, o que compromete a qualidade de vida dos seus habitantes. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que cada pessoa tenha acesso a pelo menos 12 m² de área verde, mas muitas cidades não atingem esse padrão. A falta de espaços verdes resulta na perda de benefícios essenciais, como a melhoria da qualidade do ar e a regulação da umidade, além de dificultar o cultivo de plantas, uma prática que tem se mostrado cada vez mais relevante para promover o bem-estar urbano.

Com o aumento da urbanização, a ONU estima que, até 2050, cerca de 68% da população mundial viverá em áreas urbanas (ONU, 2018). Esse crescimento populacional nas cidades vai intensificar a pressão sobre o espaço disponível para a vegetação, criando desafios significativos para o cultivo de plantas, especialmente em ambientes internos, onde a luz solar é limitada. Por isso, torna-se necessário desenvolver soluções inovadoras que possibilitem o cultivo de plantas, mesmo em locais com condições de luminosidade desfavoráveis.

O projeto propõe um sistema de iluminação automatizado, que ajusta a intensidade luminosa conforme as necessidades das plantas, garantindo que a fotossíntese aconteça de maneira eficiente, independentemente das condições climáticas externas, como dias nublados ou chuvosos. Com isso, a solução permite que o cultivo seja contínuo, acelerando o crescimento das plantas e evitando a interrupção do processo.

Além de aumentar a rapidez do cultivo, o sistema traz também uma importante economia de energia. Como a iluminação será acionada apenas quando necessário, a eficiência energética é significativamente otimizada. Dessa forma, elimina-se a necessidade de supervisão contínua, uma vez que o sistema é capaz de controlar automaticamente a iluminação artificial, promovendo o uso eficiente da energia e evitando desperdícios.

O sistema de iluminação automatizada facilita o cultivo de plantas em ambientes com pouca luz e surge como uma alternativa prática e sustentável para agricultores urbanos que enfrentam os impactos das mudanças climáticas e as dificuldades com a adaptação ao solo. Com essa solução, o projeto contribui para melhorar as condições ambientais nas áreas urbanas, oferecendo uma forma mais eficiente e acessível de cultivar plantas em locais onde o espaço e os recursos naturais são cada vez mais escassos. A automatização da iluminação para fotossíntese representa um avanço significativo na agricultura urbana, promovendo sustentabilidade, economia e praticidade no cultivo de vegetação dentro de espaços fechados.

2. ESTADO DA ARTE

Os artigos discutidos dão sustentação para o cultivo *indoor* por iluminação artificial, mas com ênfase para LEDS, em razão de sua eficácia energética e aplicabilidade nos ambientes controlados. A primeira pesquisa afirma que os LEDS têm um bom custo-benefício (CRUZ, 2021), enquanto que outra lida com método ou prática de cultivo em terra-seca em ambiente fechado (FREITAS, 2023). O terceiro artigo é o que mais se aproxima da presente proposta devido à integração de sensores, porém sem automação da luz (ROSA, 2023). Portanto, o projeto que foi apresentado é o diferencial pela iluminação automatizada que programa a intensidade a depender do que a planta precisa, passando por fotossíntese em tempo hábil, economia de energia e facilitando o cultivo em territórios urbanos por pouca luz. A Tabela 1 apresenta os dados dos estudos previamente realizados e em seguida é feito um resumo sobre cada um deles.

Tabela 1 - Estado da Arte

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação
Iluminação led em Câmaras de Crescimento de Plantas. Influência na Eficiência Energética e Desenvolvimento das Plantas.	João Miguel Pantaleão Cruz	2021
Produção de forragem verde hidropônica de milho no sistema indoor.	Guilherme Rafael de Araújo Freitas	2023
Sistema para cultivo indoor de hortaliças com suplementação luminosa.	Luís Eduardo da Rosa	2023

Fontes: Os autores (2025)

2.1 RESUMO DOS ARTIGOS

2.1.1 Iluminação led em Câmaras de Crescimento de Plantas. Influência na Eficiência Energética e Desenvolvimento das Plantas

O artigo refere-se a necessidade de sistemas agrícolas mais eficientes devido ao crescimento populacional previsto para 2050. Destaca-se o uso de unidades de crescimento com ambiente controlado e iluminação artificial, sendo os LEDS uma alternativa de menor consumo energético em comparação às lâmpadas fluorescentes. O estudo avaliou o efeito da iluminação fluorescente e LED no cultivo de alface e espinafre, constatando que a iluminação fluorescente gerou maior produção, enquanto os LEDS apresentaram melhor relação custo/benefício (CRUZ, 2021).

2.1.2 Produção de forragem verde hidropônica de milho no sistema indoor

O cultivo de milho hidropônico em sistema indoor é uma técnica eficiente que reduz a influência de fatores climáticos, como seca e variações de temperatura. Esta revisão de literatura, baseada em publicações de 2013 a 2023, analisa os aspectos produtivos, climáticos e nutricionais da forragem verde hidropônica (FVH) de milho cultivada sem aditivos ou fertilizantes. Em ambiente controlado de temperatura, luz, água e umidade, a FVH pode ser colhida em apenas 7 dias. A forragem apresenta boa qualidade nutricional, especialmente em proteína bruta, sendo viável para alimentação animal em diferentes climas e em larga escala. Conclui-se que a FVH é uma alternativa promissora para o produtor rural (FREITAS, 2023).

2.1.3 Sistema para cultivo indoor de hortaliças com suplementação luminosa

Esse artigo fala sobre como o cultivo indoor pode ser uma boa saída para lidar com as mudanças do clima e o aumento da população. A ideia é produzir alimentos mais rápido e em qualquer lugar, mesmo com pouco espaço. O trabalho propõe montar uma estufa para o plantio de espinafre usando luz de LED e sensores que medem a umidade, a temperatura e a luz do ambiente. Esses dados aparecem em um *display*, o que ajuda a cuidar melhor das plantas (ROSA, 2023).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 FOTOSÍNTESE

A fotossíntese é um processo fotoquímico que consiste na produção de energia através da luz solar e fixação de carbono proveniente da atmosfera.

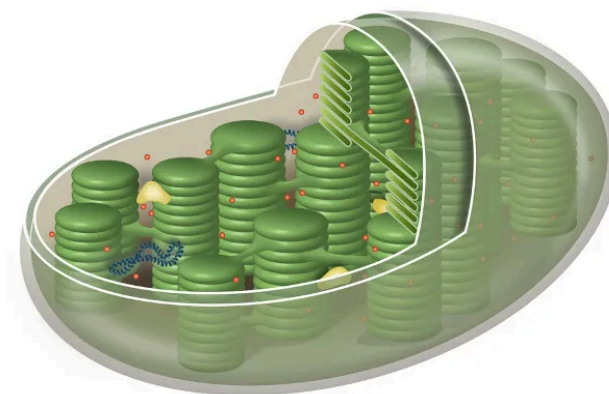
Ela pode ser resumida como o processo de transformação da energia luminosa em energia química. O termo fotossíntese tem como significado síntese pela luz. (Santos, 2025)

3.1.1 Processo da fotossíntese

A fotossíntese acontece em estruturas celulares chamadas cloroplastos, que estão distribuídas por várias partes da planta, mas são mais abundantes no mesófilo, tecido localizado no interior das folhas.

Os cloroplastos possuem uma dupla membrana externa que os envolve. Internamente, há dois tipos de membranas: as lamelas e os tilacóides. Os tilacóides podem se agrupar em pilhas chamadas grana, sendo nesses tilacóides que se concentram os pigmentos responsáveis pela captação de luz.

Figura 1 - Cloroplastos



Fontes: Mundo Educação (2025)

Pigmentos como clorofilas, carotenóides e ficobilinas absorvem luz, sendo a clorofila a principal. Os cloroplastos, que realizam a fotossíntese, têm DNA próprio e um espaço interno chamado estroma. A fotossíntese ocorre em duas fases: a fase luminosa, nos tilacóides, onde a luz é captada; e a fase de fixação de carbono, no estroma, onde a energia é usada para produzir compostos orgânicos. (Santos, 2025)

3.1.2 Fase luminosa ou fotoquímica

Essa etapa envolve dois fotossistemas (I e II), cada um com um complexo antena, que capta a luz, e um centro de reação, onde a energia é convertida em energia química. A luz excita elétrons nas moléculas de clorofila a, que são transferidos para receptores e substituídos por elétrons da água. (Santos, 2025)

3.1.3 Fase de fixação de carbono

A segunda fase da fotossíntese, chamada Ciclo de Calvin, ocorre no estroma dos cloroplastos. Nela, o gás carbônico (CO_2) é transformado em açúcares, usando a energia do ATP e do NADPH produzidos na fase luminosa. O ciclo tem três etapas:

1. Fixação do carbono: o CO_2 se liga à molécula RuBP com ajuda da enzima RuBisCo. Nas plantas C3, forma-se um composto com 3 carbonos; nas C4, com 4.
 2. Redução: o CO_2 é convertido em um açúcar simples chamado PGAL.
 3. Regeneração: parte do PGAL é usada para refazer a RuBP e reiniciar o ciclo.
- (Santos, 2025)

3.1.3.1 ATP (adenosina trifosfato)

O ATP é uma molécula presente em todas as células vivas que funciona como a principal fonte de energia para as reações químicas do organismo. Durante a fotossíntese, o ATP armazena energia obtida na fase luminosa e a libera quando necessário, fornecendo a energia para a planta construir moléculas de açúcar no Ciclo de Calvin. (Santos, 2025)

3.1.3.2 NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato)

O NADPH é uma molécula que atua como um transportador de elétrons e energia dentro das células, essencial para as reações químicas da fotossíntese. Na fase de fixação de carbono, o NADPH doa elétrons e energia para ajudar a converter o dióxido de carbono (CO_2) em açúcares, colaborando diretamente na construção dos alimentos da planta. (Santos, 2025)

3.1.4 O papel da luz no crescimento de plantas

A luz é essencial para o crescimento e a floração das plantas, pois fornece a energia necessária para a fotossíntese, processo em que o dióxido de carbono é convertido em

compostos orgânicos. A clorofila, pigmento verde das plantas, absorve principalmente a luz azul e vermelha, que são as mais eficazes no desenvolvimento vegetal. A luz azul estimula o crescimento inicial, enquanto a luz vermelha e alaranjada favorece a floração. Tanto a luz natural quanto a artificial (como lâmpadas fluorescentes, LED ou de alta intensidade) podem suprir essa necessidade. Além de fonte de energia, a luz atua como sinal regulador de processos fisiológicos e comportamentais nas plantas, influenciando também suas interações ecológicas. As folhas refletem a luz verde, razão pela qual apresentam essa cor característica.

