****

**HEITOR AUGUSTO ROCHA**

**LETÍCIA LEITE BUENO**

**LUIZ EDUARDO LEITE BUENO**

**SMARTMUSHROOM**

**Sistema de Controle de Temperatura, Umidade e**

**Níveis de CO2 em Estufas de Cogumelo**

SÃO ROQUE - SP

2025****

**HEITOR AUGUSTO ROCHA**

**LETÍCIA LEITE BUENO**

**LUIZ EDUARDO LEITE BUENO**

**SMARTMUSHROOM**

**Sistema de Controle de Temperatura, Umidade e**

**Níveis de CO2 em Estufas de Cogumelo**

Relatório Técnico apresentado à Faculdade de Tecnologia São Roque, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas para Internet.

**Orientador: Pedro Antônio Galvão**

SÃO ROQUE - SP

2025

**DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO (CIP)**

**DIVISÃO DE INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO**

BUENO, Letícia L.

BUENO, Luiz E. L.

ROCHA, Heitor A.

SMARTMUSHROOM - Sistema de Controle de Temperatura, Umidade e Níveis de CO2 em Estufas de Cogumelo

São Roque, 2025.

999f.

Relatório Técnico – Curso de Tecnologia em Sistema para Internet

FATEC de São Roque, 2024.

Orientador: Prof. Pedro Antônio Galvão.

Orientador: Titulação Nome do Orientador.

Áreas de conhecimento. I. Faculdade de Tecnologia. FATEC de São Roque: II. Título

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

BUENO, Letícia L.; SOBRENOME, BUENO, Luiz E. L.; ROCHA, Heitor A. SMARTMUSHROOM - Sistema de Controle de Temperatura, Umidade e Níveis de CO2 em Estufas de Cogumelo.2024. 999f. Trabalho de Graduação - FATEC de São Roque.

**CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DOS AUTORES:

* Heitor Augusto Rocha
* Letícia Leite Bueno
* Luiz Eduardo Leite Bueno

TÍTULO DO TRABALHO: SMARTMUSHROOM - Sistema de Controle de Temperatura, Umidade e Níveis de CO2 em Estufas de Cogumelo

TIPO DO TRABALHO/ANO: Relatório Técnico / 2025.

É concedida à FATEC de São Roque permissão para reproduzir e emprestar cópias deste Trabalho somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Letícia Leite Bueno

2650832223028

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Luiz Eduardo Leite Bueno

2650832223030

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Heitor Augusto Rocha

2650832223004

**DEDICATÓRIA**

**Opcional** contendo texto curto no qual o autor presta homenagem ou dedica seu trabalho a alguém em específico, ou a um conjunto de pessoas.

**AGRADECIMENTOS**

**Opcional**, você poderá agradecer as pessoas, empresas, financiamentos ou entidades que contribuíram, direta ou indiretamente, para que o seu trabalho tenha sido desenvolvido.

**RESUMO**

O projeto Smart Mushroom tem como objetivo desenvolver um sistema automatizado de controle ambiental para estufas de cogumelos com base na Internet das Coisas (IoT). Durante as etapas já concluídas, foi realizada a implementação de sensores para monitorar variáveis críticas, como temperatura, umidade e níveis de CO₂, além do desenvolvimento de um backend robusto utilizando o framework CodeIgniter, integrado a um banco de dados MySQL. A interface inicial foi projetada para permitir o controle remoto via dispositivos móveis. O sistema busca otimizar o ambiente de cultivo, aumentando a produtividade e reduzindo o desperdício de recursos naturais. No próximo semestre, o trabalho será focado na validação em campo, no aprimoramento das funcionalidades e na análise dos impactos econômicos e ambientais. Este projeto visa não apenas atender às necessidades específicas do cultivo de cogumelos, mas também oferecer uma solução escalável para outras culturas que demandem rigoroso controle ambiental.

**Palavras-chave**: IoT, automação agrícola, cultivo de cogumelos, controle ambiental, sustentabilidade.

**ABSTRACT**

The Smart Mushroom project aims to develop an automated environmental control system for mushroom greenhouses based on the Internet of Things (IoT). In the completed phases, sensors were implemented to monitor critical variables such as temperature, humidity, and CO₂ levels, alongside the development of a robust backend using the CodeIgniter framework integrated with a MySQL database. The initial interface was designed to enable remote control via mobile devices. The system seeks to optimize the cultivation environment, increasing productivity and reducing the waste of natural resources. In the next semester, the focus will be on field validation, functionality enhancement, and analysis of economic and environmental impacts. This project aims not only to meet the specific needs of mushroom cultivation but also to provide a scalable solution for other crops requiring strict environmental control.

**Keywords**: IoT, agricultural automation, mushroom cultivation, environmental control, sustainability.

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**SUMÁRIO**

[1 INTRODUÇÃO 14](#_Toc184042763)

[1.1 Contextualização 14](#_Toc184042764)

[1.2 Problemática 15](#_Toc184042765)

[1.3 Objetivos 16](#_Toc184042766)

[1.3.1 Objetivos Gerais 16](#_Toc184042767)

[1.3.2 Objetivos Específicos 17](#_Toc184042768)

[1.4 Justificativa 18](#_Toc184042769)

[2 Fundamentação Teórica 20](#_Toc184042770)

[2.1 Fungicultura 20](#_Toc184042771)

[2.2 Aplicações da IoT na Agricultura 24](#_Toc184042772)

[2.2.1 Conceito e Definições 24](#_Toc184042773)

[2.2.2 Aplicações da IoT na Agricultura 25](#_Toc184042774)

[2.2.3 Vantagens e Desafios da Automação Agrícola 26](#_Toc184042775)

[2.3 Tecnologias Utilizadas 29](#_Toc184042776)

[2.3.1 Hardware 29](#_Toc184042777)

[2.3.2 Software 36](#_Toc184042778)

[3 METODOLOGIA 42](#_Toc184042779)

[3.1 Diagrama de Arquitetura 42](#_Toc184042780)

[3.1.1 Camada Front-End 43](#_Toc184042781)

[3.1.2 Camada Back-End 43](#_Toc184042782)

[3.1.3 Camada de Hardware 44](#_Toc184042783)

[4 Desenvolvimento 45](#_Toc184042784)

[5 Conclusão 46](#_Toc184042785)

[Referências 48](#_Toc184042786)

# INTRODUÇÃO

## Contextualização

A crescente demanda global por alimentos, combinada com desafios como mudanças climáticas, escassez de recursos naturais e aumento populacional, tem pressionado o setor agrícola a adotar novas tecnologias para melhorar a eficiência produtiva e a sustentabilidade. Nesse cenário, a inovação tecnológica tem desempenhado um papel essencial, especialmente por meio da implementação de sistemas inteligentes baseados na Internet das Coisas (IoT), que permitem um controle preciso e automatizado das operações agrícolas. (BRUSADIN et al., 2023; LISBINSKI et al., 2023).

A Agricultura 4.0, que integra tecnologias digitais, sensores, big data e inteligência artificial, representa uma evolução no setor agrícola, possibilitando a aplicação de práticas mais sustentáveis e eficientes. Entre as aplicações mais promissoras da Agricultura 4.0, destaca-se o uso da IoT em sistemas de monitoramento e controle ambiental. Por meio de sensores conectados, o que ajuda no controle mais preciso das condições internas, garantindo maior produtividade e redução de custos operacionais. Além disso, essas tecnologias contribuem para a sustentabilidade. (JESUS, 2021; BRUSADIN et al., 2023).

No entanto, a infraestrutura tecnológica brasileira ainda é limitada em muitas áreas rurais, dificultando a adoção de tecnologias avançadas por pequenos e médios produtores. Esse contexto reforça a necessidade de iniciativas que democratizem o acesso à tecnologia e promovam a modernização da agricultura brasileira, tornando-a mais eficiente, sustentável e competitiva no cenário global (GONÇALVES, 2022; JESUS, 2021).

Dessa forma, o presente estudo propõe o desenvolvimento de um sistema baseado em IoT para controle e monitoramento de estufas agrícolas, com foco no cultivo de cogumelos. O sistema integra tecnologias de hardware e software para proporcionar um ambiente controlado, sustentável e economicamente viável, contribuindo para o avanço da Agricultura 4.0 no Brasil e para a superação dos desafios enfrentados pelo setor agrícola contemporâneo.

