

# Monitoramento e Controle de Microclima em uma Estufa para Produção de Cogumelos

Luiddy de Souza Montfusco

<https://orcid.org/0009-0009-8038-3825>

Departamento de Ciência da Computação (DECOMP)  
Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO  
Guarapuava - PR, Brasil  
luiddysouza@gmail.com

Maria Luísa Ghizoni Gonzalez

<https://orcid.org/0009-0000-7496-1849>

Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia (DCET)  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)  
Vitória da Conquista - BA, Brasil  
maria.gonzalez@uesb.edu.br

**Resumo**—Com o aumento do consumo de cogumelos devido às suas reconhecidas propriedades nutricionais, o Departamento de Engenharia de Alimentos da UNICENTRO - PR iniciou pesquisas voltadas para esse segmento. Identificando a necessidade de um controle mais eficiente do microclima durante a produção, foi firmada uma parceria com um projeto que utiliza uma estufa instalada em um contêiner para cultivo de cogumelos. Esse contexto motivou o desenvolvimento deste projeto, cujo objetivo é criar um protótipo para controle e monitoramento do microclima, tornando o uso da estufa mais prático e reduzindo a necessidade de visitas frequentes. O protótipo é baseado na plataforma Arduino e faz uso dos sensores DHT11, LDR e MQ135, além de LED e ventoinha como atuadores.

**Index Terms**—estufa, arduino, produção em estufa

## I. INTRODUÇÃO

Com alto valor nutricional, e alta quantidade de proteínas, minerais, vitaminas, fibras e propriedades farmacológicas, o consumo se mostra benéfico a uma alimentação saudável [1]. O relatório [2] aponta que um fator-chave para o mercado de cogumelos durante os próximos anos é o crescimento contínuo da população vegana, que possui uma dieta que deve ser rica em proteínas de origem não animal. A estimativa é que o faturamento global do mercado deve saltar de 50,2 bilhões em 2021 para 115,7 bilhões de dólares em 2030. Já pelo aspecto da saúde, os cogumelos são ricos em quatro nutrientes essenciais: selênio, vitamina D, glutatona e ergotioneína. Esses compostos ajudam a reduzir o estresse oxidativo e a prevenir ou diminuir o risco de doenças crônicas, como câncer, doenças cardíacas e demência. Além disso, os cogumelos possuem um sabor umami natural intenso, o que permite que os consumidores reduzam a quantidade de sal nas refeições em 30-40%, contribuindo assim para uma alimentação mais saudável.

Segundo os trabalhos de [3], [4], [5], os cogumelos são extremamente interessantes quando pensamos em produção circular, visto que podem utilizar como substrato para a produção resíduos agroindustriais tais como folhas, raízes, talos, caules, palhas, vagens e cascas. Essa prática não apenas reduz o desperdício de resíduos agrícolas, mas também oferece uma solução ambientalmente amigável para a gestão desses materiais. Os resíduos gerados na produção de cogumelos podem ser reutilizados no ciclo de produção do próprio

produto ou em outros produtos promovendo uma utilização eficiente de recursos. Em suma, a incorporação dos cogumelos na agroindústria oferece uma solução circular para os desafios contemporâneos de sustentabilidade. Aproveitando resíduos agrícolas, os cogumelos não só reduzem o impacto ambiental, mas também fornecem alimentos nutritivos e bioativos. Essa abordagem não apenas promove a saúde humana, mas também impulsiona a economia circular, demonstrando que a sustentabilidade e a inovação podem caminhar juntas para um futuro mais equilibrado e próspero.

Nesse contexto, a otimização das condições de cultivo desempenha um papel fundamental para garantir a eficiência da produção e a qualidade dos cogumelos. A possibilidade de criação de um microclima controlado torna a produção de cogumelos em estufas uma alternativa eficaz, pois minimiza a influência de fatores externos adversos. Dessa forma, o cultivo pode ocorrer em um ambiente mais estável, favorecendo o crescimento dos cogumelos e reduzindo a necessidade de insumos como pesticidas. De acordo com [6], esse controle não só diminui a dependência de agroquímicos, mas também reduz o tempo necessário para a colheita e pode aumentar a produtividade. Diante desse cenário, surgiu o interesse em desenvolver uma solução de automação para as estufas de produção de cogumelos comestíveis. A automação se mostra vantajosa por permitir um monitoramento preciso de parâmetros essenciais, como temperatura, umidade e níveis de CO<sub>2</sub>, garantindo um ambiente ideal para o crescimento dos cogumelos. Atualmente, o departamento de Engenharia de Alimentos da UNICENTRO cultiva cogumelos em uma estufa contêiner utilizando pacotes plásticos com matéria orgânica e esporos Fig. 1. Assim, este trabalho propõe uma parceria para desenvolver um sistema automatizado para essa estufa, utilizando os conceitos de *Internet of Things* (IoT).

Para atingir o objetivo proposto, foi escolhido trabalhar com alguns sensores juntamente com a plataforma Arduino para a confecção de um protótipo que sirva como prova de conceito. Tal escolha se deu por se tratar de uma plataforma livre [7].

Este artigo é organizado nas seguintes seções: Trabalhos similares, onde há uma análise de alguns trabalhos que desenvolveram algo similar ou que utilizaram as mesmas tecnologias; Tecnologias aplicadas, explicando o motivo para selecioná-

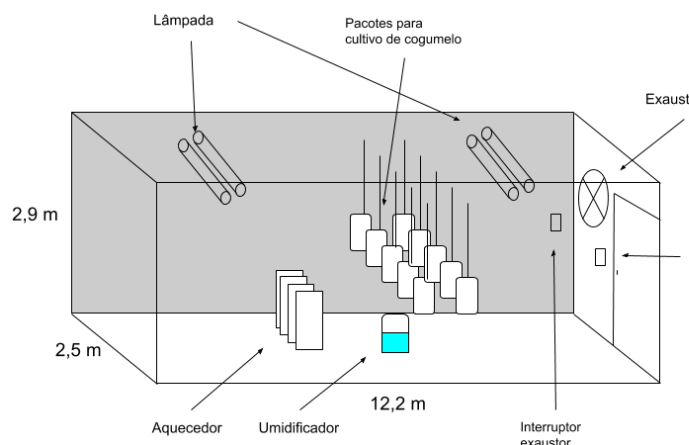


Figura 1. Modelo do Contêiner Estufa da Engenharia de Alimentos - UNICENTRO - PR

las e as descrevendo; Análise do desenvolvimento, seção responsável por apresentar um balanço das etapas desenvolvidas; Resultados, que expõe os resultados encontrados durante o processo de desenvolvimento do projeto; e Considerações finais, apresentando algumas propostas de trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS SIMILARES

Para desenvolver esta seção, foi realizada uma pesquisa no *Google Scholar* e selecionados os trabalhos que mais se assemelhavam para que fosse possível assimilar o estado da arte da área de estufas, em especial as dedicadas à criação de cogumelos.

A maior importância ao coletar trabalhos semelhantes é poder, ao analisá-los, identificar seus pontos fortes e utilizar estas informações para facilitar a tomada de decisões a respeito do hardware e software a serem utilizados. A partir das análises realizadas com os trabalhos encontrados, a Fig. 2 e Fig. 3 contemplam a estatística a respeito do hardware que esses trabalhos utilizaram, onde o primeiro classifica de acordo com o microcontrolador e o segundo de acordo com os sensores de temperatura e umidade.

Como apresentado, dentre os 42 artigos selecionados, 19 utilizam sensores da família DHT; 8 utilizam o sensor LDR; o sensor MQ135 é utilizado por 6 deles; e o microcontrolador mais utilizado é da família Arduino, totalizando 16 deles. Esses dados quantitativos ajudam a justificar as escolhas dos sensores e microcontroladores utilizados, uma vez que pode-se perceber a ampla utilização dos componentes selecionados.

A seguir, uma análise de trabalhos similares, destacando as semelhanças e diferenças com relação a este.