3.2 SUSTENTABILIDADE

Sustentabilidade é a capacidade de manter um processo ou sistema, seja ele ambiental, econômico ou social, ao longo do tempo, garantindo que as necessidades do presente sejam atendidas sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades. Em essência, busca-se um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, a proteção ambiental e o bem-estar social. (Raízen, 2024)

3.2.1 Sustentabilidade na automação

A sustentabilidade na automação refere-se ao uso de tecnologias e práticas automatizadas para reduzir o impacto ambiental e promover a eficiência em processos industriais e produtivos. A automação pode contribuir para a sustentabilidade ao otimizar o consumo de recursos, minimizar o desperdício, reduzir emissões e promover a economia circular. (Cultivo, 2020)

3.2.2 Iluminação Sustentável

A iluminação sustentável refere-se ao uso de tecnologias e práticas que visam reduzir o impacto ambiental da iluminação, utilizando fontes de energia renovável, como a solar, e lâmpadas mais eficientes, como as de LED. Também envolve o aproveitamento máximo da luz natural e o uso de materiais que demandam menos energia e geram menos resíduos. (Pisani, 2021)

3.2.3 Sustentabilidade em plantações

A sustentabilidade em plantações remete a adoção de práticas agrícolas que buscam equilibrar a produção de alimentos com a preservação do meio ambiente, a saúde do solo e o

bem-estar social. Trata-se de um conceito amplo que envolve a utilização de técnicas que minimizem o impacto ambiental, como a redução do uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, a conservação da água e do solo, e a promoção da biodiversidade. Além disso, a sustentabilidade na agricultura também considera aspectos sociais, como a garantia de condições de trabalho justas para os produtores rurais e o acesso a alimentos seguros e nutritivos. (Pisani, 2020)

3.3 CRESCIMENTO VEGETAL EM AMBIENTE CONTROLADO

O crescimento vegetal depende de fatores ambientais como luz, temperatura, umidade e nutrientes. Em um sistema de cultivo indoor, todos esses elementos podem ser monitorados e ajustados, criando um ambiente ideal para o desenvolvimento das plantas. A luz artificial, nesse contexto, desempenha papel central, sendo responsável por estimular a fotossíntese e os ciclos biológicos. A escolha de uma boa fonte luminosa impacta diretamente na produção de biomassa, na floração e na frutificação.

Com o uso de lâmpadas LED Full Spectrum, é possível fornecer um espectro equilibrado de luz, semelhante ao da luz solar, mas com o benefício de ajustar o tempo de exposição e a intensidade de forma precisa. Isso garante um crescimento mais rápido e saudável, mesmo em épocas do ano ou locais com pouca luminosidade natural.

Ambientes controlados também possibilitam o cultivo de plantas durante o ano todo, independentemente das condições externas. Essa estabilidade favorece não apenas a produtividade, mas também a qualidade dos vegetais produzidos. (Chapecali, 2023)

3.4 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NO CULTIVO INDOOR

O uso de iluminação artificial no cultivo indoor é essencial para simular a luz solar, garantindo que as plantas realizem seus processos metabólicos de forma eficiente, mesmo sem acesso à luz natural. Com a iluminação adequada, é possível controlar o fotoperíodo, estimular o crescimento e aumentar a produtividade das espécies cultivadas. No contexto do cultivo em ambiente fechado, as lâmpadas LED do tipo Full Spectrum são as mais indicadas por sua eficiência, durabilidade e capacidade de emitir comprimentos de onda adequados à fotossíntese. (Onírico, 2023)

3.4.1 Fontes de Luz

Existem diferentes fontes de luz utilizadas no cultivo indoor, entre as principais estão:

Lâmpadas fluorescentes: de baixo custo, mas menos potentes.

Lâmpadas HPS (vapor de sódio de alta pressão): boa intensidade, mas emitem muito calor.

Lâmpadas LED: têm ganhado destaque por oferecerem economia, durabilidade e espectro ajustável. As lâmpadas LED Full Spectrum são compostas por diodos emissores de luz com diferentes comprimentos de onda, incluindo os vermelhos (cerca de 660 nm) e azuis (cerca de 450 nm), que são os mais importantes para a fotossíntese. (Emídio, 2023)

3.4.2 Eficiência energética da iluminação artificial

No cultivo indoor, a escolha da fonte de luz influencia diretamente no consumo energético e na saúde das plantas. As lâmpadas LED se destacam por apresentarem alta eficiência energética, ou seja, consomem menos eletricidade para gerar a mesma quantidade de luz quando comparadas a outras tecnologias.

Além disso, os LEDs apresentam baixa emissão de calor, o que contribui para manter o ambiente com temperatura controlada. Isso acontece porque eles sofrem menor perda de energia por efeito Joule, fenômeno no qual parte da energia elétrica se transforma em calor ao passar pelos fios condutores. Ao reduzirem essa perda, os LEDs se tornam mais econômicos e sustentáveis, além de prolongarem a vida útil dos componentes. (Cultivo, 2024)

3.4.3 As plantas podem crescer apenas com luz artificial?

Sim, as plantas podem crescer utilizando apenas luz artificial, desde que o espectro luminoso atenda adequadamente às suas necessidades. As luzes de cultivo de espectro completo, que fornecem os comprimentos de onda vermelho e azul essenciais, são capazes de sustentar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

3.4.4 Qual é o melhor tipo de luz artificial para o crescimento das plantas?

As lâmpadas de LED são as mais recomendadas para o cultivo de plantas, pois consomem pouca energia, oferecem alta intensidade luminosa nos espectros vermelho e azul e geram pouco calor. Isso as torna ideais para diversos tipos de espécies vegetais.

3.4.5 Por quanto tempo as luzes artificiais devem ficar acesas nas plantas?

Em geral, as plantas cultivadas em ambientes internos precisam de 14 a 16 horas de iluminação artificial por dia. O uso de um temporizador é indicado para simular o ciclo natural de dia e noite, favorecendo a fotossíntese e evitando o estresse das plantas.

3.4.6 A tonalidade da luz influencia o desenvolvimento das plantas?

Sim, cada cor de luz tem um papel específico no crescimento vegetal: a luz azul estimula o desenvolvimento de folhas e caules, a vermelha favorece a floração e a frutificação, enquanto a luz verde tem menor impacto, mas pode auxiliar na estrutura geral das plantas.

3.4.7 É possível utilizar lâmpadas incandescentes no cultivo de plantas?

As lâmpadas incandescentes não são recomendadas, pois produzem muito calor, têm baixa eficiência luminosa e não emitem luz azul em quantidade suficiente. Podem até complementar a iluminação fluorescente, mas apresentam desempenho inferior em comparação a LEDs ou lâmpadas específicas para cultivo.

3.4.8 Tipos de Luz

3.4.8.1 Luz Amarela

A luz amarela é pouco eficiente para a fotossíntese, pois a clorofila absorve melhor as luzes azul e vermelha, refletindo a amarela e a verde. Por isso, plantas expostas apenas à luz amarela tendem a crescer altas, finas e fracas, com pouca folhagem. Além disso, esse tipo de luz possui menor energia, dificultando a conversão em energia química. Para um cultivo saudável, recomenda-se o uso de luzes de espectro completo (Full Spectrum) ou a combinação de luz azul e vermelha, que favorecem o desenvolvimento equilibrado e a fotossíntese eficiente.

Figura 2 - Lâmpada Amarela



Fonte: Amazon

3.4.8.2 Luz Branca

A luz branca é ideal para o cultivo de plantas por reunir todos os comprimentos de onda do espectro visível, imitando a luz solar. Por ser de espectro completo, combina os efeitos da luz azul (crescimento vegetativo) e vermelha (floração), além de incluir outras faixas benéficas, como o verde e o infravermelho. Essa combinação favorece um crescimento equilibrado e natural em todas as fases da planta, aumenta a eficiência da fotossíntese e resulta em plantas mais fortes e saudáveis. Além disso, a luz branca facilita a identificação de pragas e deficiências, pois permite uma visualização mais nítida da coloração e do estado das folhas.

Figura 3 - Lâmpada Branca



Fonte: Leroy Merlin

3.4.8.3 Luz Azul

A luz azul é fundamental para o crescimento saudável da folhagem, promovendo o desenvolvimento de folhas e caules fortes. Ela atua principalmente na fase vegetativa do ciclo de vida das plantas, sendo essencial também durante a germinação e logo após a floração.