## Problemática

No contexto brasileiro, apesar de o país ser reconhecido como um dos maiores produtores e exportadores agrícolas do mundo, ainda enfrenta desafios significativos relacionados à eficiência e sustentabilidade de suas operações. Muitas áreas rurais carecem de infraestrutura tecnológica adequada, dificultando a adoção de inovações como a Internet das Coisas (IoT) e a Agricultura 4.0. Além disso, pequenos e médios produtores, que compõem a maior parte do setor, frequentemente enfrentam barreiras financeiras e técnicas para implementar sistemas avançados de monitoramento e automação, o que resulta em práticas agrícolas menos eficientes e sustentáveis. (GONÇALVES, 2022)

Especificamente no cultivo de cogumelos, como o *Pleurotus Ostreatus*, os desafios são ainda mais acentuados devido à sensibilidade das culturas às condições ambientais. Variáveis como temperatura, umidade e níveis de dióxido de carbono (CO₂) precisam ser rigorosamente controladas para garantir o sucesso do cultivo. A ausência de monitoramento contínuo e de sistemas de controle automatizados pode resultar em perdas significativas na produção, impactando diretamente a viabilidade econômica e a qualidade do produto (JESUS, 2021).

Outro problema crítico é o desperdício de recursos naturais, como água e energia, que são frequentemente utilizados de maneira ineficiente na agricultura convencional. Estudos mostram que o uso de práticas baseadas em IoT pode reduzir significativamente o consumo desses recursos, mas sua implementação ainda é limitada devido a desafios como o custo inicial elevado, a falta de conectividade em áreas rurais e a necessidade de capacitação técnica para operar e manter os sistemas (BRUSADIN et al., 2023; LISBINSKI et al., 2023).

A falta de integração tecnológica também impede que os agricultores obtenham insights em tempo real sobre suas operações, dificultando a tomada de decisões baseada em dados. Isso não apenas limita a capacidade de otimizar o uso de insumos, como fertilizantes e defensivos agrícolas, mas também aumenta o impacto ambiental das práticas agrícolas. Para culturas sensíveis como os cogumelos, onde pequenos desvios nas condições ambientais podem comprometer toda a produção, a ausência de soluções tecnológicas representa um obstáculo significativo à competitividade e à sustentabilidade do setor (JESUS, 2021).

Portanto, a problemática central deste estudo reside na necessidade de desenvolver e implementar soluções tecnológicas acessíveis e eficientes que permitam o monitoramento e controle de estufas agrícolas em tempo real. Tais soluções devem abordar desafios como a falta de conectividade, o custo elevado das tecnologias e a necessidade de adaptar práticas agrícolas tradicionais à era digital. Este projeto visa contribuir para a superação dessas barreiras, integrando tecnologias de IoT em sistemas de monitoramento e controle que possam ser escaláveis e economicamente viáveis, promovendo maior eficiência, sustentabilidade e competitividade para os produtores agrícolas.

## Objetivos

### Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema integrado baseado em Internet das Coisas (IoT) para o controle e monitoramento de estufas agrícolas voltadas ao cultivo de cogumelos. A proposta visa criar uma solução tecnológica acessível, eficiente e escalável, que promova a automação e a sustentabilidade do processo produtivo, contribuindo para a melhoria da qualidade e produtividade das culturas.

### Objetivos Específicos

Projetar e implementar um sistema de hardware que integre sensores e atuadores, incluindo o ESP32, DHT22, MQ-135 e módulos de relés, para monitorar e controlar variáveis ambientais como temperatura, umidade e níveis de CO₂.

Desenvolver um backend robusto utilizando o framework PHP CodeIgniter, com base no padrão arquitetural Model-View-Controller (MVC), para gerenciar os dados coletados e os comandos enviados aos dispositivos.

Criar uma interface de usuário com o Flutter, permitindo o monitoramento em tempo real das variáveis ambientais e o controle remoto dos atuadores por meio de dispositivos móveis.

Implementar um banco de dados relacional com MySQL para armazenar e organizar as informações coletadas pelos sensores, possibilitando a geração de relatórios analíticos e históricos das condições ambientais.

Garantir a comunicação eficiente e segura entre os dispositivos e o servidor por meio do protocolo HTTP, integrando tecnologias que assegurem a integridade e a confidencialidade dos dados.

Avaliar o impacto do sistema desenvolvido na eficiência do controle ambiental das estufas, considerando métricas como redução no consumo de água e energia, otimização dos recursos utilizados e melhoria na produtividade.

Promover a sustentabilidade no processo produtivo, reduzindo o desperdício de recursos naturais e otimizando o uso de insumos químicos e energéticos no cultivo de cogumelos.

## Justificativa

A crescente demanda global por alimentos, impulsionada pelo aumento populacional e pelas mudanças nos padrões de consumo, tem desafiado o setor agrícola a encontrar soluções mais eficientes, sustentáveis. No Brasil, a agricultura desempenha um papel central na economia, sendo responsável por uma parcela significativa das exportações e do Produto Interno Bruto (PIB). Contudo, o setor ainda enfrenta desafios críticos, como a baixa eficiência produtiva em determinadas culturas e dificuldades na adoção de tecnologias avançadas e o desperdício de recursos naturais, especialmente por pequenos e médios produtores. (BRUSADIN et al., 2023; LISBINSKI et al., 2023; ONU, 2017).

O cultivo de cogumelos, embora em expansão, é particularmente sensível às condições ambientais, como temperatura, umidade e níveis de dióxido de carbono (CO₂). Pequenas variações nesses parâmetros podem comprometer a produtividade e a qualidade do produto, resultando em prejuízos significativos para os produtores. Além disso, a ausência de tecnologias de monitoramento e controle automatizados aumenta a dependência de práticas manuais, que são menos precisas, mais dispendiosas e frequentemente resultam em desperdício de recursos. Nesse contexto, a integração de tecnologias da Internet das Coisas (IoT) surge como uma solução promissora para otimizar o processo produtivo e promover a sustentabilidade (JESUS, 2021).

A IoT, ao permitir a coleta de dados em tempo real e o controle remoto de sistemas agrícolas, representa uma ferramenta poderosa para enfrentar os desafios do setor. Suas aplicações no monitoramento de variáveis ambientais, automação de processos e análise preditiva têm demonstrado resultados significativos em termos de eficiência e economia de recursos. Sistemas baseados em IoT podem ajudar economizar cerca de 30% nos insumos produtivos, contribuindo diretamente para a sustentabilidade econômica do setor agrícola. (LISBINSKI et al., 2023).

No entanto, a adoção de tecnologias de IoT no Brasil ainda é limitada, especialmente em regiões rurais, devido à falta de infraestrutura, altos custos de implementação e carência de capacitação técnica. Esses fatores tornam essencial o desenvolvimento de soluções acessíveis, escaláveis e adaptáveis às necessidades específicas dos produtores. O presente trabalho justifica-se pela proposta de preencher essa lacuna, oferecendo um sistema integrado que combina tecnologias de hardware e software para monitoramento e controle de estufas agrícolas, com foco no cultivo de cogumelos.

Além disso, o projeto contribui para a disseminação da Agricultura 4.0, promovendo a modernização do setor agrícola e fortalecendo a competitividade do Brasil no mercado global. Ao abordar os desafios tecnológicos e ambientais do cultivo de cogumelos, o sistema proposto tem potencial para servir como modelo para outras culturas sensíveis, ampliando sua aplicabilidade e impacto no setor.

Portanto, este estudo é relevante tanto para o avanço científico e tecnológico quanto para a sustentabilidade e competitividade do setor agrícola. Ao integrar tecnologias de IoT em um sistema prático e eficiente, o trabalho busca promover a inovação e a sustentabilidade na produção agrícola, alinhando-se às demandas contemporâneas por alimentos de alta qualidade, responsabilidade ambiental e viabilidade econômica.