O artigo [8] apresenta uma metodologia para otimizar o projeto de estufas de tamanho real através da construção de mini-estufas equipadas com um sistema de sensores DHT22 para temperatura e umidade e BMP180 para temperatura e pressão. Esses sensores são conectados a um microcontrolador Raspberry Pi que coleta dados para análise. Uma das limitações do estudo reside na simplificação do modelo matemático utilizado para simular o balanço de calor dentro da

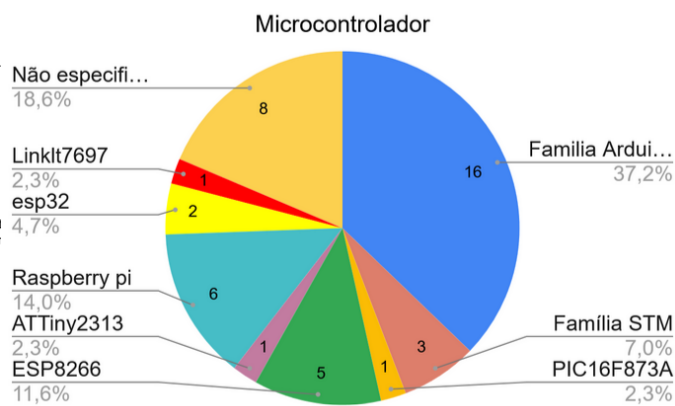


Figura 2. Gráfico de Microcontroladores Usados

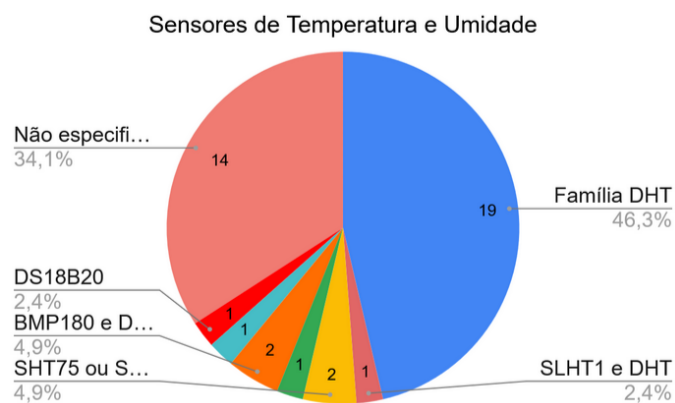


Figura 3. Gráfico de Sensores de Temperatura e Umidade Usados

mini-estufa, além do período relativamente curto de validação experimental. A pesquisa visa utilizar os dados coletados para determinar a melhor localização e orientação para uma estufa maior, com o objetivo de aprimorar a eficiência energética ainda na fase de projeto. Diferente deste artigo, o presente trabalho não utiliza o Raspberry Pi como controlador, uma vez que seu custo é mais elevado e que, apesar de possibilitar uma solução mais robusta, a solução com Arduino já seria suficiente para atingir o objetivo.

Um sistema inovador de cultivo de cogumelos *Indian oyster* baseado em IoT é descrito por [9], que utiliza sensores AM2305B para monitorar continuamente a umidade e a temperatura do ambiente. Um microcontrolador Raspberry Pi 4 Model B atua como a unidade central de controle, responsável por processar os dados dos sensores e acionar atuadores como válvulas solenoides e um bico de pulverização de névoa para regular a umidade. A energia para o sistema é fornecida por estações fotovoltaicas solares. As limitações do estudo incluem o custo inicial de implementação da tecnologia IoT e das fontes de energia renovável, que pode ser uma barreira para pequenos produtores, e a necessidade de expertise técnica para instalação e gerenciamento do sistema. Além disso, o estudo se concentra principalmente no impacto imediato no

rendimento e na simplicidade do projeto do sistema, com necessidade de pesquisas futuras sobre os efeitos a longo prazo e a adaptabilidade a outras variedades de cogumelos. No entanto, diferentemente do trabalho apresentado por [9], a abordagem adotada neste estudo levou em consideração restrições orçamentárias e a viabilidade de implementação no local de aplicação. O custo do sistema descrito por [9] era superior ao orçamento disponível, tornando inviável sua adoção direta. Além disso, devido às características do ambiente onde este trabalho será aplicado, não foi possível utilizar placas de energia solar como fonte de alimentação, exigindo uma alternativa energética mais adequada às condições locais.

Descrito como um sistema automatizado para monitoramento e gerenciamento de um cultivo de cogumelos em estufa com energia solar, [10] utiliza um microcontrolador Arduino e aplicações baseadas em IoT. O sistema emprega diversos sensores para monitorar parâmetros cruciais como temperatura, umidade e luz, e utiliza atuadores como um sistema de ventilação, um aspersor e LEDs para controlar o ambiente dentro da estufa. As limitações apontadas incluem a sugestão de melhorias na segurança através da instalação de câmeras de vigilância e a realocação da estufa para um local mais privado. Adicionalmente, o sensor de umidade do solo não foi considerado um fator significativo para o cultivo de cogumelos neste estudo. Diferentemente do sistema descrito por [10], o presente trabalho não considerou o uso de energia solar como fonte de alimentação. Isso se deve ao fato de que a estufa onde a solução será aplicada está localizada em meio a árvores, sem incidência direta de luz solar, tornando inviável a utilização de painéis fotovoltaicos. Dessa forma, a escolha da fonte de energia foi baseada na disponibilidade e viabilidade para as condições específicas do local de implementação.

Projetado para monitorar e controlar a temperatura e a umidade em tempo real, o artigo [11] apresenta um sistema de cultivo remoto de cogumelos straw (*Volvariella volvacea*) utilizando tecnologias de IoT. O sistema utiliza um sensor DHT11 para medir os níveis de temperatura e umidade, um módulo DS3231 para agendamento automático de irrigação, uma câmera ESP32-Cam para capturar imagens do local de cultivo e um microcontrolador NodeMCU para processar os dados ambientais e ajustar as condições de cultivo. O sistema controla a temperatura e a umidade acionando um aquecedor ou ventilador e um umidificador ou exaustor, respectivamente. As limitações do sistema incluem os custos de implementação, problemas de compatibilidade e conectividade. Até mesmo para evitar tais limitações, o presente trabalho utiliza um microcontrolador diferente, com custo mais acessível e amplas possibilidades de compatibilidade e conectividade.

Um kit inteligente de cultivo de cogumelos baseado em IoT descrito por [12] emprega sensores de temperatura, umidade, MQ-135 (qualidade do ar) e ultrassônico, juntamente com uma câmera ESP32, todos controlados por um microcontrolador ESP32. O sistema utiliza atuadores como um sistema de névoa, ventoinha e luzes LED. Os dados coletados são transmitidos via Wi-Fi para uma plataforma IoT, permitindo monitoramento e controle em tempo real através de um painel. Uma limitação

notável é que o protótipo conseguiu reduzir a temperatura em apenas 0,3°C devido à ausência de um sistema de resfriamento e aquecimento mais robusto. Nota-se que a solução apresentada assemelha-se a este trabalho, diferindo principalmente no que diz respeito ao microcontrolador utilizado. Além disso, o exaustor da estufa real que serviu de base para este estudo, aliado ao contexto climático, contribui para a manutenção da temperatura ideal.

Um projeto e desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento de Cogumelos baseado na Web com Aspersor Inteligente (MMS) para casas de cogumelos é apresentado por [13]. O sistema emprega tecnologias IoT e sensores para monitorar e controlar, em tempo real, as condições ambientais dentro das estufas de cogumelos. Ele integra funcionalidades como a medição de temperatura, umidade e nível de CO<sub>2</sub>, além do uso de aspersores inteligentes para uma irrigação precisa. O desenvolvimento do sistema foi baseado no microcontrolador Arduino Uno. No entanto, uma de suas limitações é a ausência de mecanismos específicos para lidar com problemas relacionados à presença de insetos nas instalações agrícolas.