Além disso, a luz azul controla a abertura dos estômatos por meio de fotorreceptores específicos, favorecendo as trocas gasosas e o acúmulo de matéria seca nos brotos. Entretanto, quando a planta recebe apenas esse tipo de luz, tende a apresentar crescimento limitado, com estrutura mais fraca e coloração mais escura.

Figura 4 - Lâmpada Azul



Fonte: Leroy Merlin

3.4.8.4 Luz Vermelha

A luz vermelha, por sua vez, influencia diretamente o alongamento do caule e regula a floração das plantas, pois está relacionada à percepção da duração do dia. Em excesso, pode resultar em plantas muito altas, com grandes espaços entre as folhas. Quando combinada com a luz azul, estimula de forma equilibrada o florescimento e a frutificação, sendo essencial nas fases reprodutivas. A eficácia da luz vermelha, especialmente entre 650 e 665 nm, deve-se ao fato de coincidir com os picos de absorção das clorofilas e do fitocromo, pigmentos fundamentais na fotossíntese.

Figura 5 - Lâmpada Vermelha



Fonte: Leroy Merlin

3.4.8.5 Luz Verde

A luz verde tem uma função mais discreta, pois as plantas refletem a maior parte desse espectro, o que explica a cor verde das folhas. Apesar de ser pouco utilizada na fotossíntese, a luz verde penetra mais profundamente nos tecidos vegetais, podendo afetar a estrutura interna das folhas e contribuir de maneira complementar para certos processos de crescimento. Assim, embora tenha papel secundário, ela ajuda a equilibrar a iluminação e a eficiência geral do uso da luz pelas plantas.

Figura 6 - Lâmpada Verde



Fonte: Leroy Merlin

3.5 AUTOMAÇÃO NO CULTIVO INDOOR

A automação no cultivo indoor garante cuidados às plantas mesmo sem a presença do cultivador, automatizando iluminação, rega, ventilação e controle climático. Timers controlam o fotoperíodo, sistemas de gotejamento ou hidropônicos regulam a irrigação, e ventiladores, exaustores e aquecedores mantêm o ambiente adequado. Equipamentos essenciais incluem timers, sistemas de irrigação e ventilação. Ter vários timers ajuda a evitar falhas no sistema. (Fernando, 2023)

3.5.1 Conceito de automação

Automação é o uso de tecnologia e processos para executar tarefas com pouca intervenção humana. Está presente em vários setores, como empresas, indústria e residências. Ela ajuda organizações a aumentar a produtividade, reduzir custos e melhorar serviços, sendo fundamental para a transformação digital e para ganhar vantagem competitiva. (Negri, 2023)

3.5.2 Aplicação da automação no controle de luz

A automação de iluminação é o uso de tecnologias inteligentes para controlar o consumo de energia elétrica, garantindo que os ambientes fiquem iluminados somente quando necessário, sem interferência humana direta. Isso resulta em economia, conforto, segurança e maior eficiência para empresas, especialmente indústrias. (Fernando, 2023)

3.5.2.1 Eficiência Energética

A automação permite a integração entre luz artificial e natural, ajustando a intensidade conforme a luminosidade externa, o que torna a iluminação mais econômica, eficiente e sustentável, além de poder contribuir para certificações ambientais, como a LEED. (Fernando, 2023)

3.6 SENSORES E CONTROLE

Sensores são dispositivos que percebem algo no ambiente (como luz, temperatura, movimento, umidade, pressão...) e transformam essa informação em sinais elétricos que podem ser lidos por um sistema eletrônico (como um Arduino ou outro microcontrolador). (Weg, 2024)

3.7 COMPARATIVO: LUZ NATURAL VS. LUZ ARTIFICIAL

A luz é um fator determinante para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, pois influencia diretamente no processo da fotossíntese. Em cultivos convencionais, a luz natural é a principal fonte de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), enquanto em sistemas indoor, a luz artificial é utilizada para suprir essa necessidade luminosa. (Cultivo, 2024)

3.7.1 Luz Natural

A luz natural representa uma fonte completa e eficiente de energia luminosa, emitindo radiação em todo o espectro visível e também em partes das faixas ultravioleta e infravermelha que é essencial para que as plantas realizem a fotossíntese de forma eficaz. Por ser uma fonte gratuita e sustentável, a luz solar é amplamente utilizada em cultivos ao ar livre. Porém, em ambientes internos, a luz natural apresenta limitações. Sua intensidade varia ao longo do dia, das estações do ano e conforme a localização. Além disso, ela não pode ser

controlada diretamente, o que dificulta o ajuste do tempo de exposição à luz e compromete a regularidade do crescimento das plantas em ambientes fechados. (Cultivo, 2024)

Figura 7 - Luz Natural



Fonte: BioSul (2025)

3.7.2 Luz Artificial

A luz artificial surgiu como solução para viabilizar o cultivo de plantas em ambientes onde a luz solar é limitada ou ausente. Os LEDs do tipo Full Spectrum se destacam por sua eficiência energética, durabilidade e capacidade de emitir comprimentos de onda específicos, nas faixas azul (cerca de 450 nm) e vermelha (cerca de 660 nm), essenciais para o desenvolvimento das plantas. Diferentemente das lâmpadas fluorescentes, que apresentam limitações quanto à eficiência e emissão excessiva de calor, os LEDs permitem um controle preciso do espectro luminoso, da intensidade e do tempo de exposição. Isso possibilita a simulação de diferentes condições de iluminação ao longo das fases do crescimento vegetal, resultando em maior produtividade, economia de energia e estabilidade térmica no ambiente de cultivo. Os LEDs apresentam baixo consumo de energia elétrica devido à sua alta eficiência luminosa (lúmens por watt) e ao baixo índice de perdas por efeito Joule, que reduz a conversão de energia elétrica em calor. Esse fator contribui diretamente para o aumento da vida útil do sistema. (Cultivo, 2024)

Figura 8 - Luz Artificial



Fonte: GroHo (2025)

3.7.3 Tempo de exposição e intensidade de luz

O tempo de exposição à luz é indispensável para o cultivo, as plantas seguem ritmos biológicos naturais baseados na duração da luz ao longo do dia. Durante o verão, pode haver até 14 horas de luz natural por dia, enquanto no inverno esse tempo pode ser reduzido para 10 horas ou menos. Essa variação influencia diretamente o crescimento das plantas.

Com o uso de luz artificial, esses parâmetros podem ser adaptados com precisão, o que aumenta a eficiência e produtividade do cultivo indoor. O tempo de exposição à luz artificial depende do tipo de planta e da fase do seu desenvolvimento, mas em geral, os valores mais comuns são:

Plantas de dia curto (ex: morango, crisântemo): cerca de 8 a 12 horas de luz por dia.

Plantas de dia neutro (ex: tomate, pepino): 12 a 16 horas de luz por dia.

Plantas de dia longo (ex: alface, espinafre): entre 14 a 18 horas de luz por dia.

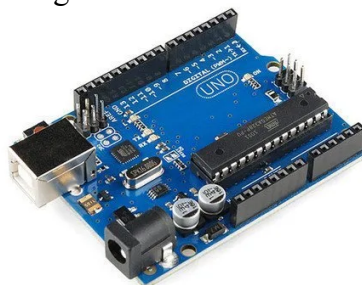
Além da duração, a intensidade da luz também deve ser adequada à planta. Na prática, isso é ajustado usando as lâmpadas LED para cultivo, que permitem controlar tanto a intensidade quanto o espectro da luz. Em sistemas indoor com luz artificial, o fotoperíodo varia de 12 a 18 horas por dia, com 6 a 12 horas de escuro, para respeitar os ciclos naturais de repouso das plantas. (Cultivo, 2024)

3.8 COMPONENTES

3.8.1 Arduino

O Arduino é uma placa eletrônica programável usada para criar projetos de automação de forma simples e acessível. Ele lê sensores, como o de luminosidade, e aciona dispositivos, como lâmpadas, sendo ideal para sistemas automáticos como o do cultivo indoor. (Cravo, 2024)

Figura 9 - Arduino UNO



Fonte: Loja vida de silício (2025)

3.8.2 Relé

O relé é um dispositivo que funciona como um interruptor controlado eletricamente, permitindo ligar ou desligar circuitos de maior potência com um sinal de baixa energia. Ao ser ativado, ele usa um campo magnético para abrir ou fechar contatos, controlando, por exemplo, o acionamento de lâmpadas em sistemas automatizados. (Guse, 2024)

Figura 10 - Módulo Relé



Fonte: Eletrogate (2025)

3.8.3 Módulo dimmer

O módulo dimmer LED é um dispositivo usado para ajustar a intensidade da luz de lâmpadas LED de forma suave e controlada. Ele permite que a iluminação seja adaptada conforme a necessidade do ambiente, economizando energia e aumentando a vida útil das lâmpadas. (Daniel, 2025).

Figura 11 - Módulo Dimmer



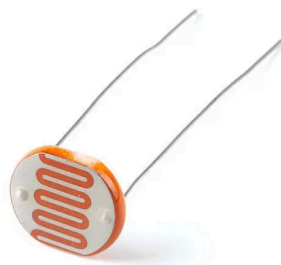
Fonte: Autocore (2025)

3.8.4 Sensor de luminosidade

Os sensores de luminosidade medem a intensidade da luz em um ambiente, permitindo que sistemas ajustem a iluminação de acordo com as condições de luz natural (Alves, 2019). Um exemplo comum é o LDR, um sensor feito de material semicondutor, como o CdS, cuja resistência varia conforme a quantidade de luz: diminui em ambientes claros e aumenta no

escuro. Embora detecte presença ou ausência de luz, o LDR não mede a iluminância com precisão. Ele é simples, barato e amplamente utilizado em sistemas automáticos de iluminação e em projetos eletrônicos.