# Fundamentação Teórica

## Fungicultura

A fungicultura, também conhecida como cultivo de cogumelos comestíveis, tem se consolidado como uma atividade econômica estratégica, tanto para pequenos produtores quanto para grandes empresas agrícolas. Essa prática vem ganhando destaque em virtude do crescente interesse por alimentos saudáveis, sustentáveis e de alto valor nutricional. Cogumelos são amplamente reconhecidos por serem fontes ricas de proteínas, fibras, vitaminas do complexo B, minerais como potássio e selênio, além de apresentarem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Devido ao seu baixo teor de gordura e ao perfil nutricional equilibrado, os cogumelos têm sido recomendados como parte de uma dieta balanceada e saudável, tornando-se um alimento essencial para consumidores conscientes de sua saúde e bem-estar (URBEN, 2017).

No Brasil, embora o cultivo de cogumelos tenha apresentado crescimento nos últimos anos, ainda está distante do volume produzido por países como a China, que lidera a produção mundial com mais de 5 milhões de toneladas anuais. A produção nacional está concentrada principalmente nas regiões Sul e Sudeste, onde as condições climáticas são mais adequadas e a demanda por produtos frescos e orgânicos é maior. Apesar do aumento do consumo em grandes centros urbanos, o mercado brasileiro ainda enfrenta desafios relacionados à infraestrutura de produção, armazenamento e distribuição, que impactam a competitividade em relação aos produtos importados (RODRIGUES; OKURA, 2022; STEFFEN et al., 2019).

No contexto global, o mercado de cogumelos está em plena expansão. De acordo com a consultoria Grand View Research, o setor apresenta um crescimento anual composto (CAGR) de 9,7%, com projeções de que o faturamento global alcance US$ 115,798 bilhões até 2030 (Gráfico 1). Em 2023 o cogumelo Shitake foi responsável por uma receita de US$ 19,4 bilhões e o Ostra (Shimeji) é o seguimento de produto mais lucrativo previsto para o período (GRAND VIEW RESEARCH, 2023). Esse avanço é impulsionado por diversos fatores, incluindo a maior conscientização sobre os benefícios nutricionais dos cogumelos, a popularidade crescente de estilos de vida saudáveis e a expansão da presença dos cogumelos em redes de varejo e no setor de food service.

**Gráfico 1** – Receita global prevista do mercado de cogumelos (2018-2030, em bilhões de dólares).

**Fonte:** GRAND VIEW RESEARCH, 2023

A Ásia-Pacífico lidera o consumo global (Gráfico 2) com taxa de crescimento esperado acima de 90% para 2030 (Gráfico 3), com destaque para países como China, Japão e Índia, seguidos pela Europa e América do Norte. Na América Latina espera-se um crescimento acima de 70%, Brasil e Argentina são os principais consumidores, indicando um potencial significativo para expansão do mercado regional (ZAMPIERI, 2023; GRAND VIEW RESEARCH, 2023).

**Gráfico 2** – Projeção do crescimento do mercado global de cogumelos em 2030 em comparação a 2023.

**Fonte:** GRAND VIEW RESEARCH, 2023

**Gráfico 3** – Taxa de crescimento percentual do mercado de cogumelos por região entre 2023 e 2030.

**Fonte:** GRAND VIEW RESEARCH, 2023

O cultivo de cogumelos consiste em diversas etapas fundamentais (Quadro 1), que requerem o controle rigoroso de fatores ambientais para assegurar uma produção eficiente e de alta qualidade. Entre essas etapas, destacam-se a colonização e a frutificação, que ocorrem em estufas ou ambientes isolados do meio externo. Nesses espaços, parâmetros como temperatura, umidade e concentração de dióxido de carbono (CO₂) são meticulosamente monitorados, sendo fatores críticos para o sucesso do cultivo.

**Quadro 1** - Principais etapas do cultivo de cogumelos e suas descrições.

|  |  |
| --- | --- |
| **Etapas** | **Descrição** |
| Preparo do Substrato | Geralmente composto de resíduos agroindustriais, como palha de arroz, bagaço de cana e serragem, o substrato fornece os nutrientes necessários para o desenvolvimento dos cogumelos. |
| Inoculação | Processo em que o micélio do fungo é introduzido no substrato. |
| Colonização | Fase de crescimento do micélio, que requer controle adequado de temperatura e umidade. |
| Frutificação | Etapa em que os cogumelos se desenvolvem, exigindo condições ambientais específicas, como iluminação controlada e níveis adequados de dióxido de carbono. |

**Fonte:** URBEN, 2017; GONÇALVES et al., 2017.

Entre as espécies mais cultivadas no Brasil, destaca-se o *Pleurotus ostreatus*, popularmente conhecido como shimeji ou cogumelo-ostra. Essa espécie apresenta exigências ambientais específicas para o desenvolvimento adequado durante as fases de colonização (Tabela 1) e frutificação (Tabela 2). A seguir, são apresentados os parâmetros ambientais recomendados para essas etapas em diferentes espécies de cogumelos cultivados.

**Tabela 1** - Parâmetros ambientais recomendados para a colonização de diferentes espécies de cogumelos

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cogumelo** | **Temperatura (ºC)** | **Umidade (%)** | **CO² (ppm)** | **Luminosidade (lux)** |
| **Shimeji** *(Pleurotus Ostreatus)* | 20-25 | 65 | <5.000 | ausente |
| **Champignon** *(Agaricus Bisporus)* | 22-25 | 65-67 |  | ausente |
| **Shitake***(Lentinula Edodes)* | 24-27 | 58-65 | <1.000 | ausente |
| **Ganoderma *(***Ganoderma Lucidum***)*** | 30-35 | 65-70 | <50.000 | ausente |

**Fonte:** URBEN, 2017

**Tabela 2** - Parâmetros ambientais recomendados para a frutificação de diferentes espécies de cogumelos

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cogumelo** | **Temperatura (ºC)** | **Umidade (%)** | **CO² (ppm)** | **Luminosidade (lux)** |
| **Shimeji** *(Pleurotus Ostreatus)* | 20-26 | 85-90 | <600 | 50-500 |
| **Champignon** *(Agaricus Bisporus)* | 16-20 | 85-90 |  | ausente |
| **Shitake***(Lentinula Edodes)* | 15-25 | >60 | <1.000 | 300-500 |
| **Ganoderma *(***Ganoderma Lucidum***)*** | 22-25 | 80-90 | <2.000 | moderado |

**Fonte:** URBEN, 2017

A adoção de tecnologias avançadas, como sistemas de monitoramento baseados em IoT, permite o controle automatizado dos parâmetros ambientais nas estufas de cultivo, otimizando a produção e garantindo a qualidade dos produtos. Essa abordagem tecnológica não apenas aumenta a eficiência, mas também promove práticas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis, atendendo às demandas de um mercado cada vez mais exigente e competitivo.

## Aplicações da IoT na Agricultura

### Conceito e Definições

A Internet das Coisas (IoT, do inglês Internet of Things) é definida como um sistema interconectado de dispositivos físicos, sensores e softwares que coletam, compartilham e analisam dados em tempo real por meio da internet. Essa tecnologia representa uma das principais inovações da era digital e desempenha um papel central na transformação de diversos setores, como saúde, transporte, segurança e, especialmente, a agricultura. A IoT possibilita a integração de objetos cotidianos em uma rede digital, criando um ecossistema inteligente que otimiza processos, reduz custos e melhora a eficiência operacional (GONÇALVES, 2022; BRUSADIN et al., 2023).

Na agricultura, a IoT se destaca por sua capacidade de viabilizar a Agricultura 4.0, permitindo o monitoramento e a automação de processos em todas as etapas produtivas. Essa aplicação engloba desde o preparo do solo até a colheita, promovendo a precisão no uso de insumos e na tomada de decisões baseadas em dados. Segundo Brusadin et al. (2023), a IoT combina tecnologias como sensores, comunicação em tempo real, computação em nuvem e análise de dados para coletar informações sobre variáveis climáticas, umidade do solo, condições ambientais e desempenho das máquinas, garantindo maior produtividade e sustentabilidade.

O conceito de IoT foi ampliado ao longo do tempo com a evolução da internet, passando de uma rede acadêmica para um sistema global que conecta dispositivos e gera informações em larga escala. Conforme destaca Klebio de Jesus (2021), a IoT é caracterizada pela comunicação entre dispositivos autônomos por meio de protocolos de rede como ZigBee, LoRa, Wi-Fi e Bluetooth, permitindo a integração de dados em um único sistema. Esse avanço possibilita a análise em tempo real e a automação de processos, o que é essencial para atender às demandas de setores como o agronegócio, que enfrenta desafios relacionados à escassez de recursos naturais e à necessidade de maximizar a produtividade (JESUS, 2021).