O artigo [14] descreve um sistema de estufa automatizada para o cultivo de cogumelos em ambiente residencial, controlada por um microcontrolador ATmega328 (placa Arduino UNO). O sistema utiliza o sensor DHT22 para monitorar a temperatura e a umidade. Os atuadores incluem uma geladeira Consul (para controle de temperatura), umidificador, ventoinhas e uma lâmpada LED de 3W. O sistema controla a temperatura entre 17-24°C e a umidade entre 80-96%, além de controlar os níveis de CO<sub>2</sub> e a iluminação. Os autores não especificam explicitamente as limitações do sistema, mas indicam oportunidades de melhorias no código, instalação e acabamento da estufa. Diferente do encontrado no artigo [14], este trabalho não precisou utilizar um atuador tão robusto como uma geladeira para manter a temperatura dentro da faixa esperada, uma vez que a estufa alvo era localizada em uma região de temperaturas mais amenas e ainda suas paredes possuíam isolante térmico.

O projeto de uma estufa automatizada para o cultivo de fungos comestíveis em ambiente residencial é apresentado no artigo [15]. O sistema utiliza o ESP32 como microcontrolador. O sensor SHT20 monitora a temperatura e a umidade. Os atuadores incluem o compressor de uma geladeira Esmaltec ROC 31 (para controle de temperatura), umidificador, ventoinhas e uma lâmpada LED de 3W. O sistema permite o monitoramento através de uma plataforma IoT e controle via aplicativo Android. Uma limitação identificada é uma possível queda na capacidade de atuação do umidificador. O artigo indica ainda oportunidades de melhorias no código, instalação e acabamento da estufa.

A construção de uma estufa flutuante moderna para o cultivo de cogumelos Indian oyster, equipada com um sistema de controle remoto via celular e tecnologia Arduino é o foco do artigo [16]. O sistema é composto por uma estrutura para regular a temperatura e a umidade, células solares e prateleiras para cogumelos. Os sensores medem temperatura e umidade, enviando os dados para uma placa de desenvolvimento de

módulo, que aciona os atuadores, como bombas d'água e ventiladores, controlados por um microcontrolador Arduino, para manter as condições ideais. As limitações do sistema incluem o custo inicial e a necessidade de expertise técnica. Como principal diferença entre o trabalho de [16] e este trabalho destaca-se a própria estrutura da estufa.

O estudo [17] apresenta um modelo preditivo para o ambiente de estufas de cogumelos comestíveis, utilizando uma combinação de mecanismo de atenção, rede neural convolucional e rede neural de memória de longo prazo (A-CNN-LSTM). O sistema coleta dados ambientais internos (temperatura, umidade e níveis de dióxido de carbono) e externos (temperatura e umidade do ar exterior), bem como dados de status de ligar/desligar do umidificador e ar condicionado por meio de sensores. Um gateway inteligente (STM32F104) recebe informações dos sensores e envia sinais de controle de volta para os atuadores (umidificador e ar condicionado) com o objetivo de manter o ambiente da estufa dentro dos parâmetros desejados. O artigo não especifica qual microcontrolador é usado, mas observa que o gateway usa um microcontrolador STM32F104. As limitações do sistema incluem a necessidade de dados de todas as quatro estações do ano e a necessidade de otimizar o modelo integrando a predição de temperatura e umidade com otimização de energia e objetivos de crescimento da cultura.

No trabalho de [18] foi desenvolvida uma estrutura de acrílico para criar um protótipo de sistema para estufa, como apresentado na Fig. 4. O sistema desenvolvido obteve resultados satisfatórios apesar dos autores terem se deparado com alguns erros de integração dos sensores. Estes erros causavam leituras erradas e a forma de corrigir encontrada pelos autores foi utilizar opto-isoladores. A semelhança com o trabalho proposto foi a necessidade de se aplicar em um protótipo de pequeno porte, usando assim ventoinha de computador e uma quantidade menor de sensores.



Figura 4. Reka; Chezian; Chandra, 2019

A Fig. 5 traz a imagem do trabalho de [19], um protótipo de estufa de pequeno porte voltado para a produção de cogumelo

shimeji. Os autores identificaram que todos os parâmetros para o cultivo foram mantidos em níveis ideais, mostrando então que a estufa funcionou de maneira satisfatória. Essa estufa utilizou arduino e sensores similares aos propostos neste trabalho.



Figura 5. Ghais, 2018

Seguindo esta mesma linha, o artigo de [20] desenvolveu um protótipo para automação de uma estufa, mas voltada para o cultivo de hidropônicos. Os autores não puderam concluir a efetividade do protótipo, uma vez que encontraram problemas no sistema hidromecânico e/ou na parte fisiológica das plantas que o sistema desenvolvido não estava preparado para lidar.

O artigo de [21] desenvolveu um sistema de monitoramento de estufas para a produção de cogumelos no Centro Nacional de Desenvolvimento e Extensão de Cogumelos em Savar, Bangladesh. Os resultados mostram que foi possível manter os parâmetros do ambiente em níveis ideais, pois o sistema foi capaz de controlá-los corretamente.

Já o artigo de [22] apresenta um caso voltado para a agricultura, onde um sistema de monitoramento de uma estufa foi desenvolvido. Os pontos analisados foram o controle dos parâmetros de clima, a capacidade de transmissão dos dados e o tempo de resposta. Os resultados obtidos permitem aos autores classificarem o sistema como confiável.

A Fig. 6 é referente ao trabalho de [23], que desenvolveu um sistema de controle e monitoramento de uma plantação de cogumelos onde a forma de cultivo é bastante semelhante ao utilizado na UNICENTRO. Os resultados apontam que o software embarcado é confiável e preciso tanto no que diz respeito aos sensores quanto no que diz respeito aos atuadores.



Figura 6. Raja et al, 2018

O trabalho de [24] também desenvolve um sistema de controle automatizado de uma casa para produção de cogumelos.

Os resultados, porém, mostram que apesar de o sistema ser capaz de manter os parâmetros do ambiente em níveis ideais, acarretando em um aumento da produção, ele requer uma internet estável para comunicação com o aplicativo web.

Um sistema de baixo custo para monitoramento de estufas é desenvolvido no artigo de [23]. Os resultados coletados apresentam um cenário onde o sistema é capaz de controlar os parâmetros do ambiente de maneira eficiente e ainda exibi-los em tempo real na interface.

De uma maneira geral, a maior parte dos artigos estudados monitora parâmetros como temperatura, umidade e presença de gases, utilizando exaustores, ventiladores, umidificadores e lâmpadas como atuadores. A plataforma Arduino também é utilizada na maioria dos trabalhos estudados, tanto no hardware quanto no software. Desta forma, a decisão tomada para a condução do atual estudo é também utilizar tais componentes, uma vez que pôde-se observar que eles se mostram eficientes para atingir os objetivos propostos.

### III. METODOLOGIA

O projeto adotou metodologias de desenvolvimento de sistemas embarcados, que, conforme [25], exigem conhecimentos específicos sobre técnicas aplicadas no processo de criação para garantir o sucesso do sistema.

**Bottom-up:** nessa abordagem, o projeto é desenvolvido a partir da descrição detalhada de seus componentes básicos. Esses componentes são conectados para formar subsistemas, que, por sua vez, são integrados em estruturas maiores, repetindo o processo até a formação do sistema completo [25].

**Top-down:** essa metodologia inicia o projeto com uma formulação geral e abstrata das características finais do sistema desejado, sem detalhar, inicialmente, como será sua implementação [25].

**Meet-in-the-middle:** combinando as duas abordagens anteriores, essa metodologia busca aproveitar os pontos fortes de ambas enquanto minimiza suas limitações [25].

A partir dos trabalhos correlatos foram avaliadas as possibilidades do uso dos componentes disponíveis. A Fig. 7 apresenta o fluxo de projetos embarcados utilizando a metodologia Meet-in-the-middle. O processo é detalhado no diagrama da Fig. 8 que ilustra a integração das abordagens bottom-up e top-down. Nessa metodologia, parte-se dos componentes disponíveis (*bottom-up*), enquanto a ideia inicial do projeto segue uma estrutura de refinamentos sucessivos (*top-down*). Dessa forma, os módulos são desenvolvidos progressivamente até se alcançar o produto idealizado na abordagem *top-down*.