Figura 12 - Sensor LDR - GL5528



Fonte: MakerHero (2025)

3.8.5 Lâmpada LED para Cultivo

A lâmpada LED tem capacidade de fornecer luz nas cores adequadas ao processo de fotossíntese, como tons de azul e vermelho. Essa característica estimula o desenvolvimento saudável das plantas em todas as etapas do cultivo, desde a germinação até a floração. Além de favorecer o desenvolvimento das plantas, a tecnologia LED tem baixo consumo de energia, produz pouca liberação de calor e ajuda a manter a temperatura do ambiente estável, evitando danos causados por variação de temperatura. (Cultivo, 2024)

Figura 13 - Lâmpada LED para Cultivo



Fonte: Blog da Lenharo (2025)

3.8.6 Resistor

Resistores são componentes eletrônicos que limitam a passagem de corrente elétrica em um circuito. Ao serem inseridos, reduzem a intensidade da corrente e provocam queda de tensão ao longo do condutor. (Elerbrock, 2025)

Figura 14 - Resistor

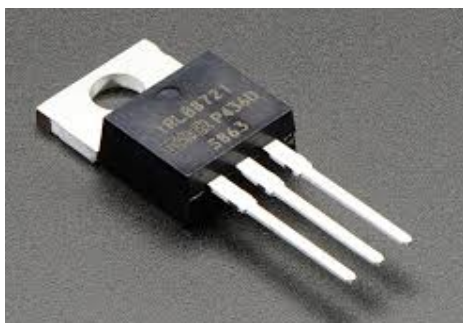


Fonte: Proesi (2025)

3.8.7 Transistor NMOS

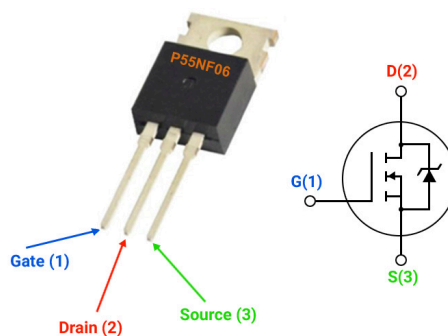
Um transistor NMOS (Negative Metal-Oxide-Silicon) é um tipo de transistor de efeito de campo que usa um canal de material tipo n (condutor de elétrons) para permitir o controle do fluxo de corrente entre a fonte e o dreno, mediado por uma tensão positiva aplicada ao terminal de porta (gate).

Imagem 15 - Transistor NMOS



Fonte: Nantian (2025)

Imagem 16 - Datasheet



Fonte: Components101 (2025)

4. METODOLOGIA

A pesquisa será realizada em sala de aula, envolvendo levantamento bibliográfico e experimentação prática. O foco será a construção e aplicação de um protótipo de sistema automatizado para cultivo indoor, controlado por Arduino, com o objetivo de avaliar sua eficiência no desenvolvimento das plantas em comparação ao cultivo convencional.

O trabalho seguirá etapas organizadas. Primeiramente, será feita a definição e aquisição dos componentes elétricos e eletrônicos necessários, como lâmpadas LED Grow Full Spectrum, sensores de luminosidade e umidade, relés, fiação, protoboard, fonte de alimentação e Arduino Uno. Em seguida, será observado o esquema elétrico previamente elaborado, a fim de compreender a disposição dos elementos e a forma de conexão entre os pontos de entrada e saída de energia, assim como a integração dos sensores e relés ao microcontrolador.

Posteriormente, será realizada a programação do Arduino por meio da plataforma Arduino IDE. O código será responsável por controlar automaticamente o tempo de iluminação, simulando condições adequadas ao processo de fotossíntese. O sistema deverá ligar e desligar as lâmpadas de acordo com parâmetros definidos, utilizando as informações recebidas pelos sensores.

Para validar o funcionamento do protótipo, será conduzido um ensaio experimental comparativo entre dois grupos de plantas da mesma espécie, cultivadas em vasos idênticos, com substrato e condições de rega iguais. O grupo controle será mantido em iluminação natural, enquanto o grupo experimental será submetido ao sistema automatizado de iluminação artificial. Durante aproximadamente 14 a 21 dias, serão avaliadas variáveis de crescimento como altura das plantas, número de folhas, tempo de surgimento da primeira folha verdadeira e massa fresca final, quando possível.

As medições serão realizadas em intervalos regulares de três a quatro dias, registradas em planilhas e acompanhadas por fotografias padronizadas. Também será monitorado o consumo energético do sistema. Os dados obtidos serão organizados em tabelas e gráficos para análise quali-quantitativa, possibilitando a comparação entre os grupos e a avaliação da eficiência do protótipo em termos de crescimento vegetal e economia de energia.

O dispositivo funcionará da seguinte forma: A entrada de energia parte de uma tomada de 220V, sendo convertida para 5V/12V conforme a necessidade dos elementos. O Arduino Uno atua como o controlador central, recebendo informações dos sensores de luminosidade (LDR) e, a partir desses dados, acionando o relé.

O relé funciona como uma chave que liga e desliga as lâmpadas LED Grow Full Spectrum de acordo com a programação estabelecida no microcontrolador. Os fios condutores e a protoboard permitem a correta conexão entre todos os elementos do circuito, garantindo a circulação da energia e a comunicação entre os dispositivos.

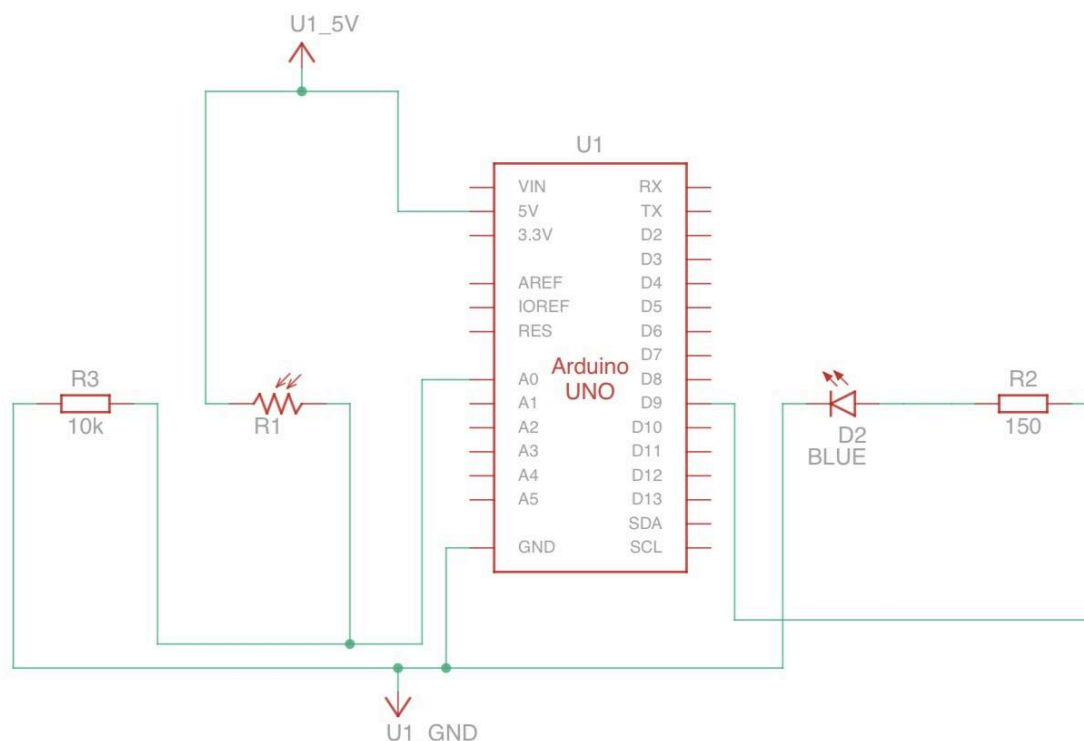
Esse arranjo garante o funcionamento automatizado do cultivo indoor, fornecendo às plantas a iluminação adequada para o processo de fotossíntese.

4.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa tem abordagem quali-quantitativa, pois analisa dados numéricos (como consumo de energia e tempo de exposição à luz) e aspectos qualitativos (como o desenvolvimento das plantas). Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, já que busca conhecer mais sobre a iluminação automatizada para cultivo indoor e descrever o funcionamento do sistema desenvolvido.

4.2 ESQUEMA ELÉTRICO

Figura 17 - Esquema Elétrico



Fonte: Autores (2025)

4.2.1 Componentes principais

- U1 – Arduino Uno: microcontrolador que faz a leitura do LDR e controla o LED.
- R1 – LDR (Light Dependent Resistor): sensor que varia sua resistência conforme a intensidade da luz ambiente.
- R3 – 10 k Ω : resistor de pull-down (ou divisor de tensão) que trabalha junto com o LDR para gerar uma variação de tensão proporcional à luminosidade.
- D2 – LED azul: elemento de saída, acende quando o Arduino envia sinal.
- R2 – 150 Ω : resistor limitador de corrente para proteger o LED.
- U1_5V / U1_GND: linhas de alimentação de 5 V e terra do Arduino.

4.2.2 Funcionamento

1. O LDR (R1) e o resistor R3 formam um divisor de tensão conectado a uma das entradas analógicas do Arduino (provavelmente A0).