Além disso, a IoT se apoia em tecnologias emergentes como big data, inteligência artificial (IA) e computação em nuvem para processar grandes volumes de dados e extrair informações estratégicas. Essa integração tecnológica é o diferencial que permite às empresas agrícolas modernizarem suas operações, reduzindo o desperdício de recursos e promovendo práticas mais sustentáveis (GONÇALVES, 2022; LISBINSKI et al., 2023)​.

### Aplicações da IoT na Agricultura

O impacto da Internet das Coisas (IoT) no setor agrícola é significativo, promovendo maior produtividade, eficiência no uso de recursos e redução de impactos ambientais. Estudos apontam que o uso da IoT pode reduzir o consumo de água em até 50% por meio de sistemas automatizados de irrigação e permitir o aumento de até 30% na produtividade das culturas agrícolas (LISBINSKI et al., 2019; GONÇALVES, 2022).

A IoT vem trazendo consigo inúmeras inovações tecnológicas para o setor agrícola, o que permite transformar práticas tradicionais em sistemas altamente automatizados e eficientes. Essa tecnologia, que conecta objetos físicos à internet por meio de sensores e dispositivos, está proporcionando ganhos significativos em produtividade, sustentabilidade e gestão de recursos no contexto da agricultura de precisão.

A aplicação da IoT na agricultura abrange diversas frentes. Conforme destacado por Costa et al. (2017), sensores conectados podem monitorar em tempo real variáveis climáticas, como umidade do solo, temperatura e níveis de precipitação. Esses dados são enviados para sistemas centralizados, onde são processados e armazenados, permitindo análises detalhadas e a criação de bancos de dados para a tomada de decisões mais assertivas.

Na irrigação, por exemplo, a IoT tem possibilitado avanços significativos. A automação dos sistemas de irrigação baseada em sensores de umidade do solo reduz o desperdício de água e aumenta a eficiência hídrica. Um estudo descrito por Gonçalves (2022) mostra que a integração entre dispositivos IoT e plataformas de análise pode proporcionar uma economia de até 50% no consumo de água, ao comparar métodos automatizados com técnicas convencionais.

Outro campo de aplicação é o monitoramento de pragas e doenças. Sensores instalados em áreas agrícolas podem capturar dados ambientais e identificar padrões que favorecem o surgimento de pragas, permitindo ações preventivas mais rápidas e eficazes (Jesus, 2021). Além disso, tecnologias IoT combinadas com drones possibilitam o mapeamento aéreo das plantações, identificando áreas com maior ou menor necessidade de intervenções.

A rastreabilidade na cadeia de suprimentos é mais uma aplicação relevante. Como mencionado por Costa (2017), sistemas baseados em IoT podem rastrear produtos agrícolas desde a produção até o consumidor final, garantindo transparência e qualidade, além de permitir a resolução ágil de problemas como contaminações ou perdas logísticas.

Embora os benefícios sejam evidentes, desafios permanecem. A conectividade em áreas rurais, a necessidade de capacitação técnica dos agricultores e os custos iniciais para a implementação das tecnologias ainda são barreiras significativas para a adoção em larga escala, conforme apontado por Gonçalves (2022). No entanto, o potencial de transformar a agricultura em uma atividade mais sustentável e eficiente torna a IoT um investimento estratégico para o futuro do setor.

### Vantagens e Desafios da Automação Agrícola

A automação agrícola, impulsionada por tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), tem revolucionado o setor, promovendo eficiência operacional e sustentabilidade. Entretanto, sua implementação também apresenta desafios significativos que precisam ser enfrentados para garantir o máximo aproveitamento de seus benefícios. Este tópico explora as principais vantagens e desafios da automação no campo, com foco em sua aplicabilidade e impacto.

Uma das vantagens que podemos citar da automação na agricultura é a redução de custos operacionais pois possibilita uma melhor otimização de processos produtivos e utilização de insumos, mão de obra e combustível. Os sistemas automatizados agregam no monitoramento e no controle de variáveis ambientais e operacionais, diminuindo incidência de erros humanos e custos desnecessários. Segundo Brusadin et al. (2023), a utilização de sensores e máquinas inteligentes permite identificar o momento exato para aplicação de insumos, otimizando recursos e melhorando a eficiência geral da produção.

Segundo Jesus (2021), outro benefício importante de destacar é a otimização de recursos naturais, com as tecnologias baseadas em IoT é possível gerir de forma inteligente os recursos como água e energia. Sistemas de irrigação automatizados, por exemplo, são ativados somente quando os sensores indicam necessidade, evitando o desperdício de água, a taxa de desperdício de água devido à falta de gestão eficaz, chega representar quase 50% das despesas totais da indústria agrícola.

E por fim é importante evidenciar o potencial aumento da produtividade e precisão, viabilizada com a automação agrícola que combina análise de dados e controle em tempo real para maximizar o potencial produtivo das áreas cultivadas. Drones, sensores e sistemas de mapeamento georreferenciado permitem ajustes pontuais na aplicação de insumos e manejo da cultura, resultando em maior produtividade e qualidade dos produtos agrícolas (LISBINSKI et al., 2023)​.

Evidenciando agora algumas das desvantagens que mais preocupam quando se trata de projetos IoT em áreas rurais, começando pela conectividade, esse é um dos maiores desafios para a automação agrícola, especialmente em regiões rurais remotas. A implementação de tecnologias como IoT, big data e computação em nuvem requer redes estáveis e de alta velocidade, algo ainda limitado em muitas áreas do Brasil. A ausência de infraestrutura adequada pode dificultar a comunicação entre dispositivos e limitar o uso das tecnologias disponíveis (GONÇALVES et al., 2022).

Outro fator que dificulta que os empresários agrícolas, principalmente os de pequenos e médio porte é o custo inicial para investir em equipamentos, sensores, softwares e capacitação, embora os benefícios da automação sejam de grande interesse por parte de alguns empresários, esse alto investimento inicial é um dos principais motivos para que não tenha mais investimentos na automação agrícola. Pois segundo Gonçalves (2022), para facilitar a aquisição de desses dispositivos em larga escala, exigiria incentivos governamentais e políticas públicas para sua viabilização.

Existem também limitações referentes a autonomia energética que os sensores e dispositivos utilizados em sistemas de automação frequentemente dependem, mas nem sempre estão disponíveis ou são confiáveis em áreas rurais. Essa dificuldade pode comprometer gravemente o funcionamento contínuo dos sistemas. Já existem alternativas como os painéis solares, mas ainda existem limitações tecnológicas e financeiras, para aquisição e instalação desses equipamentos. (JESUS, 2021).

A automação agrícola oferece diversas vantagens e tem o potencial de transformar o setor, tornando-o mais eficiente, sustentável e competitivo. Contudo, ainda enfrenta desafios relacionados à conectividade, aos custos de implementação e à autonomia energética. Para superá-los, é fundamental investir na criação de políticas públicas, na inovação tecnológica e na colaboração entre setores. Esses esforços são indispensáveis para promover a inclusão tecnológica no campo e viabilizar a adoção dessa tecnologia em larga escala.

## Tecnologias Utilizadas

### Hardware

O desenvolvimento de soluções baseadas em Internet das Coisas (IoT) requer a integração de componentes de hardware capazes de coletar dados, processar informações e realizar ações de forma eficiente. Para o projeto de automação e monitoramento de estufas agrícolas, foram selecionados dispositivos que oferecem um equilíbrio entre desempenho, custo e facilidade de implementação, considerando as necessidades específicas do sistema.

#### ESP32

O ESP32 (Figura 1) é um microcontrolador de alto desempenho amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT), devido à sua versatilidade, baixo consumo de energia e integração de conectividade Wi-Fi e Bluetooth. Equipado com um processador dual-core Xtensa LX6 de 32 bits, o ESP32 é capaz de operar até 240 MHz. Essa capacidade de processamento permite que o dispositivo lide com tarefas complexas, como a coleta de dados de múltiplos sensores, processamento local e envio para servidores remotos. O microcontrolador possui 520 KB de SRAM e suporte à memória externa, o que o torna ideal para armazenar temporariamente dados críticos durante a execução de aplicações IoT​ (SYSTEMS, 2019).