### IV. TECNOLOGIAS APLICADAS

Esta seção se dedica a apresentar as tecnologias envolvidas na confecção do protótipo proposto, bem como as metodologias envolvidas no desenvolvimento como um todo. Os materiais utilizados, conforme apresentados na Fig. 9, foram: DHT11, LDR e MQ135 que são sensores para temperatura e umidade, luminosidade e dióxido de carbono, respectivamente, microcontrolador Arduino UNO, placa de prototipagem e Arduino IDE.

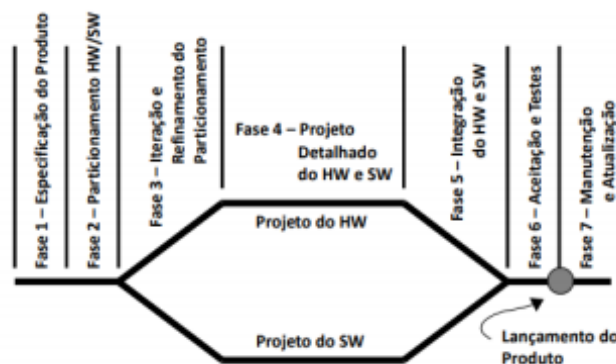


Figura 7. Fluxo de desenvolvimento do projeto. Imagem de [25].



Figura 8. Metodologia de Desenvolvimento

É importante ressaltar que, devido à natureza do protótipo, alguns atuadores utilizados não seriam os mesmos na aplicação em ambiente real. Os LEDs seriam substituídos pelas lâmpadas já presentes na estufa e para isso seriam necessárias também outras alterações como a utilização de módulo relé ou ponte H para lidar com a voltagem de 220v necessária para controlar as lâmpadas, além disso a ventoinha seria substituída pelo exaustor já presente na estufa, que também poderia ser acionado utilizando a ponte H ou um relé.

#### A. Microcontroladores

Microcontroladores podem ser definidos como computadores integrados em um único chip. Isso se deve ao fato de serem sistemas completos, geralmente compostos por processador,

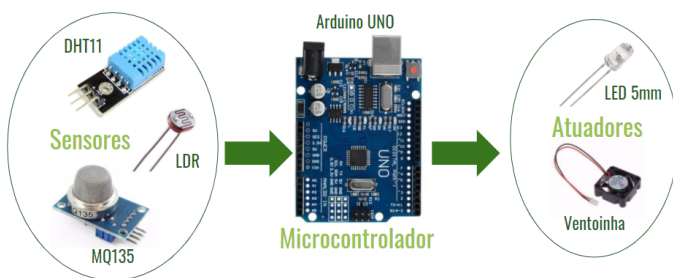


Figura 9. Materiais utilizados

memória e periféricos de entrada e saída [26]. Sua função principal é armazenar e executar o software embarcado, permitindo o controle de sensores, atuadores e outros dispositivos conectados. Eles recebem dados e enviam comandos para esses componentes, desempenhando um papel central no funcionamento do sistema. A seção IV-A1 detalha a placa Arduino UNO, destacando suas principais características.

1) *Arduino UNO*: O Arduino UNO, ilustrado na Fig. 10, é uma placa microcontroladora baseada no chip ATmega328P. Ela oferece 14 pinos de entrada/saída digitais (sendo 6 deles compatíveis com saídas PWM, Pulse Width Modulation), 6 entradas analógicas, um ressonador de cerâmica de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um conector ICSP e um botão de reinicialização. A escolha do Arduino UNO se deu pelo seu excelente custo-benefício, por ser uma plataforma de código aberto e pela ampla adoção em estudos científicos, sendo mencionado em 42 artigos analisados.

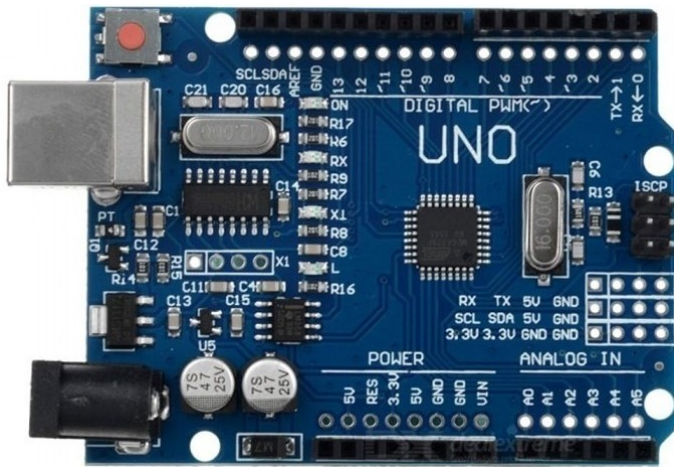


Figura 10. Placa Arduino UNO

## B. Sensores

Sensores são dispositivos capazes de detectar alterações no ambiente e converter grandezas físicas em valores utilizáveis [7]. Nos subtópicos a seguir, são apresentadas as características dos sensores DHT11, LDR e MQ135, escolhidos com base nas pesquisas realizadas.

1) *DHT11*: O DHT11, ilustrado na Fig. 11, é um sensor integrado que fornece medições digitais de temperatura e umidade. Sua faixa de medição de temperatura varia de 0 a 50 graus Celsius, com uma margem de erro de  $\pm 2$  graus. Essa precisão atende às necessidades do controle de temperatura para o cultivo do cogumelo *Hiratake*, cuja faixa ideal está entre 23 e 28 graus Celsius, produzido na estufa automatizada.

A medição de umidade do DHT11 abrange valores de 20% a 90%, com precisão de  $\pm 5\%$ , o que também é suficiente para a automação, considerando que a umidade deve permanecer entre 80% e 90%. O sensor utiliza um elemento resistivo para medir a umidade e um dispositivo NTC (Negative Temperature Coefficient) para medir a temperatura. A escolha do DHT11 foi motivada pelo seu excelente custo-benefício e pela ampla

utilização em pesquisas científicas, evidenciada pelo significativo número de artigos que empregam sensores da família DHT.

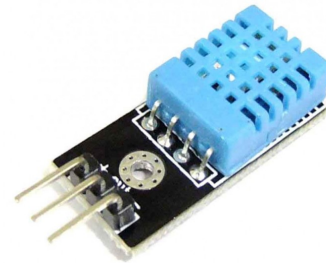


Figura 11. Sensor DHT11

2) *LDR*: O LDR, ilustrado na Fig. 12, é um sensor do tipo resistor variável que responde à intensidade da luz. Sua resistência varia de forma inversamente proporcional à luminosidade: quanto maior a luz incidente, menor a resistência. Esse sensor é particularmente importante no cultivo de cogumelos, pois permite controlar os períodos de exposição à luz e escuridão, condições essenciais para o desenvolvimento ideal da cultura. A escolha do LDR, assim como a do DHT11, foi motivada pelo custo-benefício e ampla utilização nas pesquisas científicas estudadas.

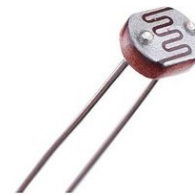


Figura 12. Sensor LDR

3) *MQ135*: O MQ135, ilustrado na Fig. 13, é um sensor projetado para a detecção de gases, incluindo o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que é o foco deste estudo. Embora o *datasheet* do sensor não especifique a faixa de concentração de  $\text{CO}_2$  detectável em ppm (*partes por milhão*), ele se destaca pelo baixo custo e pela adequação ao monitoramento de  $\text{CO}_2$  liberado pelos cogumelos como subproduto de seu metabolismo. Esse controle é essencial e, no protótipo, é realizado por meio de uma ventoinha que simula a função de um exaustor.



Figura 13. Sensor MQ135

### C. Atuadores

Atuadores são dispositivos que convertem energia recebida em uma forma de energia apropriada ao seu funcionamento, como energia cinética em motores ou energia luminosa e térmica em LEDs [27].

Nas subseções seguintes, são apresentadas as características e os modos de operação dos atuadores utilizados no projeto. Devido a restrições externas que impediram a aplicação direta da automação na estufa, os atuadores foram substituídos para a construção do protótipo: uma ventoinha foi usada para representar o exaustor, e um LED simulou o sistema de iluminação.