- Quando há muita luz, a resistência do LDR diminui, fazendo a tensão lida pelo Arduino ser menor.
 - Quando há pouca luz, a resistência do LDR aumenta, elevando a tensão lida.
2. O Arduino lê essa variação de tensão e, com base em um valor limite programado, decide ligar ou desligar o LED azul (D2).
 3. O LED D2 está ligado a uma saída digital do Arduino (por exemplo, o pino D9). Quando o sinal é alto, o LED acende; quando é baixo, o LED apaga. O resistor R2 ($150\ \Omega$) evita que o LED queime, limitando a corrente.

4.2.3 Lógica

Ambiente claro → LDR com baixa resistência → tensão baixa → LED apagado.

Ambiente escuro → LDR com alta resistência → tensão alta → Arduino aciona LED azul.

4.3 PROGRAMAÇÃO

Figura 18 - Código

```

sketch_oct26a.ino
1  #define LDR A5      // Pino do LDR
2  #define LIGHT 3     // Pino da lâmpada
3
4  int ldrValue = 0;    // Valor do sensor
5  int intensidade = 0; // Valor da intensidade
6
7  void setup() {
8      pinMode(LDR, INPUT);
9      pinMode(LIGHT, OUTPUT);
10     Serial.begin(9600);
11 }
12
13 void loop() {
14     ldrValue = analogRead(LDR); // Lê o valor da luz ambiente
15
16     // Mapeia o valor do LDR para a intensidade do LED
17     // 102 → 255 (máxima luz)
18     // 914 → 0   (apagada)
19     intensidade = map(ldrValue, 102, 1000, 350, 0);
20

```

Fonte: Autores (2025)

Figura 19 - Código

```

21     // Dentro do limite de 0 a 255
22     intensidade = constrain(intensidade, 0, 350);
23
24     analogWrite(LIGHT, intensidade);
25
26     // Valores no monitor serial
27     Serial.print("LDR: ");
28     Serial.print(ldrValue);
29     Serial.print(" | Intensidade: ");
30     Serial.println(intensidade);
31
32     delay(200);
33 }

```

Fonte: Autores (2025)

4.3.1 Declaração de variáveis

`#define LDR A5` – Define o pino analógico A5 como responsável pela leitura do sensor LDR.

`#define LIGHT 3` – Define o pino digital 3 como responsável pelo controle da lâmpada (LED).

`int ldrValue = 0` – Variável utilizada para armazenar o valor obtido do sensor de luminosidade.

`int intensidade = 0` – Variável utilizada para armazenar o valor da intensidade que será aplicada ao LED.

4.3.2 Configuração inicial (setup)

`pinMode(LDR, INPUT)` – Configura o pino destinado ao LDR como entrada, permitindo a leitura dos valores de luminosidade.

`pinMode(LIGHT, OUTPUT)` – Configura o pino destinado à lâmpada como saída, permitindo o envio de sinais elétricos para controle da intensidade.

`Serial.begin(9600)` – Inicia a comunicação serial a 9600 bps, permitindo que os valores do sensor e da intensidade sejam enviados e visualizados no computador.

4.3.3 Laço principal (loop)

Leitura do sensor – O valor da luminosidade é obtido por meio da função `analogRead(LDR)`. Esse valor varia aproximadamente de 0 (escuro) a 1023 (muita luz).

Mapeamento da intensidade – O valor lido do LDR é convertido para um valor de intensidade do LED usando a função `map`. Neste caso:

- Valores baixos de luminosidade (`ldrValue` próximo de 102) → intensidade alta (LED mais aceso).
- Valores altos de luminosidade (`ldrValue` próximo de 914) → intensidade baixa (LED apagado).

Limitação da intensidade – A função `constrain` garante que o valor da intensidade permaneça dentro do intervalo de 0 a 350, evitando valores inválidos para o controle do LED.

Controle do LED – A função `analogWrite(LIGHT, intensidade)` ajusta a luminosidade do LED de acordo com a intensidade calculada.

Monitoramento via Serial – Os valores do sensor e da intensidade são enviados ao Monitor Serial:

```
Serial.print("LDR: ");  
Serial.print(ldrValue);  
Serial.print(" | Intensidade: ");  
Serial.println(intensidade);
```

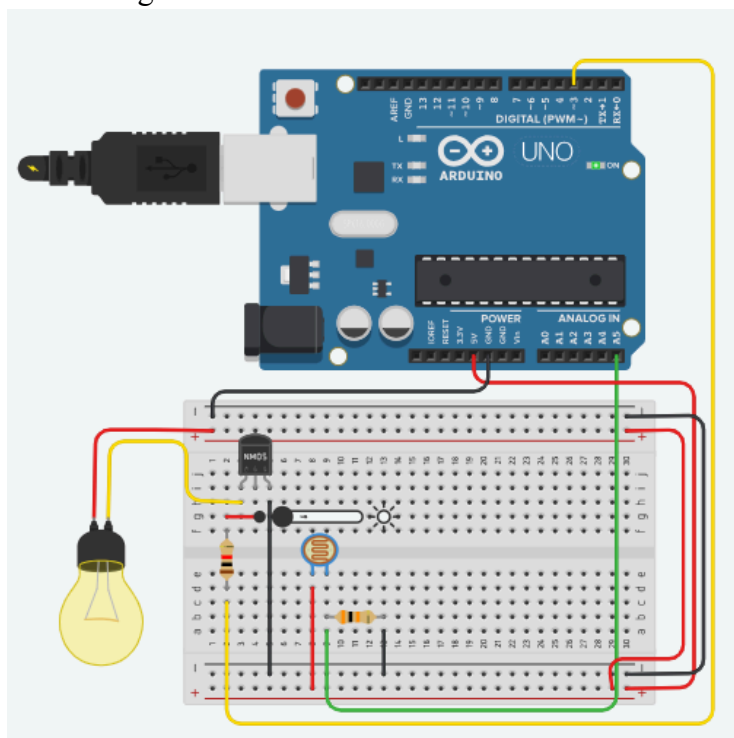
Isso permite acompanhar em tempo real como a luminosidade do ambiente influencia a intensidade do LED.

Delay – A função `delay(200)` pausa o loop por 200 milissegundos, garantindo leituras estáveis e evitando atualização excessiva.

4.4 CIRCUITO

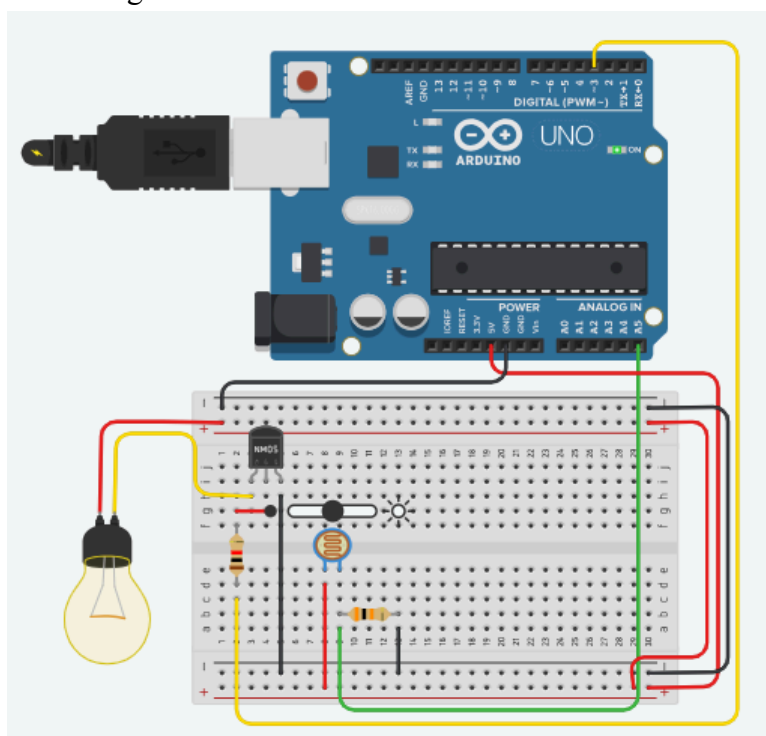
O circuito montado no Tinkercad representa a versão virtual do sistema de iluminação automatizada. Nele, o Arduino UNO atua como controlador principal, recebendo os sinais do sensor LDR, que detecta a intensidade da luz ambiente. O LDR está ligado em conjunto com um resistor, formando um divisor de tensão, que converte as variações de luminosidade em valores elétricos lidos pela entrada analógica A5 do Arduino. A partir dessas leituras, o microcontrolador envia sinais pela saída digital 3, passa pelo transistor NMOS, que supervisiona o funcionamento da lâmpada LED, sendo utilizado para simular o módulo relé. A protoboard permite interligar todos os componentes de forma organizada, facilitando a visualização e o teste do circuito. Essa simulação no Tinkercad auxilia na verificação do funcionamento lógico e elétrico do sistema antes da montagem física.