Figura – ESP32

Circuito eletrônico em fundo preto

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Além disso, o ESP32 oferece uma ampla gama de interfaces periféricas, incluindo 34 GPIOs programáveis, 18 canais de ADC (Conversores Analógico-Digital) de 12 bits, 2 canais de DAC (Conversores Digital-Analógico) de 8 bits, e suporte para interfaces como UART, I2C, SPI e Ethernet. Essas interfaces permitem a integração de diversos sensores e dispositivos, como o DHT22 e MQ-135 utilizados no monitoramento ambiental da estufa do projeto (MAHETALIYA et al., 2021).

A conectividade é um dos principais diferenciais do ESP32, que suporta Wi-Fi 802.11 b/g/n e Bluetooth 4.2, incluindo modos BLE (Bluetooth Low Energy) (SYSTEMS, 2019). Essa combinação possibilita a comunicação eficiente com servidores locais ou na nuvem, bem como a interação com dispositivos móveis. A transmissão de dados pode ser configurada por protocolos seguros, como HTTPS, garantindo a proteção das informações​.

O ESP32 se destaca também pela sua eficiência energética, com cinco modos de operação: ativo, modem-sleep, light-sleep, deep-sleep e hibernation (SYSTEMS, 2019). Em deep-sleep, o consumo de energia pode ser reduzido para apenas 10 µA, tornando-o ideal para aplicações alimentadas por baterias ou em locais com acesso limitado a energia elétrica​

No contexto do presente projeto, o ESP32 será utilizado como o núcleo do sistema IoT para monitoramento e controle da estufa. Ele receberá dados de sensores de temperatura, umidade e CO₂, processando e enviando essas informações ao backend desenvolvido em PHP. Além disso, o microcontrolador controlará atuadores como exaustores, condicionadores de ar e umidificadores, garantindo as condições ideais para o cultivo de cogumelos. A integração com a interface móvel em Flutter permitirá o monitoramento e o controle remoto em tempo real, aumentando a eficiência operacional do sistema.

#### DHT22

O sensor DHT22, é amplamente utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT) devido à sua capacidade de medir com precisão a temperatura e a umidade do ar. Esse sensor digital é caracterizado por sua simplicidade de uso, alta confiabilidade e custo acessível, tornando-o uma escolha ideal para sistemas que necessitam de monitoramento ambiental contínuo.

Figura 2 – DHT22

Uma imagem contendo remoto

Descrição gerada automaticamente

Esse sensor capacitivo de umidade com um termistor integrado para aferir temperatura opera em um intervalo que varia de -40°C a 80°C, com uma precisão de ±0,5°C. Para umidade, o sensor cobre um intervalo de 0% a 100% de umidade relativa, com precisão de ±2% Essas especificações o posicionam como um dos sensores mais precisos dentro de sua faixa de preço​ (QUINAGLIA, 2019).

A integração com microcontroladores como o ESP32 é direta, utilizando apenas três pinos: alimentação, terra e um pino de dados. O sensor opera com uma tensão de alimentação de 3,3V a 5,5V, compatível com a maioria dos microcontroladores disponíveis no mercado. A comunicação é realizada através de um protocolo proprietário que envia os dados em pacotes de 40 bits, contendo informações de temperatura e umidade​

No contexto do cultivo de cogumelos, o DHT22 desempenha um papel essencial ao fornecer dados precisos sobre temperatura e umidade, fatores críticos para o crescimento ideal dos fungos. Esses dados são transmitidos ao ESP32, que processa as informações e as disponibiliza para o sistema de controle. A confiabilidade e precisão do DHT22 asseguram que as condições ambientais da estufa sejam mantidas dentro dos limites desejados, reduzindo perdas e otimizando a produção​

O DHT22 é um componente indispensável em projetos IoT que demandam monitoramento ambiental preciso e confiável. Sua integração simples e seu desempenho sólido tornam-no ideal para aplicações no setor agrícola, como o monitoramento de estufas de cogumelos, onde as condições ambientais precisam ser controladas rigorosamente para garantir a eficiência da produção.

#### MQ135

Os sensores da linha MQ são amplamente reconhecidos por sua capacidade de monitorar a qualidade do ar, sendo o MQ-135 (Figura 3) dedicado a detecção de gases como dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), óxidos de nitrogênio (NOₓ), benzeno, álcool e fumaça (GUSE, 2022). Devido à sua versatilidade, é uma escolha popular em aplicações IoT voltadas ao controle ambiental, como no monitoramento de estufas agrícolas.

Figura 3 – MQ-135

Fundo preto com letras brancas

Descrição gerada automaticamente com confiança média

O princípio de funcionamento do MQ-135 baseia-se na interação dos gases com o elemento sensorial interno, que altera sua resistência em função da presença de gases específicos. Essas mudanças são capturadas como variações na tensão de saída. Para aplicações práticas, o sensor requer um circuito de condicionamento que inclua uma resistência de carga para ajustar a sensibilidade e facilitar a calibração (Ponto a Verificar com o Tung) (GUSE, 2022).

Quando integrado a sistemas IoT, o MQ-135 pode ser conectado diretamente a microcontroladores como o ESP32, que processam os dados e os transmitem para plataformas remotas. Essa capacidade de integração possibilita o monitoramento em tempo real, essencial para aplicações que exigem respostas rápidas, como a gestão ambiental de estufas​.

Este sensor opera com uma tensão de alimentação entre 2,5 V e 5 V, consumindo aproximadamente 150 mA durante o aquecimento. Sua saída é analógica, fornecendo uma tensão proporcional à concentração de gás detectado. Entretanto, como mostrado na Tabela X, é importante destacar algumas limitações do MQ-135 em relação ao presente projeto. A umidade de operação é limitada a 90% sem condensação, o que pode ser problemático, já que o umidificador ultrassônico, atuador responsável por elevar a umidade do ambiente, pode gerar condensação. Além disso, a faixa de detecção do sensor, entre 10 ppm e 1000 ppm, é insuficiente para atender às exigências do cultivo de cogumelos como o Shimeji, cujo nível de CO₂ pode alcançar até 5000 ppm, ou mesmo de outras variedades, como o Ganoderma, que pode atingir valores próximos a 50000 ppm.

Quadro 2 – Especificações do sensor MQ-135.

|  |  |
| --- | --- |
| **Especificação** | **Descrição** |
| Faixa de detecção | 10 ppm a 1000 ppm (gases como CO₂, NH₃, NOₓ, benzeno, álcool e fumaça) |
| Tensão de operação | 2,5 V a 5 V |
| Consumo de corrente | ~150 mA durante o aquecimento |
| Saída | Analógica (tensão proporcional à concentração de gás) |
| Tempo de resposta | ≤ 20 segundos |
| Material sensorial | Semicondutor de óxido metálico |
| Vida útil estimada | ≥ 2 anos (em condições normais de operação) |
| Temperatura de operação | -20 °C a 50 °C |
| Umidade de operação | 20% a 90% (sem condensação) |
| Dimensões | 18 mm x 16 mm x 15 mm (típico do módulo MQ-135) |
| Calibração necessária | Sim, através de resistência de carga para ajuste da sensibilidade |

Fonte: GUSE, 2022

No contexto do cultivo de cogumelos, o MQ-135 desempenha um papel fundamental na medição dos níveis de CO₂, um subproduto natural do crescimento dos fungos. E apesar das suas limitações, esses dados são essenciais para controlar os exaustores, garantindo que os níveis de dióxido de carbono permaneçam dentro da faixa ideal. Essa automação reduz a necessidade de intervenção manual, promovendo uma gestão mais eficiente e precisa do ambiente de cultivo​.

#### Módulo de Relés

Um relé é um componente que funciona como um interruptor controlado eletronicamente. Ele utiliza um pequeno sinal elétrico para acionar ou desativar um circuito maior, isolando os dois circuitos para proteger o microcontrolador de altas correntes ou picos de tensão. No contexto deste projeto, o módulo de relés será utilizado para controlar os atuadores responsáveis por ajustar os parâmetros ambientais das estufas, como temperatura, umidade e níveis de dióxido de carbono (CO₂).