1) *LED 5mm*: O LED de 5mm, ilustrado na Fig. 14, é um atuador utilizado para fornecer iluminação à estufa. Ele opera com uma tensão de 5V e requer um resistor de 82 ohms para seu correto funcionamento. A escolha desse atuador foi influenciada tanto pelo tamanho do protótipo quanto pela sua semelhança com as lâmpadas reais, diferenciando-se apenas pelo acionamento via relé.



Figura 14. LED 5mm

2) *Ventoinha*: A ventoinha, também conhecida como cooler e ilustrada na Fig. 15, é um atuador responsável pela renovação do ar no ambiente e pela redução da temperatura. Possui dimensões de 30x30x10mm e opera com uma tensão de 5V. A escolha deste atuador, assim como o anterior, foi motivada pelo tamanho do protótipo, além do seu desempenho satisfatório, o que levou à sua adoção. Da mesma forma que a lâmpada, seu funcionamento e ativação via código são semelhantes aos do exaustor, diferenciando-se apenas pelo acionamento do relé no circuito, em vez de ativar diretamente a ventoinha.



Figura 15. Ventoinha

### D. Desenvolvimento do Software Embarcado

Na próxima seção, será apresentada a Arduino IDE (Integrated Development Environment), utilizada para o desenvol-

vimento do código do software embarcado deste projeto.

1) *Arduino IDE*: A Arduino IDE, ilustrada na Fig. 16, é um ambiente de desenvolvimento integrado que utiliza uma linguagem de programação semelhante a C e C++. É possível ver também um sketch de exemplo, composto por duas funções principais:

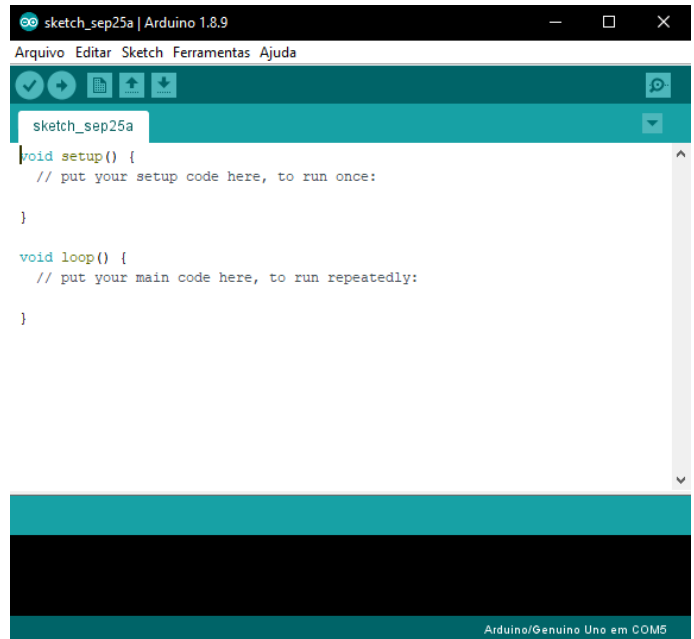


Figura 16. Arduino IDE quando aberto pela primeira vez

- **setup()**: responsável pela inicialização de variáveis, bibliotecas, configuração dos modos dos pinos e definição da taxa de transferência de dados para comunicação serial [28].
- **loop()**: executa repetidamente enquanto o Arduino estiver alimentado, abrindo o código que controla o hardware [28].

A escolha da Arduino IDE se deu por ser uma plataforma de código aberto, alinhada aos objetivos deste projeto, além de sua ampla utilização nos 32 artigos analisados, inspirando ainda mais confiança no sucesso do presente estudo.

### E. Metodologias e Testes

Os testes do protótipo foram realizados em ambiente urbano, dentro de uma residência em Joinville - SC, no dia 8 de outubro de 2020. As condições climáticas registradas foram de aproximadamente 22°C de temperatura e 80% de umidade. Devido à pandemia, não foi possível realizar os testes no local de implantação original, a estufa. Assim, os sensores foram testados individualmente.

- **Teste do DHT11**: Verificou-se a medição de temperatura e umidade. Esperava-se que os valores registrados fossem consistentes com os dados fornecidos por sites de previsão do tempo. Para simular alterações nos valores, utilizou-se um secador de cabelo, aumentando a temperatura local.

- **Teste do LDR:** Avaliou-se a resposta do sensor à iluminação, com expectativa de valores entre 800 e 1000 quando o LED estava desligado e entre 200 e 300 quando ligado. Esses intervalos foram estabelecidos com base em testes iniciais realizados com o sensor e o atuador LED funcionando em conjunto.
- **Teste do MQ135:** O sensor foi utilizado para medir a concentração de CO<sub>2</sub> no ar, com expectativa de valores entre 400 e 1000 ppm (partes por milhão). O limite inferior, 400 ppm, corresponde à concentração média de CO<sub>2</sub> na atmosfera, enquanto 1000 ppm é o valor máximo considerado seguro pela ANVISA para ambientes fechados. Para simular alterações na concentração de CO<sub>2</sub>, foi aceso um fósforo dentro de um copo virado de cabeça para baixo, permitindo a reação de combustão consumir o oxigênio e gerar CO<sub>2</sub>. Esse gás foi transferido para a área de teste por meio de leves sopros, criando uma elevação controlada nos valores medidos.

## V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta as etapas de desenvolvimento e os testes realizados no protótipo. Serão descritos o esquemático do protótipo, incluindo suas especificações técnicas, e os resultados obtidos a partir dos métodos de teste detalhados na Seção IV-E.

### A. Testes de Funcionamento

Durante os testes com o sensor DHT11, ilustrado na Fig. 17, foram avaliadas diferentes bibliotecas e identificados problemas iniciais com os fios conectados à placa de prototipação. Após substituir os fios e utilizar a biblioteca "dht.h", o sensor apresentou resultados condizentes com os dados de temperatura e umidade obtidos no site *Weather*.

O teste foi iniciado às 22:03:57, com o secador de cabelo ligado, e encerrado às 22:17:45, após o secador ser desligado às 22:07:26. Os parâmetros registrados ao longo do teste foram:

- **Início do teste:** 28°C e 43% de umidade.
- **Ao desligar o secador:** 31°C e 21% de umidade.
- **Final do teste:** 25°C e 41% de umidade.

O atuador ventoinha estava configurado para ligar automaticamente caso a temperatura ultrapassasse 25°C ou a umidade ficasse inferior a 30%. Dessa forma, ele já estava em funcionamento no início do teste, impedindo um aumento ainda maior na temperatura ao manter a circulação de ar.

Os testes com o LDR apresentaram resultados consistentes com as expectativas descritas na Seção IV-E. Conforme ilustrado na Fig. 18, o teste foi realizado em conjunto com o atuador LED. A cada 5 segundos, o sensor realizava uma leitura enquanto o LED alternava entre os estados ligado e desligado.

Para o teste com o sensor MQ135, foi utilizada a biblioteca "MQ135.h", desenvolvida para facilitar o uso deste sensor na detecção de CO<sub>2</sub> no ambiente. Embora seja projetado para identificar a presença de dióxido de carbono, o MQ135 também é capaz de detectar diversos outros gases

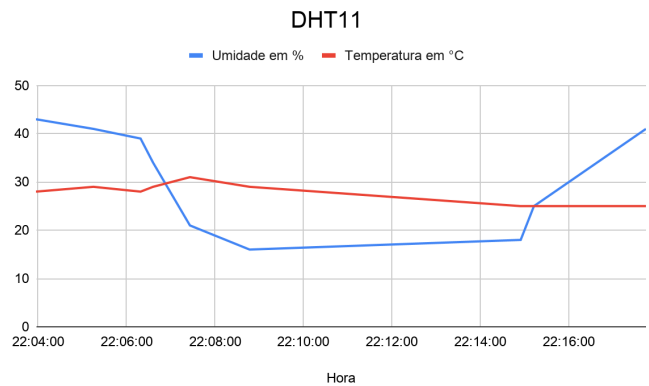


Figura 17. Teste DHT11

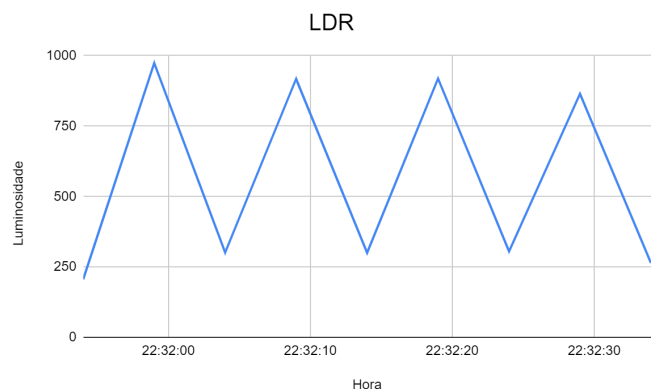


Figura 18. Teste LDR

e substâncias, como álcool, benzeno, amônia, óxido de nitrogênio, entre outros.