Figura 20 - Circuito sem luz natural forte



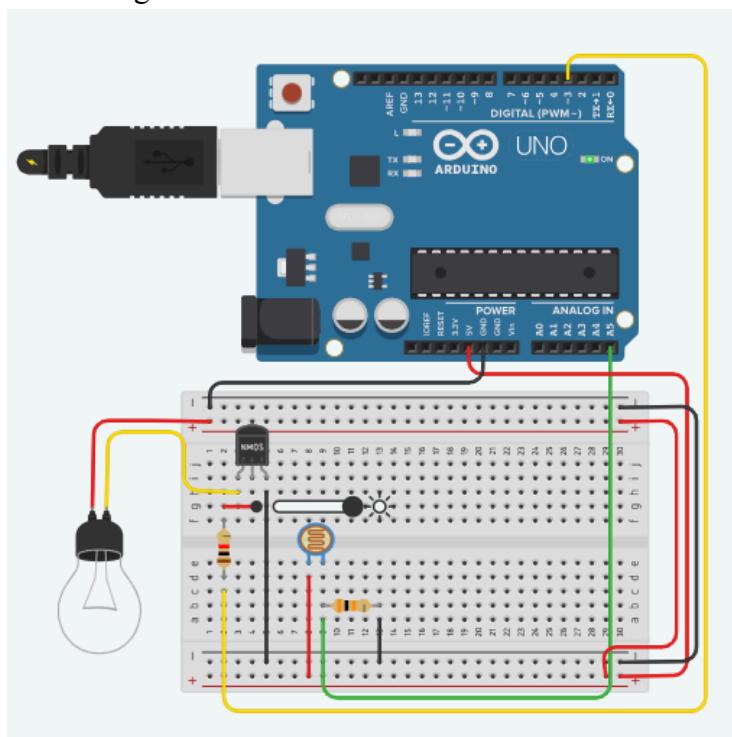
Fonte: Autores (2025)

Figura 21 - Circuito com luz natural média



Fonte: Autores (2025)

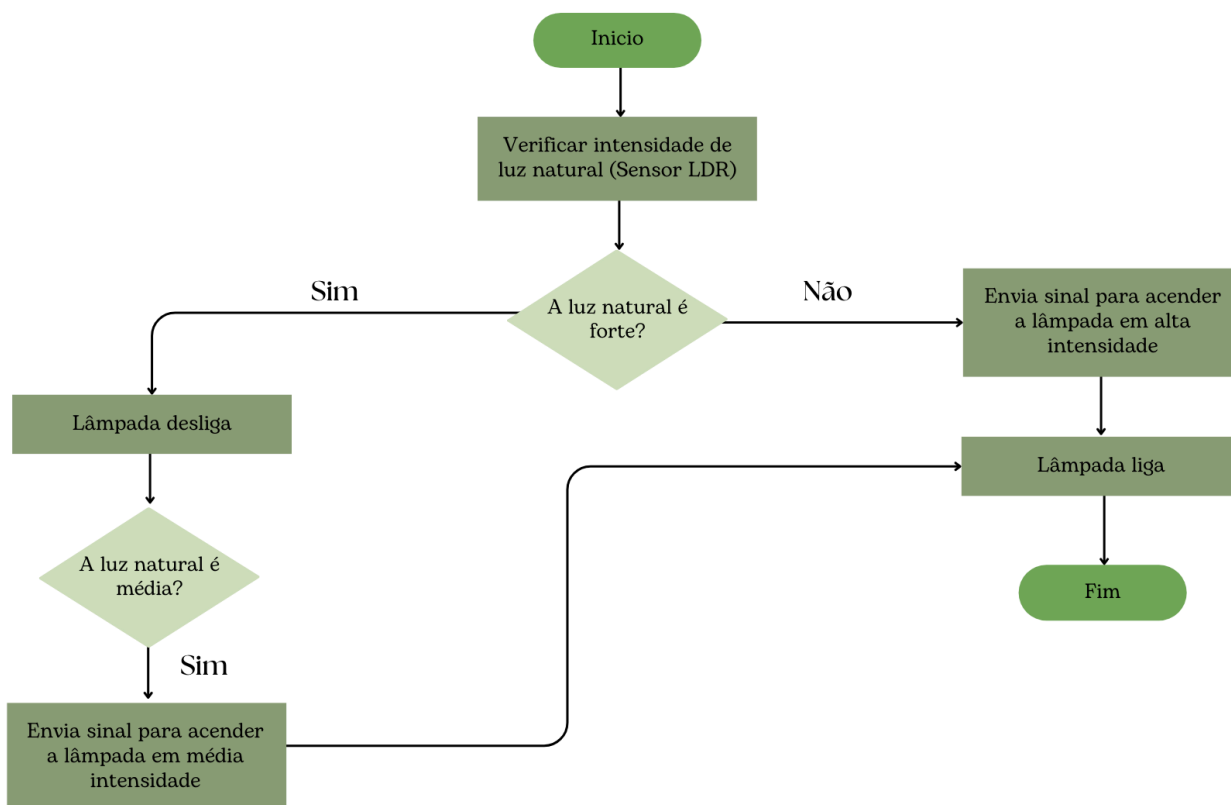
Figura 22 - Circuito com luz natural forte



Fonte: Autores (2025)

4.5 FLUXOGRAMA

Figura 23 - Fluxograma



Fonte: Autores (2025)

Início → O sistema liga e começa verificando a intensidade da luz natural através de um sensor LDR.

Decisão 1: “A luz natural é forte?”

Sim → A lâmpada desliga, porque já há luz suficiente do ambiente.

Não → O sistema envia um sinal para a lâmpada acender em alta intensidade, garantindo iluminação adequada para as plantas.

Se a lâmpada foi desligada (porque havia luz natural forte), o sistema faz outra checagem:

A luz natural é média?

Sim → O sistema envia sinal para acender a lâmpada em média intensidade (para complementar a iluminação natural).

Não → Mantém a lâmpada desligada, porque já há luz suficiente.

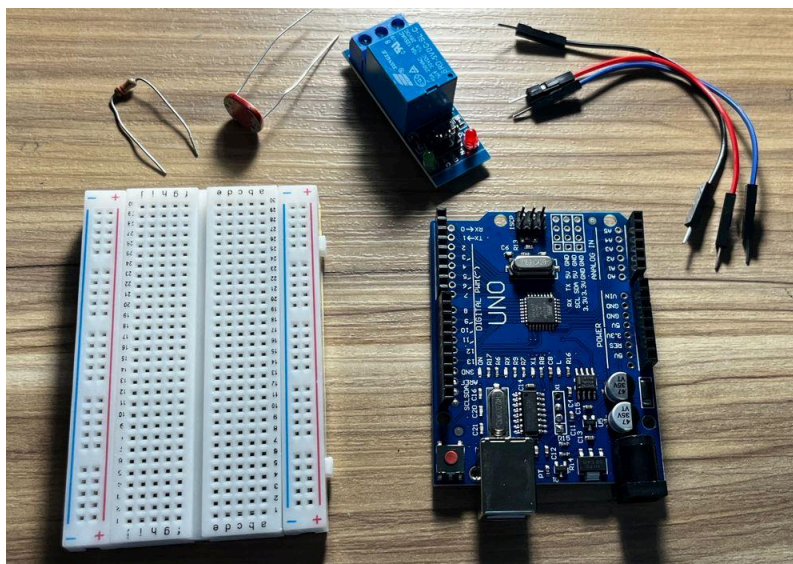
Fim → O ciclo se encerra, garantindo que a iluminação seja ajustada automaticamente conforme a necessidade.

4.6 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do LUMERA começou a partir da ideia de transformar um circuito simples em um sistema inteligente, capaz de reconhecer a luminosidade natural e ajustar automaticamente a iluminação artificial conforme a necessidade das plantas. Para isso, a equipe iniciou a montagem dos componentes eletrônicos e a programação do microcontrolador Arduino UNO, que é o responsável por processar as informações recebidas pelos sensores e controlar o acionamento da lâmpada.

Na Figura 1, é possível visualizar os principais componentes utilizados na construção do sistema.

Figura 24 - Componentes utilizados no circuito



Fonte: Autores

O primeiro passo foi realizar a montagem do módulo relé, que tem a função de ligar e desligar a lâmpada a partir dos comandos enviados pelo Arduino.

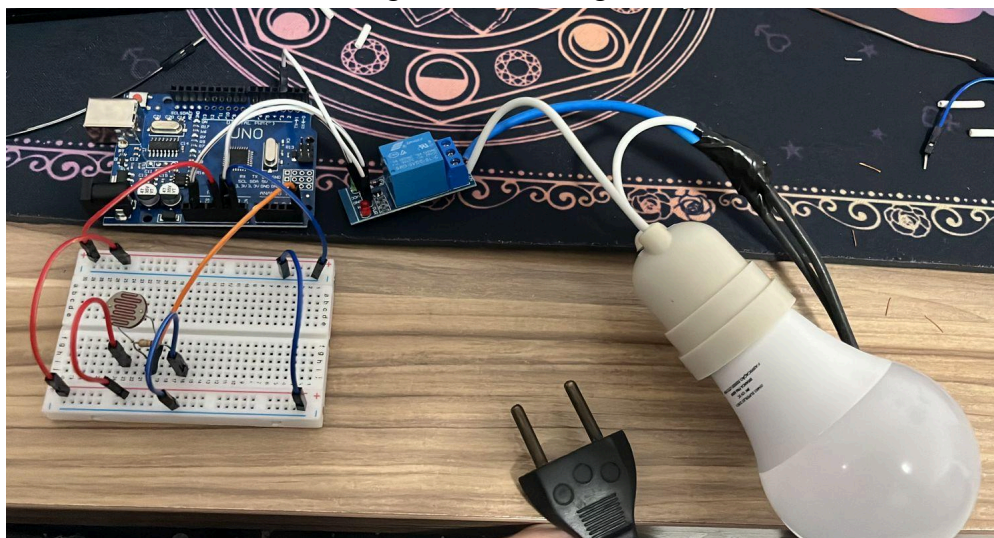
Figura 25 - Montagem do relé



Fonte: Autores

Com o módulo relé instalado, foi feita a montagem completa do circuito, conectando o sensor LDR (Light Dependent Resistor), responsável pela detecção da luz ambiente, os resistores, o Arduino e a lâmpada LED. Essa estrutura foi montada sobre uma protoboard.