Os relés utilizados em sistemas IoT podem ser classificados de acordo com suas especificações, como capacidade de corrente, número de canais e isolamento. Para este projeto, foi escolhido um módulo de 4 canais (Quadro 3), o que permite controlar até quatro dispositivos independentes, como o exaustor, o ar-condicionado e o umidificador. Este tipo de módulo é amplamente utilizado devido à sua versatilidade e facilidade de integração com microcontroladores populares como o ESP32 (GUSE, 2024).

Quadro 3 – Especificações do Módulo de Relés

|  |  |
| --- | --- |
| **Especificação** | **Descrição** |
| Modelo | Módulo Relé 5V 4 Canais com Optoacoplador |
| Compatibilidade | Arduino, AVR, PIC, ARM, Raspberry PI, entre outros |
| Número de Relés | 4 |
| Tensão de Operação | 5VDC (VCC e GND) |
| Tensão de Sinal | TTL 5VDC (IN1, IN2, IN3, IN4) |
| Carga Nominal | 10A 250VAC / 10A 125VAC / 10A 30VDC / 10A 28VDC |
| Saídas | Contato reversível: NA (normalmente aberto), NF (normalmente fechado), C (comum) |
| Corrente por Canal | Até 10A |
| Características Adicionais | Sistema mais seguro com optoacopladores; Controle AC/DC |
| Dimensões | 7,5 x 5,5 x 1,8 cm |
| Fixação | 4 furos de 3 mm nas extremidades da placa |

Fonte: (Anúncio do mercado livre kkkk)

A integração do módulo de relés com o sistema IoT é feita através do ESP32, que enviará sinais digitais para ativar ou desativar os relés. Como veremos mais à frente na sessão Software, esse controle será gerenciado pelo backend em PHP (CodeIgniter), com comandos emitidos pelo aplicativo mobile desenvolvido em Flutter. O funcionamento sincronizado garante que os atuadores sejam acionados conforme os parâmetros ambientais estabelecidos para cada fase do cultivo de cogumelos.

O uso de relés torna o sistema flexível e adaptável, pois outros dispositivos podem ser adicionados à medida que novas necessidades surgem no processo de cultivo. Dessa forma, o módulo de relés (Figura 4) é um componente-chave para viabilizar o controle eficiente e seguro dos atuadores no ambiente da estufa.

Figura – Módulo de Relés

Circuito eletrônico com botões

Descrição gerada automaticamente com confiança média

### Software

A arquitetura de software desempenha um papel crucial no desenvolvimento de sistemas baseados em IoT, pois define a maneira como os componentes interagem, processam dados e apresentam informações ao usuário. Para este projeto de automação e monitoramento de estufas agrícolas, foram selecionadas ferramentas de software que atendem aos requisitos de funcionalidade, escalabilidade e eficiência. A escolha dessas tecnologias foi fundamentada na compatibilidade com os componentes de hardware, na robustez e na capacidade de integração com outros sistemas.

#### Back-End

O desenvolvimento de sistemas web modernos exige o uso de ferramentas que facilitem a criação de aplicações robustas, escaláveis e funcionais. Entre essas ferramentas, destacam-se o PHP, o framework CodeIgniter e o ambiente integrado XAMPP, que juntos oferecem uma base sólida para projetos organizados na arquitetura Model-View-Controller (MVC) e no uso de APIs RESTful.

O PHP, ou Hypertext Preprocessor, é uma linguagem de programação utilizada no desenvolvimento web, sendo responsável por cerca de 80% dos sites disponíveis na internet. Desde sua criação em 1995, a linguagem tem se destacado por sua simplicidade, vasta biblioteca de funções e compatibilidade com diferentes sistemas operacionais e servidores web. A utilização do PHP permite o desenvolvimento de páginas dinâmicas, além de possibilitar a integração com bancos de dados, tornando-o ideal para a criação de sistemas que realizam operações complexas, como APIs RESTful, que utilizam requisições HTTP para executar operações CRUD (Create, Read, Update, Delete) (SAMRA, 2015).

Para estruturar melhor as aplicações em PHP, o uso de frameworks é indispensável. Um desses frameworks que ajudam no momento do desenvolvimento é o CodeIgniter, adotando um padrão de arquitetura Model-View-Controller (MVC), que organiza o código em três camadas principais: a Model, responsável pela lógica de negócios e pela interação com o banco de dados; a View, que gerencia a apresentação das informações ao usuário; e o Controller, que atua como intermediário, processando requisições e coordenando a comunicação entre as camadas. Essa separação permite maior clareza, manutenção e escalabilidade no desenvolvimento. Além disso, CodeIgniter oferece suporte à criação de APIs RESTful, alinhando-se aos padrões de desenvolvimento modernos. Reconhecido por sua curva de aprendizado acessível e excelente documentação, o framework facilita a integração com outras ferramentas, tornando-se uma escolha versátil e eficiente (LUCIANO; ALVES, 2011; SAMARA, 2015).

Complementando o ambiente base de desenvolvimento, é necessário utilizar um servidor, e o escolhido o XAMPP é uma solução completa que combina diversas tecnologias fundamentais para o desenvolvimento em um ambiente local, como Apache, MySQL, PHP e Perl. Este pacote de software livre permite que desenvolvedores criem, testem e depurem suas aplicações em um ambiente seguro e controlado antes de seu lançamento ao público. O servidor Apache gerencia as requisições HTTP e a hospedagem local, enquanto o MySQL atua como sistemas de gerenciamento de banco de dados. O PHP e o Perl, por sua vez, são usados para o desenvolvimento de aplicações dinâmicas. (SOARES, 2018; GARCIA, 2023).

A combinação entre PHP, CodeIgniter e XAMPP possibilita a criação de sistemas web robustos de forma eficiente. O PHP e o CodeIgniter fornecem a base lógica e arquitetural necessária, enquanto o XAMPP oferece um ambiente de desenvolvimento integrado e prático. Essa sinergia agiliza o desenvolvimento, facilita a identificação de erros e melhora a qualidade final das aplicações desenvolvidas, tornando essas ferramentas indispensáveis no contexto do desenvolvimento web contemporâneo.

#### Front-End

O Flutter, desenvolvido pela Google, é um framework de código aberto que permite o desenvolvimento de aplicativos multiplataforma a partir de uma única base de código. Desde o seu lançamento oficial em 2017, o Flutter tem sido amplamente adotado devido à sua flexibilidade, desempenho nativo e capacidade de criar interfaces de usuário modernas e responsivas. Este framework é particularmente vantajoso para projetos que demandam alta produtividade e uma interface consistente em diferentes plataformas, como Android, iOS, Web e Desktop.

Utilizando a linguagem de programação Dart, que foi projetada para ser eficiente, segura e com suporte a compilação tanto JIT (Just-In-Time) quanto AOT (Ahead-Of-Time). Essa combinação proporciona um desempenho quase equivalente ao de aplicativos nativos e permite recursos como "hot reload", que acelera o processo de desenvolvimento ao aplicar alterações instantaneamente sem reiniciar o aplicativo.

O Flutter oferece diversas vantagens que o tornam uma escolha popular entre os desenvolvedores. Uma de suas principais características é ser multiplataforma, permitindo que um único código seja executado em várias plataformas, o que reduz significativamente os custos e o tempo de desenvolvimento. Além disso, por ser compilado diretamente em código nativo, o Flutter proporciona uma experiência de uso fluida e de alta performance. Outro grande diferencial é sua comunidade ativa e em constante crescimento, que facilita o aprendizado e contribui para a rápida resolução de problemas. Entretanto, existem desafios associados ao Flutter, como o tamanho maior dos aplicativos resultantes devido à inclusão do motor de renderização e a curva de aprendizado inicial para desenvolvedores que não estão familiarizados com Dart.

Dart é a linguagem padrão para o Flutter, fornecendo a base para o desenvolvimento de interfaces ricas e responsivas. Ela facilita a criação de widgets, componentes essenciais para a construção de interfaces de usuário no Flutter. O suporte integrado ao formato JSON e ao mecanismo de desenho Skia permite que Dart e Flutter trabalhem juntos para renderizar gráficos complexos e animados.

No projeto, o Flutter é utilizado para desenvolver o aplicativo móvel, que atua como uma interface de monitoramento e controle, centralizando as operações do sistema, tornando a gestão das estufas mais eficiente e intuitiva.