Nos testes iniciais, o sensor apresentou um problema, registrando valores próximos a 1 ppm após a calibração, o que está fora do intervalo esperado para o CO<sub>2</sub> na atmosfera. O problema foi solucionado substituindo todos os fios e alterando o ponto de conexão do sensor na placa de prototipação. Após esses ajustes, o sensor passou a fornecer resultados compatíveis com as expectativas descritas na Seção IV-E.

A Fig. 19 mostra os resultados do teste em que o CO<sub>2</sub> foi transferido do copo para a caixa onde o protótipo estava instalado. Observa-se um aumento na concentração de CO<sub>2</sub> até o momento em que o conteúdo do copo se esgota, às 22:50:43, atingindo um valor de 1265,33 ppm. Após isso, há uma rápida diminuição na quantidade de CO<sub>2</sub>, retornando aos níveis iniciais. Essa queda rápida ocorreu porque o atuador ventoinha foi acionado automaticamente ao ultrapassar o limite de 700 ppm. Assim, a ventoinha já estava em operação antes que o conteúdo do copo fosse totalmente transferido, o que contribuiu para a rápida redução do CO<sub>2</sub>, mantendo o ar em circulação.

Os códigos foram desenvolvidos de forma modular, permitindo que cada módulo fosse testado individualmente. Ao final, foi necessário apenas juntar os módulos, realizando pequenos

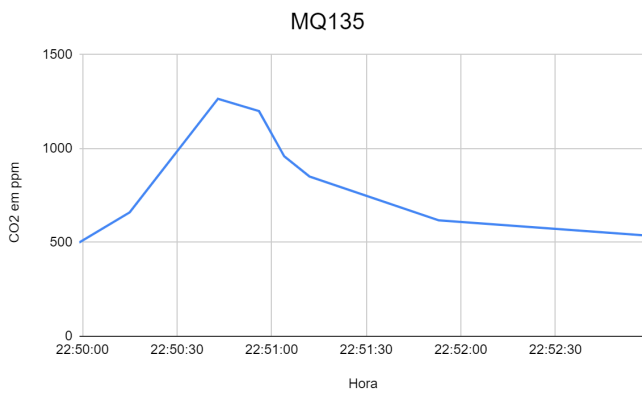


Figura 19. Teste MQ135

ajustes, como pode ser observado na Fig. 20 e Fig. 21.

```
#include <dht.h>
#include "MQ135.h"

const int dhtPin = 2;//Porta Digital 2 para o sensor
const int ventPin = 4;//Porta Digital 4 para a ventoinha
const int ledPin = 5;//Porta Digital 5 para o atuador LED

const int ldrPin = A0;
const int mqPin = A2;//Porta Analógica 2 para o sensor

int ldrValor = 0;//Inicialização da variável para o valor do LDR
int co2ppm = 0;//Inicialização da variável que recebe o valor do sensor

int led = LOW;//Inicialização da variável para o acionamento do LED
long controlMillisLed = 0;//Variável que controla o tempo corrido
long intervaloLed = 5000;//Intervalo de tempo para o LED ser acionado

MQ135 co2Sensor = MQ135(mqPin);//Inicialização do MQ135
dht DHT;//Inicialização do DHT11

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(ventPin, OUTPUT);
  pinMode(dhtPin, INPUT);
  pinMode(ldrPin, INPUT);
  pinMode(mqPin, INPUT);
}

void loop() {
  dht_mq();
  luz();
  Serial.println();
}
```

Figura 20. Desenvolvimento do Protótipo

### B. Especificação de Hardware e Software do Protótipo

A Fig. 22 apresenta o esquemático do protótipo, detalhando a conexão entre os componentes e as portas utilizadas. As cores dos fios são as seguintes: preto para o Ground (terra), vermelho para 5V, azul para as portas analógicas e verde para as portas digitais.

A Fig. 23 apresenta o protótipo final, construído a partir do esquemático, com algumas diferenças nas cores dos fios para

```
void dht_mq(){//Os dois sensores estão em mesma função devido a ventoinha
DHT.read11(dhtPin);//ser é acionada para controlar temperatura,
float co2ppm = co2Sensor.getPPM();//umidade e CO2 no ambiente.

Serial.print("CO2 = ");
Serial.print(co2ppm);
Serial.println(" ppm");
Serial.print("Umidade = ");
Serial.print(DHT.humidity);
Serial.println(" %");
Serial.print("Temperatura = ");
Serial.print(DHT.temperature);
Serial.println(" C");

if(DHT.humidity < 30 || DHT.temperature > 25 || co2ppm > 700){//Condição para acionamento da ventoinha
digitalWrite(ventPin, HIGH);
}
else{
digitalWrite(ventPin, LOW);
}
}

void luz(){
unsigned long luzTempo = millis();//Tempo a ser contado quando o código começar a roda;

if((luzTempo - controlMillisLed) > intervaloLed){//Condição para acontecer a leitura do sensor
controlMillisLed = luzTempo;

ldrValor = analogRead(ldrPin);
Serial.print("Luminosidade = ");
Serial.println(ldrValor);
if(led == LOW){
led = HIGH;
}
else{
led = LOW;
}
digitalWrite(ledPin, led);
}
}
```

Figura 21. Funções do Protótipo

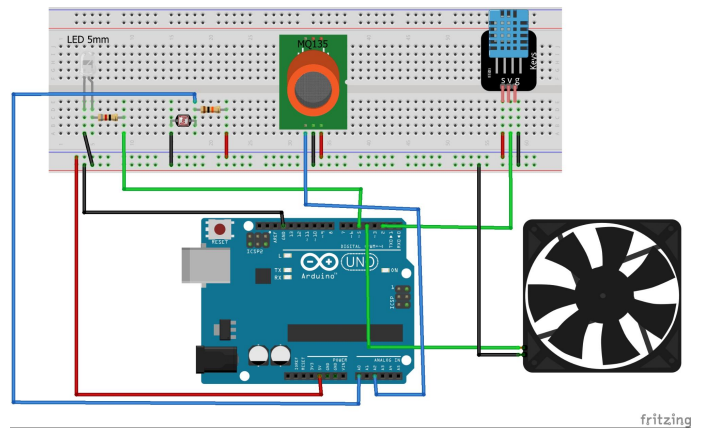


Figura 22. Esquemático do Protótipo

as portas 5V, Ground e digitais. As cores dos fios para essas portas são: azul para 5V, marrom para Ground, laranja para a Porta Digital 5, azul para a Porta Digital 4 e vinho para a Porta Digital 2.