Figura 26 - Montagem

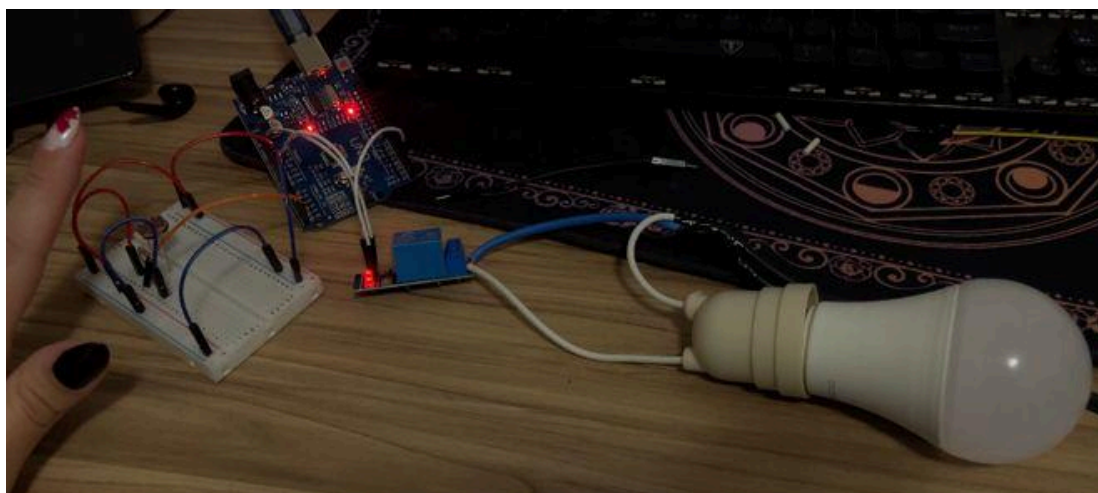


Fonte: Autores

A programação do Arduino foi escrita na plataforma Arduino IDE, e teve como objetivo controlar automaticamente o nível de luz emitido pela lâmpada. O LDR, em conjunto com um divisor de tensão, fornece leituras analógicas da intensidade luminosa. Com base nesses valores, o código define um limiar de referência: quando a luz natural é insuficiente, o sistema liga a lâmpada; quando a iluminação é média, reduz sua intensidade; e quando há luz suficiente, desliga completamente.

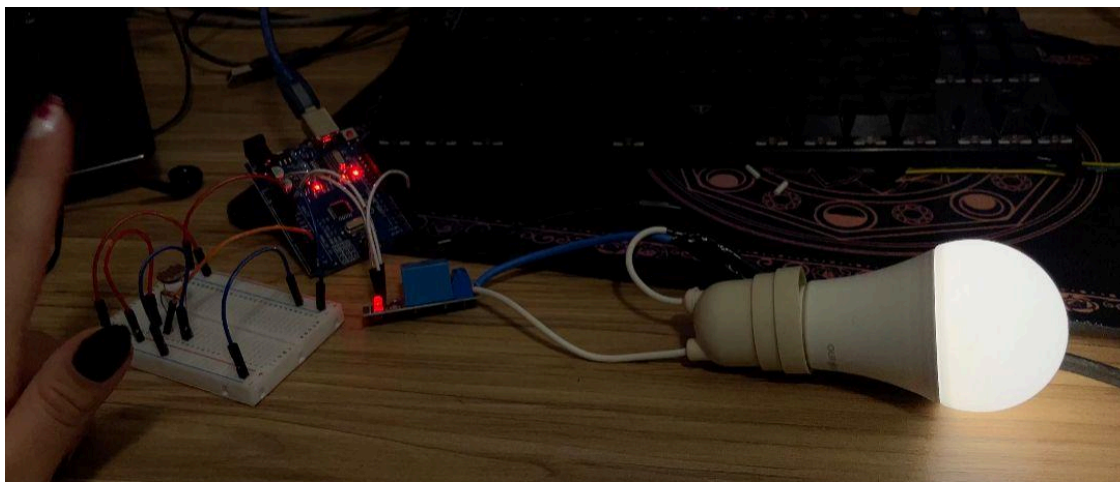
Durante os testes, o comportamento do circuito foi observado em diferentes condições de luminosidade, registradas em três etapas principais:

Figura 27 - Lâmpada desligada



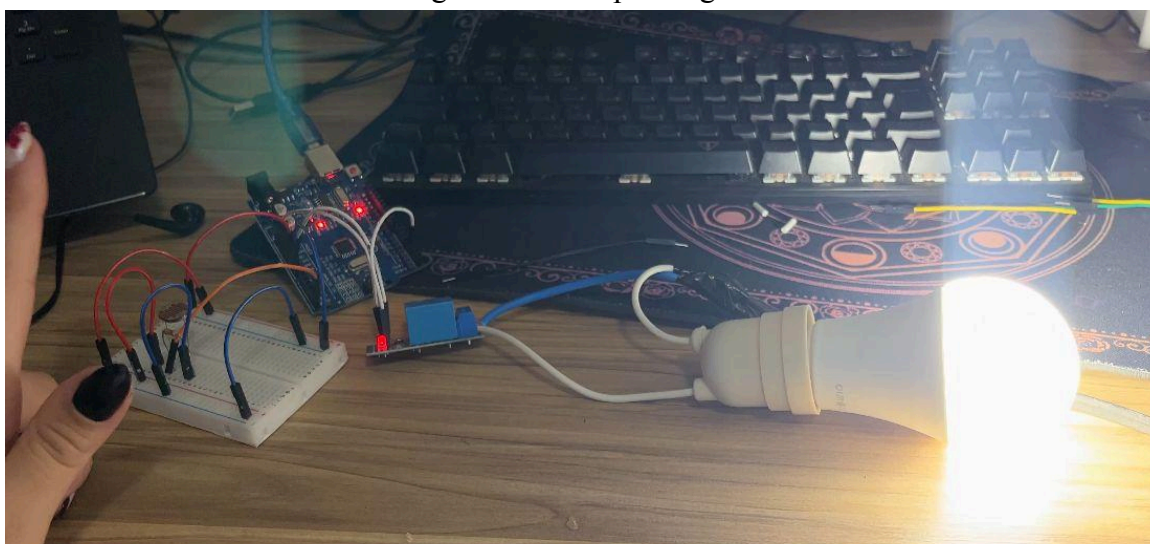
Fonte: Autores

Figura 28 - Lâmpada média intensidade



Fonte: Autores

Figura 29 - Lâmpada ligada



Fonte: Autores

Essas etapas estão sendo fundamentais para a calibração do sensor LDR e para o ajuste do código de controle da iluminação. A equipe está realizando medições e observações no Monitor Serial a fim de compreender como o sensor reage em diferentes condições de luz, permitindo aperfeiçoar a sensibilidade e o tempo de resposta do sistema. Esse processo é importante para garantir que o LUMERA interprete corretamente as variações de luminosidade e ajuste a lâmpada de forma proporcional, evitando acionamentos indevidos.

Com o circuito montado e as primeiras leituras sendo analisadas, o próximo passo do desenvolvimento é aperfeiçoar o código e testar a estabilidade do sistema em situações reais de cultivo. Serão realizados ajustes no valor de referência do sensor e na intensidade da

lâmpada, buscando um equilíbrio entre eficiência energética e conforto luminoso para as plantas.

O projeto segue em fase de aprimoramento, com o objetivo de atingir um funcionamento totalmente automático, capaz de responder rapidamente às mudanças na iluminação natural. As próximas etapas envolvem a realização de testes práticos com plantas, permitindo avaliar o desempenho do sistema em diferentes níveis de luz ambiente e verificar a eficiência da automação proposta.

5. CRONOGRAMA

Tabela 2 – Cronograma

2025	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Escolha do tema	X	X							
Levantamento de literatura científica		X	X	X	X	X			
Introdução			X						
Tema			X						
Problema			X						
Objetivos			X						
Justificativa			X						
Estado da Arte				X					
Fundamentação teórica				X	X				
Metodologia						X			
Cronograma						X			
Recursos						X			
Resultados esperados ou parciais						X			
Referências						X			
Avaliação do CRC							X		
Produção do Banner								X	
27ª Exposchmidt									X

Fonte: Autores (2025)

6. RECURSOS

Tabela 3 - Materiais

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Arduino UNO	R\$ 36,80	1	R\$ 36,80	Mercado Livre	20/10/2025
Módulo LDR	R\$ 4,05	2	R\$ 8,10	Baú da Eletrônica	20/10/2025
Lâmpada 12V 9W	R\$ 19,99	1	R\$ 19,99	Leroy Merlin	20/10/2025
Módulo Relé	R\$ 13,21	1	R\$ 13,21	Baú da Eletrônica	20/10/2025
Resistor 1k Ω	R\$ 0,08	3	R\$ 0,24	Baú da Eletrônica	20/10/2025
Resistor 22k Ω	R\$ 0,08	3	R\$ 0,24	Baú da Eletrônica	20/10/2025
Protoboard 400 pontos	R\$12,99	1	R\$12,99	Baú da Eletrônica	20/10/2025
Valor final: R\$ 106,90					

Fonte: Autores (2025)

7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS

Os resultados esperados com o desenvolvimento do projeto vão além do simples crescimento vegetal. A partir do uso de iluminação artificial controlada no cultivo em ambientes internos, espera-se comprovar a eficiência desse método em relação ao crescimento de plantas em condições naturais, sujeitas às variações climáticas e à limitação da luz solar. A comparação entre uma planta cultivada sem o dispositivo e outra cultivada com o dispositivo permitirá evidenciar diferenças claras no desenvolvimento, demonstrando que a tecnologia é capaz de acelerar e potencializar o crescimento vegetal.

Outro resultado esperado é a contribuição para o bem-estar humano, tanto no aspecto físico quanto no psicológico. O dispositivo LUMERA, quando aplicado em ambientes urbanos, podendo melhorar a qualidade do ar e proporcionar maior disponibilidade de oxigênio em locais fechados, o que traz benefícios diretos para a saúde respiratória das pessoas. Além disso, a presença de plantas no cotidiano está associada à redução do estresse, ao aumento da concentração e à melhoria do bem-estar mental, criando uma relação direta entre o crescimento saudável das plantas e a qualidade de vida humana.

Além disso, há uma perspectiva importante relacionada à agricultura e ao aspecto econômico. O cultivo interno com luz artificial possibilita que as plantas cresçam de forma contínua, sem depender das condições climáticas externas. Isso significa que o tempo de cultivo pode ser reduzido em comparação ao cultivo tradicional, aumentando a produtividade de forma significativa. Para agricultores e investidores, esse resultado representa uma oportunidade de benefícios prolongados e estáveis, pois é um projeto dependente e inteligente, que minimiza impactos provocados por variações climáticas. Esse avanço pode transformar a relação das pessoas com a produção de alimentos e plantas, tornando o cultivo mais eficiente, previsível e economicamente seguro.

Portanto, os resultados esperados do projeto abrangem diferentes dimensões: no campo científico, pretende-se comprovar a eficiência do cultivo indoor no crescimento vegetal; no campo humano, busca-se melhorar a saúde mental, psicológica e respiratória das pessoas; no campo ambiental, há a expectativa de maior equilíbrio ecológico e sustentabilidade; e no campo econômico, prevê-se um impacto direto na agricultura e no setor financeiro, com a possibilidade de plantações mais rápidas, eficientes e menos dependentes do ambiente natural.

REFERÊNCIAS

AGROMATIC. Cultivo indoor: entenda como a luz artificial interfere no crescimento das plantas. Disponível em: <https://www.agromatic.com.br/> 2023. Acesso em: 2025.

BLOG DO LENHARO. Lâmpada LED para cultivo. Disponível em: <https://blogdalenharo.com.br/lampada-de-cultivo-conheca-e-aumente-seu-plantio/>. Acesso em: 2025.

CAIXA TOMADA. Módulo dimmer DimLED. Disponível em: <https://comprar.caixatomada.com/produto/modulo-dimmer-dimled/>. Acesso em: 2025.

CRUZ. Iluminação led em Câmaras de Crescimento de Plantas. Influência na Eficiência Energética e Desenvolvimento das Plantas. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/bd4e2761dfd9cd1b63cfcb9539df7908/1?pq-origsite=scholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 2025.

DECORLUMEN. Luz artificial para plantas: saiba tudo sobre o assunto. Disponível em: <https://blog.decorlumen.com.br/luz-artificial-para-plantas-saiba-tudo-sobre-o-assunto/>. Acesso em: 2025.

FREITAS. Produção de forragem verde hidropônica de milho no sistema indoor. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/17291>. Acesso em: 2025.

GOMES, Tairi T. Áreas verdes são indicadores na avaliação da qualidade ambiental urbana. Pró-Ambiente Campinas. Disponível em: <https://www.proambientebrasil.com.br/blog/fauna/areas-verdes-sao-indicadores-na-avaliacao-da-qualidade-ambiental-urbana>. Acesso em: 2025.

GREENPOWER. Automação do cultivo indoor. Disponível em: <https://greenpower.net.br/blog/automatizacao-do-cultivo-indoor/>. Acesso em: 2025.

INFOENERGIA. Como funciona o efeito Joule. Disponível em: <https://infoenergia.com.br/efeito-joule/>. Acesso em: 2025.

JARDIM ONÍRICO. Tudo que você precisa saber sobre iluminação artificial. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WmlbIX6a-X0>. Acesso em: 2025.

KALATEC. Arduino: o que é e para que serve? Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/arduino-o-que-e/#:~:text=O%20arduino%20serve%2C%20principamente%2C%20para,automa%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20e%20muito%20mais.> Acesso em: 2025.

LAIS VELUDO. Duração certa de luz para plantas de interior: luz certa para plantas. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Z5P1b5-gO9g>. Acesso em: 2025.

LOPES, L. F. et al. Uso de LEDs em cultivos indoor: eficiência e espectro de luz. Revista Brasileira de Agroecologia, 2021. Disponível: <https://masterplants.com.br/led-para-cultivo-indoor-qual-melhor-como-funciona-e-quanto-custa/#:~:text=Mas%20qual%20a%20import%C3%A2ncia%20do,em%20espa%C3%A7os%20menores%2C%20entre%20outros.> Acesso em: 2025.

LUTER LED. Automação de iluminação: o que é e como funciona. Disponível em: <https://www.luterled.com.br/automacao-de-iluminacao/#:~:text=A%20automa%C3%A7%C3%A3o%20de%20ilumina%C3%A7%C3%A3o%20consiste,recursos%20sem%20nenhuma%20interfer%C3%A2ncia%20humana.> Acesso em: 2025.

MAKER HERO. Relé: o que é e como funciona. Disponível em: https://www.makerhero.com/guia/componentes-eletronicos/rele/?srltid=AfmBOoqnIANW_bQx1Hl_oGsjrvp70b7gAg3AcoC68hUTu-wlwrouoJP2. Acesso em: 2025.

MAKER HERO. Sensor LDR – GL5528. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/o-que-e-ldr/?srltid=AfmBOoohNKr9p1kRiW5PsieFhCJGDerk8h30ROvoX-CBILPWs1451E7>. Acesso em: 2025.

MANUAL DA ELETRÔNICA. LDR – O que é e como funciona. Disponível em: <https://www.manualdaeletronica.com.br/ldr-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 2025.

MASTERPLANTS. Lâmpada LED para cultivo: aprenda sobre iluminação e cultivo indoor de plantas. Disponível em: <https://masterplants.com.br/led-grow-aprenda-sobre-iluminacao-e-cultivo-indoor-de-plantas/>. Acesso em: 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. Fotossíntese. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/fotossintese.htm>. Acesso em: 2025.

NAÇÕES UNIDAS. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. 68% da população mundial deverá viver em áreas urbanas até 2050, diz ONU. 2018. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acesso em: 2025.

NEGRI, Patrick. O que é automação e quais os benefícios para as empresas? iugu, São Paulo, 22 nov. 2024. Disponível em: <https://www.iugu.com/blog/o-que-e-automacao>. Acesso em: 2025.

Phlizon. Do different types of artificial light affect plant growth?. Disponível em: <https://www.phlizonstore.com/blogs/knowledge-center/do-different-types-of-artificial-light-affect-plant-growth>. Acesso em: 2025.

RAÍZEN. Sustentabilidade empresarial: o que é e qual sua importância. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/sustentabilidade-empresa#:~:text=Sustentabilidade%20%C3%A9%20ent%C3%A3o%20a%20capacidade,governan%C3%A7a%20na%20gest%C3%A3o%20dos%20neg%C3%B3cios>. Acesso em: 2025.

REDE LUZ. O que é iluminação sustentável e como deve ser pensada. Disponível em: <https://www.redeluz.com.br/blogs/blog-rede-luz/o-que-e-iluminacao-sustentavel-e-como-deve-ser-pensada#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20ilumina%C3%A7%C3%A3o%20sustent%C3%A1vel%20e%20qual%20a%20sua%20import%C3%A2ncia,gastos%20com%20consumo%20de%20energia>. Acesso em: 2025.

REYMOND SOLUÇÕES. Sustentabilidade e responsabilidade social na automação industrial. Disponível em:

<https://reymondsolucoes.com.br/sustentabilidade-e-responsabilidade-social-na-automacao-industrial/#:~:text=A%20automa%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20oferece%20v%C3%A1rias,negativos%20sobre%20o%20meio%20ambiente>. Acesso em: 2025.

ROSA. Sistema para cultivo indoor de hortaliças com suplementação luminosa. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/32966>. Acesso em: 2025.

SISTEMA DE CONTROLE. O que é sistema de controle? Disponível em: <https://chapecali.com.br/glossario/o-que-e-sistema-de-controle/>. Acesso em: 2025.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. Disponível em: <https://antigo.uab.ufsc.br/biologia/files/2020/08/Fisiologia-Vegetal.pdf>. Acesso em: 2025.

UPRTEK. Diferença entre luzes de cultivo e luz solar. Disponível em: <https://www.uprtek.com/en/blogs/can-grow-lights-replace-sunlight>. Acesso em: 2025.

UPRtek. Why grow lights are purple. Disponível em: <https://www.uprtek.com/en/blogs/why-grow-lights-are-purple>. Acesso em: 2025.

ANEXOS

```
#define LDR A5    // Pino do LDR
#define LIGHT 3   // Pino da lâmpada

int ldrValue = 0; // Valor do sensor
int intensidade = 0; // Valor da intensidade

void setup() {
  pinMode(LDR, INPUT);
  pinMode(LIGHT, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  ldrValue = analogRead(LDR); // Lê o valor da luz ambiente

  // Mapeia o valor do LDR para a intensidade do LED
  // 102 → 255 (máxima luz)
  // 914 → 0   (apagada)
  intensidade = map(ldrValue, 102, 1000, 350, 0);

  // Dentro do limite de 0 a 255
  intensidade = constrain(intensidade, 0, 350);

  analogWrite(LIGHT, intensidade);
  // Valores no monitor serial
  Serial.print("LDR: ");
  Serial.print(ldrValue);
  Serial.print(" | Intensidade: ");
  Serial.println(intensidade);

  delay(200);
}
```