#### Banco de Dados

O uso de sistemas de banco de dados é essencial em projetos de desenvolvimento de sistemas computacionais devido à sua capacidade de armazenar, organizar e recuperar dados de forma eficiente. Em aplicações modernas, como o monitoramento de estufas agrícolas por meio de IoT, um banco de dados relacional é especialmente relevante por sua flexibilidade, escalabilidade e robustez no tratamento de grandes volumes de informações.

Um banco de dados é definido como uma coleção de dados inter-relacionados, organizados de forma lógica e projetados para atender às necessidades específicas de um conjunto de usuários. Dessa forma, o banco de dados deve refletir alguns aspectos da realidade, representando o estado atual de uma entidade ou processo no mundo real (ELMASRI; NAVATHE, 2005). A organização lógica dos dados permite que aplicações como sistemas de monitoramento de condições ambientais em estufas possam acessar informações estruturadas, como valores de temperatura, umidade e níveis de dióxido de carbono.

Para a implementação do sistema em questão, será utilizado o banco de dados MySQL, um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional (SGBDR) amplamente utilizado por sua compatibilidade com a linguagem SQL (Structured Query Language) e sua eficiência em operações transacionais. O MySQL suporta operações fundamentais de manipulação de dados, como inserção, atualização, exclusão e consultas avançadas, permitindo que informações capturadas por sensores, como DHT22 e MQ-135, sejam armazenadas e gerenciadas com precisão. Segundo Ramakrishnan e Gehrke (2011), os SGBDRs são preferidos em sistemas que demandam a consistência e a integridade de dados devido ao seu suporte nativo a transações ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade).

Além disso, o design do banco de dados seguirá um modelo relacional, utilizando conceitos de normalização para evitar redundâncias e inconsistências nos dados. De acordo com Elmasri e Navathe (2005), a normalização é uma técnica que organiza os dados em formas normais, minimizando a redundância e assegurando a integridade referencial, aspectos críticos em sistemas que lidam com dados sensíveis como parâmetros ambientais.

Outro ponto relevante é a integração entre o hardware e o banco de dados. Sensores como o DHT22 e o MQ-135, conectados a um microcontrolador ESP32, enviarão os dados coletados para o servidor por meio de APIs RESTfull. Proporcionando, assim, o monitoramento em tempo real e geração de relatórios históricos para análise de desempenho. Esses dados serão armazenados no banco de dados utilizando tabelas inter-relacionadas, que permitirão o cálculo de métricas e a visualização de tendências ao longo do tempo. Essa abordagem é essencial para a tomada de decisões baseadas em dados, como ajustes nos atuadores responsáveis pelo controle de parâmetros ambientais, garantindo a otimização das condições de cultivo.

Portanto, a escolha do MySQL, aliada a práticas de modelagem conceitual e lógica baseadas em normas e boas práticas, será determinante para o sucesso do sistema de controle e monitoramento das estufas. A robustez e flexibilidade do banco de dados permitirão o armazenamento eficiente e a consulta rápida dos dados necessários para manter o cultivo de cogumelos em condições ideais.

# METODOLOGIA

## Diagrama de Arquitetura

O diagrama de arquitetura apresentado na Figura 4, descreve a estrutura do sistema IoT para o controle e monitoramento de estufas de cultivo de cogumelos. A metodologia proposta baseia-se na integração entre hardware e software, estruturada em três camadas principais: **Front-End**, **Back-End** e **Hardware**. Esta arquitetura foi projetada para garantir a interoperabilidade dos componentes, a escalabilidade do sistema e a eficiência no controle dos parâmetros ambientais da estufa.

Figura 4 – Diagrama de ArquiteturaDiagrama

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Elaboração Própria

### Camada Front-End

A interação inicial do sistema ocorre na camada **Front-End**, composta pelo aplicativo desenvolvido em Flutter. Esta aplicação móvel permite ao usuário monitorar as condições ambientais em tempo real e controlar remotamente os atuadores responsáveis pelo ajuste de variáveis como temperatura, umidade e níveis de CO₂. Flutter foi escolhido por sua capacidade de desenvolvimento multiplataforma e pela possibilidade de criar interfaces responsivas e intuitivas.

O aplicativo envia requisições para a camada **Back-End** por meio de uma API RESTful, recebendo os dados processados e exibindo-os ao usuário de forma gráfica e acessível. Esse fluxo permite a operação do sistema de maneira prática, otimizando o manejo das estufas agrícolas.

### Camada Back-End

camada **Back-End** é construída utilizando o framework CodeIgniter, que segue o padrão arquitetural **MVC (Model-View-Controller)**. Este padrão divide a lógica do sistema em três componentes:

* **Model**: Responsável por realizar as operações no banco de dados MySQL, armazenando e recuperando informações ambientais e estados dos atuadores.
* **View**: Transmite ao Front-End os dados processados, formatados em estruturas JSON, que são fáceis de integrar com Flutter.
* **Controller**: Gerencia a comunicação entre as camadas do sistema, processando os dados recebidos dos sensores e enviando comandos aos atuadores via Gateway IoT.

A API RESTful desempenha um papel crucial nesta camada, facilitando a comunicação entre o aplicativo e o Gateway IoT, garantindo que as solicitações sejam tratadas de forma segura e eficiente.

### Camada de Hardware

Na base da arquitetura, a camada de hardware inclui o **Gateway IoT**, os sensores e os atuadores. O Gateway IoT, implementado com um microcontrolador ESP32, atua como ponte entre os dispositivos de hardware e o Back-End. Este microcontrolador recebe dados de sensores, como o DHT22 (temperatura e umidade) e MQ-135 (níveis de CO₂), e os transmite para o Back-End. Também é responsável por executar os comandos enviados pelo controlador para ajustar os atuadores (ar-condicionado, exaustores e umidificadores), que mantêm as condições ideais para o cultivo.

A integração dos sensores com o Gateway IoT utiliza protocolos de comunicação padrão, como I²C e UART, enquanto a comunicação com o Back-End ocorre por meio de requisições HTTP ou HTTPS, garantindo segurança e confiabilidade na transmissão de dados.

# Desenvolvimento

# Conclusão

O trabalho desenvolvido até o momento consolidou a base estrutural do projeto Smart Mushroom, um sistema de controle automatizado para estufas de cogumelos baseado em IoT, demonstrando sua viabilidade técnica e potencial para contribuir significativamente para o setor agrícola. Foram implementados sistemas de hardware, como sensores DHT22 e MQ-135 integrados ao microcontrolador ESP32, e desenvolvido o backend utilizando o framework CodeIgniter e um banco de dados relacional em MySQL. Esses componentes permitiram o monitoramento em tempo real de variáveis críticas como temperatura, umidade e níveis de CO₂, e a implementação de ajustes automáticos no ambiente de cultivo.

No decorrer do próximo semestre, o foco do projeto será expandir e aprimorar as funcionalidades do sistema. Planeja-se integrar o controle total dos atuadores, como exaustores e ar-condicionado, para garantir maior precisão e eficiência no manejo ambiental da estufa. Além disso, será desenvolvida uma interface de usuário mais intuitiva utilizando o framework Flutter, visando proporcionar uma experiência aprimorada de monitoramento e controle remoto aos produtores.

Outro objetivo fundamental é a avaliação prática da solução em um ambiente de testes, através de um protótipo, o que permitirá avaliar os resultados e sua aplicabilidade em um cultivo real. Será verificado também as possíveis deficiências do projeto, como a sensibilidade do DHT22 e MQ-135 a condensação e temperatura de operação, além das suas limitações de leitura dos parâmetros do ambiente. Paralelamente, o projeto será documentado para que, no futuro, ele possa ser escalado e adaptado para outros tipos de culturas agrícolas que demandem condições ambientais controladas.

Assim, o trabalho realizado até o momento serviu como um alicerce sólido para as etapas subsequentes, destacando-se pelo uso estratégico de tecnologias avançadas e pelo alinhamento com os princípios de sustentabilidade e eficiência. Espera-se que, ao final do desenvolvimento, o sistema Smart Mushroom se consolide como uma solução robusta, escalável e economicamente viável, com impacto direto na modernização do setor agrícola e na promoção da agricultura de precisão no Brasil.