## VI. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O desenvolvimento deste projeto ocorreu durante a pandemia da COVID-19, o que impôs diversos desafios. Entre as principais dificuldades, destacaram-se a aquisição e entrega de componentes, afetadas pelas restrições logísticas, e as limitações nos testes do protótipo, que precisaram ser ajustados às condições de isolamento social. Para superar essas adversidades, foram adotadas estratégias específicas, como a compra de materiais por meio do comércio eletrônico, aproveitando a retomada gradual das entregas e a reabertura das lojas físicas. Além disso, o protótipo foi adaptado para uma estrutura feita a partir de uma caixa de sapatos, escolhida por sua

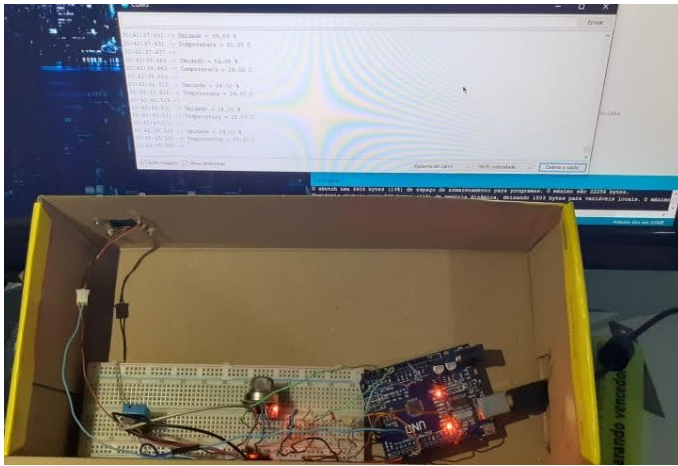


Figura 23. Protótipo Ligado

semelhança com o contêiner utilizado no estudo inicial. Essa adaptação permitiu simular a proposta original de forma eficaz, garantindo a continuidade do desenvolvimento.

O desenvolvimento do protótipo foi bem-sucedido, pois todos os objetivos foram alcançados, comprovando que a automação proposta pode ser implementada de forma eficiente em uma estufa real. No sistema final, os atuadores acionariam, por meio de relés, as lâmpadas do contêiner em substituição ao LED do protótipo, além de controlar o exaustor no lugar da ventoinha.

No entanto essas substituições acabaram não sendo realizadas, pois, devido à prolongação da pandemia, o acesso à estufa da Unicentro acabou não sendo mais permitido, o que impossibilitou a realização de testes no ambiente real.

Outro aspecto essencial na implementação do sistema em uma estufa real é a calibração do sensor MQ135, que deve ser realizada diretamente no local de instalação. Isso ocorre porque variações de temperatura e umidade podem interferir nas leituras, tornando essencial considerar esses fatores no processo de calibração, seguindo as especificações do datasheet do dispositivo.

Além disso, as dimensões da estufa devem ser consideradas para garantir um monitoramento preciso e um controle eficiente. Como cada sensor possui um alcance limitado, seria necessário distribuir vários sensores ao longo do espaço da estufa para assegurar medições adequadas em toda a área. No entanto, a quantidade de sensores pode ser menor do que em um ambiente aberto, já que a estufa mantém a temperatura e a umidade relativamente homogêneas dentro do container.

Na implementação do sistema, seriam utilizados três sensores de temperatura e umidade, garantindo uma leitura precisa das condições internas. O sensor de luminosidade, por sua vez, poderia ser único, uma vez que a única fonte de luz na estufa são as lâmpadas, e ele seria suficiente para indicar se estão ligadas ou não. Para o monitoramento da qualidade do ar, seriam empregados três sensores de dióxido de carbono, permitindo verificar a necessidade de acionar o exaustor. Além disso, conforme a umidade do ambiente, um relé poderia ser

utilizado para ativar automaticamente o umidificador, garantindo um controle mais eficiente do microclima dentro da estufa.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo foi viabilizado por meio da parceria com o Departamento de Engenharia de Alimentos da UNICENTRO - PR durante o processo de desenvolvimento de um trabalho de conclusão de curso de Ciência da Computação em 2020. Seu objetivo foi o desenvolvimento de um protótipo para controle e monitoramento de uma estufa de cogumelos, utilizando conceitos de Internet das Coisas e Sistemas Embarcados, com ênfase nas especificações de hardware e software, além do desenvolvimento e testes iniciais utilizando plataformas como o Arduino IDE.

Os testes demonstraram que o controle do microclima em uma estufa é viável, uma vez que o protótipo apresentou um funcionamento eficaz, sendo necessário apenas calibrar o sensor MQ135 no ambiente onde será instalado. Como trabalho futuro é possível fazer a calibração automática do MQ135 por meio de dados do sensor de umidade e temperatura.

Os trabalhos futuros serão aplicados em uma estufa real, integrando o controle do exaustor, sistema de iluminação, aquecedor e umidificador. Além disso, para atingir o objetivo de espalhar os sensores pelo ambiente, uma forma seria implantar três (ou mais) estações idênticas a este protótipo, distribuídas pela estufa, para o controle e monitoramento dos parâmetros ambientais.

Essas estações devem se comunicar por meio de um módulo Wi-Fi ou Bluetooth, permitindo que um administrador do sistema receba os dados remotamente, sem a necessidade de acesso físico à estufa. No contexto da estufa da Unicentro que fica em um container não foi necessário pensar em um encapsulamento maior para os dispositivos. Com o intuito de fazer a automatização de estufas de diferentes tipos, muito do estudo é mantido, mas o encapsulamento de cada subestação pode se tornar necessário e pode ter as próprias especificidades.

## REFERÊNCIAS

- [1] SANTANA, I. 52º Curso sobre Cultivo de Cogumelos ensina a produzir em ambiente agroflorestal. Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42679882/52-curso-sobre-cultivo-de-cogumelos-ensina-a-produzir-em-ambiente-agroflorestal>. Acesso em: 21 set. 2020.
- [2] Mushroom Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Button, Shiitake, Oyster), By Form, By Distribution Channel, By Application (Food, Pharmaceuticals, Cosmetics), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030 Report ID: GVR-4-68039-362-8. Number of Report Pages: 152. Disponível em: [https://www-grandviewresearch-com.translate.goog/industry-analysis/mushroom-market?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://www-grandviewresearch-com.translate.goog/industry-analysis/mushroom-market?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc) Acesso em: 28 fev. 2025.
- [3] BRUSCATO, C.; MACIEL, F. L. Alternativa para utilização de resíduos agroindustriais e florestais: cultivo de cogumelos comestíveis. 2022.
- [4] FARIA, K. K; CORREIA, M. J; MANSANI, G. C. Cogumelos e segurança alimentar: A fungicultura como estratégia de minimizar ou compensar perdas na produção de alimentos. 2022.

- [5] SILVA, M.; RAMOS, A. C.; GONÇALVES, E. M. Cogumelos na Agroindústria: Um Caminho Circular Para Promover A Sustentabilidade Ambiental E A Saúde Humana. Lisboa, 2024.
- [6] BHANDARI, P.; KIMOTHI, M. IoT Based Design Implementation of Mushroom Farm Monitoring Using Arduino Microcontrollers & Sensors. Dehradun, 2018.
- [7] WHAT is Arduino?. Arduino, 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 25 set. 2020.
- [8] UDREA, I.; GHEORGHE, V. I.; DOGEANU, A. M. Optimizing Greenhouse Design with Miniature Models and IoT (Internet of Things) Technology—A Real-Time Monitoring Approach. *Sensors*. 2024; 24(7):2261. <https://doi.org/10.3390/s24072261>
- [9] RUKHIRAN, M.; SUTANTHAVIBUL, C.; BOONSONG, S.; NETINANT, P. IoT-Based Mushroom Cultivation System with Solar Renewable Energy Integration: Assessing the Sustainable Impact of the Yield and Quality. *Sustainability*. 2023; 15(18):13968. <https://doi.org/10.3390/su151813968>
- [10] ALBIUS, J. D.; DE LA CRUZ, R. B.; GUMANDROY, J.; OFRIN, W. D.; PUYO, P. F. (2021). Solar-Powered Multi-Network Greenhouse: Automated Mushroom Monitoring and Management System Using Microcontrollers and IoT-Based Applications. *International Journal of Science, Technology, Engineering and Mathematics*, Volume 1 Issue 2, pp. 1- 23. DOI: <https://doi.org/10.53378/352853>
- [11] AZMAN, N.; HABIBURROHMAN, M.; NUGROHO, E. R. Development of a Remote Straw Mushroom Cultivation System Using IoT Technologies. *Jurnal Ilmiah Teknik Komputer dan Informatika (JITEKI)*. Vol. 9, No. 3, September 2023, pp. 872-894. ISSN: 2338-3070, DOI: 10.26555/jiteki.v9i3.26280
- [12] AL-TALIB, A. A. M.; TING, C. K. J.; TAHIR, N. I. M.; MUSTAFA, A. A. B.; HUI, T. Y. IoT Based Smart Mushroom Growing Kit The 2024 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2024), J:COM HorutoHall, Oita, Japan, 2024
- [13] BULACLAC, J. R., CALUAG, K. F. Design and Development of Web-Based Mushroom Monitoring System with Smart Sprinkler. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. Volume 8, Issue 5, May 2023 ISSN No:-2456-2165. IJISRT23MAY2093 [www.ijisrt.com](http://www.ijisrt.com) 3603
- [14] FERREIRA JUNIOR, R. F.; PINA, A. G. M.; BOCHICHI, D. C. Estufa automatizada para cultivo de cogumelos. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial) - Faculdade de Tecnologia FATEC Bauru, Bauru, 2023.
- [15] ALMEIDA, G. V. Estufa automatizada para cultivo de fungos comestíveis em ambiente residencial. 2022. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- [16] SAMSEEMOUNG, G.; AMPHA, P.; WITTHAYAWIROJ, N.; SAYASIBTHORN, S.; JUEY, T. Modern Floating Greenhouses: Planting Gray Oyster Mushrooms with Advanced Management Technology Including Mobile Phone Algorithms and Arduino Remote Control. *AgriEngineering*. 2024; 6(2):1055-1077. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020061>
- [17] HUANG, S.; LIU, Q.; WU, Y.; CHEN, M.; YIN, H.; ZHAO, J. Edible Mushroom Greenhouse Environment Prediction Model Based on Attention CNN-LSTM. *Agronomy*. 2024; 14(3):473. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030473>
- [18] REKA, S. S.; CHEZIAN, B. K.; CHANDRA, S. S. A Novel Approach of IoT-Based Smart Greenhouse Farming System. Springer, 2019.
- [19] GHAI, B. P. Ambiente climatizado para cultivo de cogumelos. Santo André, 2018.
- [20] SARASWATHI, D. et al. Automation of Hydroponics Green House Farming using IOT. Pondicherry, 2018.
- [21] SHANG, Y.; FU, A. Research on Intelligent Agriculture Greenhouses Based on Internet of Things Technology, 2017.
- [22] DAN, L. et al. Intelligent Agriculture Greenhouse Environment Monitoring System Based on IoT Technology. Halong Bay, 2015.
- [23] RAZA, R. IoT Based Green House Monitoring and Smart Farming. Karnataka, 2018.
- [24] MAHMUD, M. S. A. Internet of Things based Smart Environmental Monitoring for Mushroom Cultivation. Johor, 2018.
- [25] ZURITA, M. E. P. V. Projeto de Sistemas Embarcados. Teresina, 2019.
- [26] PENIDO, É. C. C.; TRINDADE, R. S. Microcontroladores. Ouro Preto, 2013.
- [27] HERMINI, H. A. Engenharia Elétrica / Instrumentação Atuadores. Rio de Janeiro, 2007.
- [28] SETUP. Arduino, 2019. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/pt/language/structure/sketch/setup/>. Acesso em: 08 out. 2020.
- [29] AL-BEESHI, B. et al. iPlant: The Greenhouse Robot. Halifax, 2015.
- [30] AZEVEDO JUNIOR, A. L. Sistema de monitoramento e climatização de estufa de pequeno porte em um contexto doméstico. Brasília, 2016.
- [31] BURCHI, G. et al. Information Technology Controlled Greenhouse: A System Architecture. Tuscany, 2018.
- [32] CHANNE, H.; KOTHARI, S.; KADAM, D. Multidisciplinary Model for Smart Agriculture using Internet-of-Things (IoT), Sensors, Cloud-Computing, Mobile-Computing & Big-Data Analysis. Pune, 2015.
- [33] CHIAN, C. K. Internet of Things for Indoor Farming. Perak, 2018.
- [34] CHIEOCHAN, O.; SAOKAEW, A.; BOONCHIEN, E. IoT for Smart Farm: A Case Study of the Lingzhi Mushroom Farm at Maejo University. Nakhon Si Thammarat, 2017.
- [35] COSMAN, S. I.; BILATIŪ, C. A.; MARTIS, C. S. Development of an Automated System to Monitor and Control a Greenhouse. Cluj-Napoca, 2019.
- [36] DELE, A.; KOLAWOLE, K. K. Microcontroller Based Green House Control Device, 2013.
- [37] DINIZ, F. Curso de Cogumelos da Embrapa chega à 50ª edição!. Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/25305204/curso-de-cogumelos-da-embrapa-chega-a-50-edicao>. Acesso em: 21 set. 2020.
- [38] DOS SANTOS, O. L. Sistema de Controle de Temperatura para uma Estufa com Monitoramento via Aplicativo. Boa Vista, 2017.
- [39] GIRARDI, G. C. Automação do Controle e do Monitoramento de Temperatura e Umidificação de Canteiros de Cogumelo Agaricus blazei, no Cultivo Familiar em Santa Helena/PR. Medianeira, 2018.
- [40] GOSWAMI, M. IoT Based Smart Greenhouse and Poultry Farm Environment Monitoring and Controlling using LAMP Server and Mobile Application. Vasad, 2017.
- [41] GUO, T.; ZHONG, W. Design and Implementation of the Span Greenhouse Agriculture Internet of Things System. Harbin, 2015.
- [42] HENDRAWAN, N. R. et al. Fuzzy Based Internet of Things Irrigation System. Bali, 2019.
- [43] ISMAIL, M. I. H.; THAMRIN, N. M. IoT Implementation for Indoor Vertical Farming Watering System. Kanazawa, 2017.
- [44] KABURUAN, E. R.; JAYADI, R.; HARISNO. A Design of IoT-Based Monitoring System for Intelligence Indoor Microclimate Horticulture Farming in Indonesia. Jakarta, 2019.
- [45] KASSIM, M. R. M. et al. Applications of wireless sensor networks in Shiitake Mushroom cultivation. Sydney, 2017.
- [46] LAVANYA, M.; SRINIVASAN. A survey on agriculture and greenhouse monitoring using IoT and WSN. Chennai, 2018.
- [47] LI, N. et al. Smart Agriculture with an Automated IoT-Based Greenhouse System for Local Communities, 2019.
- [48] LOOP. Arduino, 2019. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/pt/language/structure/sketch/loop/>. Acesso em: 08 out. 2020.
- [49] MAT, I. et al. Environment Control for Smart Mushroom House. Miri, Sarawak, 2017.
- [50] PRAVINTHRAJA, S. et al. Intelligent Mushroom Monitoring System. Coimbatore, 2018.
- [51] PALLAVI, S.; MALLAPUR, J. D.; BENDIGERI, K. Y. Remote Sensing and Controlling of Greenhouse Agriculture Parameters Based on IoT. Bagalkot, 2017.

- 
- [52] SHAKIR, A. A. et al. Design and Implementation of SEN-SEPACK: An IoT Based Mushroom Cultivation Monitoring System. Bangladesh, 2019.
- [53] SINGH, M. et al. Mushrooms Cultivation, Marketing and Consumption. Solan, 2011.
- [54] SOUSA, G. et al. Monitoramento e controle de variáveis Umidade e temperatura na Produção de Cogumelo Shimeji-Branco. Botucatu, 2017.
- [55] TASKIN, D.; TASKIN, C.; YAZAR, S. Developing a Bluetooth Low Energy Sensor Node for Greenhouse in Precision Agriculture as Internet of Things Application. Edirne, 2018.
- [56] VIGNESHWARAN, K. et al. Intelligent Agriculture Green House Environment Monitor and Control System on (IoT) Technology. Vellore, 2017.
- [57] WENDLING, M. Sensores. 2010. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em: 03 out. 2020.
- [58] YANG, J. et al. Botanical Internet of Things: Toward Smart Indoor Farming by Connecting People, Plant, Data and Clouds, 2017.
- [59] YU, Y.; CHEN, C.; YU, P. A Secure and Intuitive IoT Architecture for Container Farm. Huawei, Yunlin, 2019.
- [60] ZHANG, C. Greenhouse intelligent control system based on Microcontroller. Baoding, 2018.