# Referências

AOSONG ELETRONICS. **Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302).** Aosong Eletronics Limited Company, 2017. Disponível em: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132459/ETC2/DHT22.html. Acesso em: 10 de novembro de 2024.

BRUSADIN, Isabely Edvirges; ALVES, Marcos Rafael; CAVICHIOLI, Fabio Alexandre. **O uso da agricultura 4.0. Interface Tecnológica**, v. 20, n. 1, p. 518-521, 2023. DOI: 10.31510/infa.v20i1.1653.

COSTA, Cainã Lima; OLIVEIRA, Letícia; MÔTA, Léia Michele S. **Internet das Coisas (IoT): um estudo exploratório em agronegócios**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: http://simposioagronegocio.ufrgs.br. Acesso em: 1 de novembro de 2024.

DART, **Documentation**. Disponível em: <https://dart.dev/guides>. Acesso em: 5 de novembro de 2024.

**ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B.** **Fundamentals of Database Systems**. 6th ed. Pearson, 2010.

FLUTER, **Documentation**. Disponível em: <https://docs.flutter.dev>. Acesso em: 5 de novembro de 2024.

GAMMA, Erich et al. **Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software.** 1. ed. Trad. Luiz A. Meirelles Salgado. Porto Alegre: Bookman, 2000.

GARCIA, Guilherme. **O que é XAMPP e como funciona?** Disponível em: https://mercadoonlinedigital.com/blog/xampp. Acesso em: 3 novembro de 2024.

GONÇALVES, A. O. S.; DAVID, G. Q.; SILVA, M. P.; PERES, W. M.; YAMASHITA, O. M. **Avaliação sensorial e aceitação comercial do cogumelo comestível Pleurotus Florida**. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 4, n. 4, p. 92-98, 2017.

GONÇALVES, Joelma Roberta. **Potencialidades da agricultura 4.0 no Brasil.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – UNIC, Rondonópolis, 2022.

DART, **Programming Language Documentation.** Google Developers. Disponível em: https://dart.dev. Acesso em: 01 dez. 2024.

GRAND VIEW RESEARCH. **Button Mushroom Products Market: Industry Report.** Disponível em: https://grandviewresearch.com. Acesso em: 03 nov. 2024.

GUSE, Rosana. **Como funciona o sensor de gás MQ-135?** Maker Hero, 2022. Disponível em: https://www.makerhero.com/blog/como-funciona-o-sensor-de-gas-mq-135/. Acesso em: 10 de novembro de 2024.

GUSE, Rosana. **O que é Arduino IDE? Como baixar e instalar a nova versão.** Maker Hero, 2022. Disponível em: https://www.makerhero.com/blog/arduino-ide/. Acesso em: 24 de novembro de 2024.

JESUS, Klebio de. **Aplicação de Internet das Coisas (IoT) na Agricultura de Precisão.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) — Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Posse, GO.

LISBINSKI, Fernanda Cigainski; MÜHL, Diego Durante; OLIVEIRA, Letícia de; CORONEL, Daniel Arruda. **Perspectivas e desafios da agricultura 4.0 para o setor agrícola.** Revista Agronegócio e Desenvolvimento Sustentável, 2023.

LUCIANO, Josué; ALVES, Wallison Joel Barberá. **Padrão de Arquitetura MVC: Model-View-Controller.** Revista EPeQ Fafibe, 3ª ed., v. 01, 2011.

MAGRANI, Eduardo. **A Internet das Coisas.** Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

MAKIYAMA, Marcio, **Placa ESP32: Descubra o que é, para que serve e muito mais!** Victor Vision, 2023. Disponível em: https://victorvision.com.br/blog/placa-esp32/. Acesso em: 10 de novembro de 2024.

MYSQL, **The world's most popular open-source database.** MySQL Documentation. Disponível em: <https://www.mysql.com/doc>. Acesso em: 5 de novembro de 2024.

OLIVEIRA, Wennys Camilo da Silva. **Desenvolvimento de um aplicativo em Flutter para auxiliar no manejo de irrigação.** Rio Verde, GO: Instituto Federal Goiano, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **United Nations World Population Prospects 2017.** Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2020/Jan/un\_2017\_world\_population\_prospects-2017\_revision\_databooklet.pdf>. Acesso em: 01 de dezembro de 2024.

RAMAKRISHNAN, R.; GEHRKE, J. **Database Management Systems.** 3rd ed. McGraw-Hill, 2003.

RODRIGUES, G. M.; OKURA, M. H. **Cogumelos comestíveis no Brasil: uma revisão bibliográfica.** Research, Society and Development, v. 11, n. 8, e24711830830, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.30830.

SAMRA, Jone. **Comparing Performance of Plain PHP and Four of Its Popular Frameworks.** Linnaeus University, 2015. Disponível em: https://lnu.se/en/fulltext. Acesso em: 1 dez. 2024.

SOARES, Nuno Miguel Almeida. **Desenvolvimento de uma aplicação móvel de suporte ao Programa de Tutoria da Universidade de Aveiro.** 2018. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Aveiro, Aveiro, 2018.

STEFFEN, S. L.; MOREIRA, M. F.; PELICIOLI, L. A. **Produção e mercado de cogumelos comestíveis no Brasil.** Cogumelos Comestíveis: Revista Técnica, 2019.

TEIXEIRA, Giovany Frossard; LIBERATO, Alextian Bartholomeu; RIOS, Renan Osório; PULINI, Igor Carlos; MOREIRA, Raphael Magalhães Gomes. **Fundamentos de Flutter e Dart para Desenvolvimento de Apps Móveis.** Vitória: Edifes, 2024.

URBEN, A. F. **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde.** Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VAZQUEZ, C. E.; SIMÕES, G. S. **Engenharia de Requisitos: software orientado ao negócio.** Rio de Janeiro: Brasport, 2016. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=gA7kDAAAQBAJ. Acesso em: 1 de novembro de 2024.

ZAMPIERI, Maria E. **Mercado global de cogumelos deve dobrar de valor até 2030.** Globo Rural, 2023. Disponível em: <https://globorural.globo.com>. Acesso em: 04 nov. 2024.

Cronograma 2024/2 em semanas

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Etapa** | **Tarefas** | **Responsável** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** |
| Planejamento Inicial | Requisitos | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Escopo | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tecnologias a serem utilizadas | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Pesquisa | Bibliográfica e Fundamentação | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Redação da Introdução | Contextualização | Letícia |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Problemática | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Objetivos | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Justificativa | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Diagramas | Diagrama de Arquitetura | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Configuração Iniciais do ambiente | Arduino IDE | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| XAMPP, Codeigniter | Luiz |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flutter | Letícia |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Banco de Dados | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Configuração do hardware | ESP32 e DHT22 | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Desenvolvimento do Back-End | API RESTFul | Luiz |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Integração Inicial | Front, Back e Hardware | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Redação da Fundamentação Teórica | Fungicultura | Luiz |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Industria 4.0 | Letícia |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hardware | Luiz |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Back-End | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Front-End | Letícia |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Banco de Dados | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Redação da Metodologia | Diagrama de Arquitetura | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Apresentação Pré-projeto | Apresentação Pré-projeto | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Cronograma 2025/1 em semanas

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Etapa** | **Tarefas** | **Responsável** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** |
| Configuração do Hardware | MQ-135, Relés e Atuadores | Luiz |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Desenvolvimento | Front-End | Letícia |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Banco de Dados | Heitor |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Prototipagem | Elabora MockUp de uma estufa | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Teste e Validação | Teste de Unidade | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Teste de Integração | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Validação do Sistema | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Redação da Metodologia | Levantamento de Requisitos | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Arquitetura do Sistema | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Design e Prototipagem | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Implementação | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hardware e Prototipagem | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Redação do Desenvolvimento | Integração entre os Componentes | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Monitoramento em Tempo Real | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Controle dos Atuadores | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Geração de Relatórios | Definir |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Redação da Conclusão | Síntese do Trabalho | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Contribuições | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Perspectivas Futuras | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Revisão e Formatação Final | Ortográfica, Gramatical e ABNT | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Preparação da Apresentação | Elaboração dos Slides | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ensaios de Apresentação | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Apresentação Final | Apresentação do Projeto | Equipe |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |