



UNISENAI
ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS
PROJETO APLICADO I (AEx)

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA - Monitoramento IoT para Qualidade do Plantio

Equipe do Projeto

Alisson dos Santos Zanetti
Ana Lígia Vincenzi Bortolotti
Henry Magno Coutinho Furtado de Mendonça
Roger Fabricio Roverato

Professor Responsável

Iskailer Inaian Rodrigues

Florianópolis – Santa Catarina

2025

SUMÁRIO

1. Equipe e Planejamento das Atividades	3
1.1. Nome da Equipe:	3
1.2. Integrantes e Funções	3
1.3. Cronograma do Projeto	4
2. Problema Escolhido e Descrição	7
2.1. Contextualização	7
2.2. Descrição do Problema	8
2.3. Impacto	9
2.4. Justificativa	9
3. Necessidades do Cliente/Usuário e Validação	10
3.1. Requisito 1 - Irrigação Eficiente e Automatizada	20
3.2. Requisito 2 - Monitoramento Da Condutividade Elétrica (CE)/ TDS na Solução Nutritiva	22
3.3. Requisito 3: Monitoramento da Temperatura	25
3.4. Requisito 4: Monitoramento em Tempo Real da Umidade do Solo	28
3.5. Requisito 5: Controle de Pragas e Detecção de Doenças nas Plantas	29
3.6. Requisito 6: Monitoramento do pH na Hidroponia	32
3.7. Requisito 7: Monitoramento da Luminosidade	34
3.8. Requisito 8: Monitoramento da Chuva	36
4. Diagrama da Solução Proposta	37
4.1. Descrição e Diagramação da Arquitetura do Sistema	39
4.2. Tecnologias Utilizadas	47
5. Prototipação	47
6. Implementação e Código-Fonte	50
7. Conclusão e Próximos Passos	50
8. Link GitHub	51
9. Referências Bibliográficas	52

1. Equipe e Planejamento das Atividades

1.1. Nome da Equipe:



GreenTech Innovators

1.2. Integrantes e Funções:

Integrantes e Funções		
Nome	Função	Principais responsabilidades
Alisson Zanetti	Analista de Dados + Documentação e Relatórios	<ul style="list-style-type: none">- Definição dos dados detalhados e estatísticas de análise- Processamento e interpretação das informações do planejamento- Validação da precisão dos sensores e configurações necessárias- Registro das especificações técnicas- Organização da documentação para submissão acadêmica- Descrição das etapas do projeto e resultados obtidos
Ana Lígia Vincenzi Bortolotti	Gerente do Projeto + Documentação e Relatórios	<ul style="list-style-type: none">- Planejamento do projeto- Definição de cronograma e metodologia- Coordenação da equipe e acompanhamento das tarefas- Registro das especificações técnicas- Organização da documentação para submissão acadêmica- Descrição das etapas do

Integrantes e Funções		
Nome	Função	Principais responsabilidades
		projeto e resultados obtidos
Henry M. C. F. Mendonça	Engenheiro de Hardware/Eletrônica + Desenvolvedor de Software/Programador	<ul style="list-style-type: none"> - Prototipagem - Escolha e configuração dos sensores - Montagem e teste do protótipo físico - Definição das especificações dos componentes eletrônicos - Pesquisa - Desenvolvimento do código para leitura dos sensores - Comunicação entre hardware e software (protocolo IoT) - Implementação da interface
Roger Fabricio Roverato	Engenheiro de Hardware/Eletrônica + Desenvolvedor de Software/Programador	<ul style="list-style-type: none"> - Prototipagem - Escolha e configuração dos sensores - Montagem e teste do protótipo físico - Definição das especificações dos componentes eletrônicos - Pesquisa - Desenvolvimento do código para leitura dos sensores - Comunicação entre hardware e software (protocolo IoT) - Implementação da interface

1.3. Cronograma do Projeto

O cronograma foi elaborado com base no tempo total de execução do Projeto Aplicado I, considerando todas as etapas desde o início oficial da disciplina até a apresentação final à banca avaliadora. A divisão das atividades por semanas permite visualizar de forma clara e objetiva a evolução do trabalho, incluindo pesquisa, planejamento, desenvolvimento, simulação, testes e documentação. Cada fase foi planejada levando em conta a complexidade das entregas e a carga horária dos integrantes. O tempo estipulado para cada tarefa é aproximado, servindo como referência para organização e cumprimento dos prazos internos do grupo, garantindo que todas as metas sejam alcançadas até a apresentação final.

Cronograma do Projeto			
Responsável(is)	Descrição	Tempo de Execução	Finalizado
Ana Lígia Vincenzi Bortolotti	Planejamento e Levantamento de Requisitos <ul style="list-style-type: none">- Levantamento do problema e requisitos do sistema- Pesquisa sobre tecnologias IoT e plataformas para o monitoramento digital do planejamento- Validação das necessidades do usuário- Definição das tecnologias e início do desenvolvimento	3 semanas	Sim
Henry M. C. F. Mendonça	Especificação do Projeto <ul style="list-style-type: none">- Definição das especificações técnicas do sistema digital- Definir protocolos de comunicação entre os dispositivos IoT e plataforma de monitoramento- Definir arquitetura do sistema (backend, frontend, banco de dados)	2 semanas	Sim
Henry M. C. F. Mendonça	Desenvolvimento da Infraestrutura Digital	3 a 4 semanas	Sim

Cronograma do Projeto			
Responsável(is)	Descrição	Tempo de Execução	Finalizado
	<ul style="list-style-type: none"> - Escolha das tecnologias e plataformas para desenvolvimento (servidores, banco de dados, ferramentas de visualização) - Configuração do ambiente de desenvolvimento digital 		
Roger Fabricio Roverato	Desenvolvimento do Software (Parte 1) <ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento do código para capturar dados digitais (via API, sensores virtuais ou simulados) - Implementação inicial de banco de dados para armazenar os dados coletados 	3 semanas	Não
Alisson Zanetti	Desenvolvimento do Software (Parte 2) <ul style="list-style-type: none"> - Implementação de interface para visualização e controle dos dados do planejamento - Conectar a interface com o banco de dados e testar fluxo de dados 	2 semanas	Não
Alisson Zanetti	Análise de Dados e Ajustes <ul style="list-style-type: none"> - Análise dos dados obtidos pelos dispositivos IoT - Ajuste do sistema com base na análise de dados (métricas de qualidade do plantio) 	4 a 5 semanas	Não
Roger Fabricio Roverato	Testes Finais e Ajustes <ul style="list-style-type: none"> - Testes do sistema completo (software + análise de dados) - Ajustes finais no código e na visualização dos dados - Verificação de desempenho e segurança do sistema 	5 semanas	Não

Cronograma do Projeto			
Responsável(is)	Descrição	Tempo de Execução	Finalizado
Ana Lígia Vincenzi Bortolotti	Documentação Final e Apresentação <ul style="list-style-type: none"> - Elaboração da documentação técnica final (inclusão de todos os detalhes sobre arquitetura, tecnologias, dados e testes) - Preparação da apresentação para defesa do projeto 	5 semanas	Não

2. Problema Escolhido e Descrição

2.1. Contextualização

A busca por alimentos saudáveis e a adoção de novos hábitos alimentares têm transformado gradualmente a produção agrícola. As indústrias processadoras ampliaram a oferta de produtos minimamente processados, livres de conservantes químicos, com maior durabilidade e disponíveis em embalagens menores, mais atraentes e prontas para consumo. (Couto, 2019).

No Brasil, a agricultura, especialmente a irrigação, é responsável por uma grande parte do consumo de recursos naturais, utilizando entre 69% e 70% da água disponível no país (Ramos, 2024). Esse consumo elevado coloca o setor em uma posição central nas discussões sobre sustentabilidade e gestão eficiente de recursos, especialmente em um contexto de escassez hídrica e insegurança alimentar. Como destacam Silva, E. C., & Espejo, M. M. dos S. B. (2024), diante do aumento populacional e dos desafios relacionados à insegurança alimentar, é fundamental renovar os sistemas de produção agrícola, adotando tecnologias que possam aumentar a eficiência e a sustentabilidade do setor. Nesse contexto e de acordo com a análise dos autores previamente citados, eles mencionam que estudos de Hamadani e Ganai (2022), bem como de Lovarelli et al. (2022), apontam para a introdução de tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT), como forma de melhorar a eficiência na produção agropecuária. Baseado em sua investigação, Silva e Espejo

também citam Malafaia et al. (2021), que destacam o potencial da IoT em suprir o aumento da demanda por alimentos e se tornar um dos motores principais de transformação do agronegócio brasileiro até 2040. A utilização da agricultura conectada com IoT para o monitoramento de parâmetros como umidade do solo, temperatura e luminosidade, oferece benefícios significativos, como monitoramento em tempo real, a otimização de recursos e tomada de decisões informadas (Darzi, 2024). Esses avanços resultam em uma gestão mais eficiente, permitindo às organizações prever comportamentos e priorizar ações com base em dados contextuais (Couto, 2019).

Atualmente, muitos pequenos agricultores e cultivadores caseiros enfrentam desafios significativos no acesso a soluções avançadas de monitoramento, o que pode comprometer a qualidade e a produtividade das plantações. Segundo Santos (2025), o monitoramento manual das lavouras, que é comum entre esses produtores, é demorado e impreciso, aumentando o risco de perdas. Além disso, o Agro (2024) destaca que a falta de acesso a tecnologias como a IoT impede que os pequenos agricultores se beneficiem de inovações que poderiam otimizar seus processos e melhorar a gestão de recursos, como água e fertilizantes. Por outro lado, no agronegócio, essa tecnologia tem sido fundamental para otimizar processos, reduzir custos e aumentar a produtividade (Couto, 2019).

Diante desses desafios no acesso à tecnologia de monitoramento, como as soluções de Internet das Coisas (IoT) podem ser adaptadas para beneficiar pequenos agricultores e otimizar a produção agrícola de forma sustentável?

2.2. Descrição do Problema

O problema central abordado neste projeto é justamente a falta de ferramentas acessíveis e eficazes para o monitoramento contínuo e em tempo real das condições ambientais que afetam a qualidade do plantio. A solução proposta envolve a implementação de um sistema IoT, capaz de coletar dados sobre umidade do solo, temperatura e luminosidade, para garantir as condições ideais de cultivo. Com isso, a irrigação pode ser ajustada automaticamente, por meio de pulverizadores conectados, que operam conforme os parâmetros predefinidos por lógica. O objetivo é automatizar esses processos de forma eficiente e acessível, especialmente para

pequenos produtores e cultivadores domésticos. Além disso, o sistema inclui inovações como o controle de opacidade de películas sobre as plantas, ajustando o sombreamento durante períodos de intensa radiação solar. As mangueiras de irrigação, equipadas com pulverizadores, aumentam a eficiência no controle de temperatura e resfriamento, enquanto o sistema monitora e regula a temperatura, combinando o controle da opacidade das películas com a pulverização de água. A iluminação também é controlada pela película, e a umidade do solo é ajustada automaticamente por um sistema de irrigação inteligente. O acesso remoto via celular e o funcionamento com energia solar e baterias garantem autonomia em locais sem acesso a tomadas, tornando a solução não só eficiente, mas também sustentável.

2.3. Impacto

Esse problema afeta diretamente agricultores, pequenos produtores e até cultivadores caseiros, que enfrentam dificuldades devido à falta de acesso a tecnologias avançadas de monitoramento. Como resultado, há desperdício de recursos, como água e fertilizantes, além de uma gestão ineficiente das condições de cultivo. O impacto na sociedade é significativo, pois a melhoria da qualidade do plantio pode contribuir para o aumento da produção de alimentos saudáveis e sustentáveis. No mercado, a adoção de tecnologias IoT pode transformar a forma como os agricultores gerenciam suas plantações, trazendo maior produtividade e eficiência.

2.4. Justificativa

A equipe optou por trabalhar com esse problema devido à sua importância no cenário atual, onde a crescente demanda por alimentos exige soluções mais eficientes e sustentáveis. A FAO (2015), destaca que se o atual ritmo de consumo continuar, será necessário 60% a mais de comida, 50% a mais de energia e 40% a mais de água até 2050. Para atender à demanda dos 9 bilhões de habitantes previstos para essa data, é indispensável aplicar esforços e investimentos na transição para sistemas agrícolas e de gestão de terras sustentáveis. Nesse contexto, o avanço tecnológico tem viabilizado soluções inovadoras, como a Internet das Coisas (IoT), que pode otimizar a produção agrícola.

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento para o controle de variáveis do plantio busca aprimorar a eficiência no uso de recursos, como água e fertilizantes, além de contribuir para a saúde das plantações. Essa solução beneficia tanto grandes quanto pequenos produtores, promovendo uma agricultura mais inteligente e sustentável. A inovação proposta, que inclui controle de opacidade, pulverização de água e integração com energia solar, resolve o problema central de forma eficaz, oferecendo uma solução superior às existentes no mercado, garantindo maior eficiência e autonomia para os usuários. Além disso, a solução acompanha as tendências globais de automação e sustentabilidade na agricultura.

3. Necessidades do Cliente/Usuário e Validação

Devido ao tempo reduzido disponível para a realização da pesquisa de mercado, optamos por aplicar um formulário online utilizando a plataforma Google Forms, contendo 16 questões — sendo parte de múltipla escolha e parte abertas. O objetivo foi averiguar, de maneira prática, as necessidades relacionadas ao projeto proposto, focando nas dores, dificuldades e expectativas dos produtores em relação a soluções de monitoramento agrícola.

A coleta de dados foi realizada ao longo de 6 dias, o que resultou em um total de 9 respostas. Reconhecemos que, para uma pesquisa de mercado mais robusta, o ideal seria um período de aplicação entre 3 a 4 meses, com uma amostragem maior e mais diversificada de produtores. Diante dessa limitação, optamos por complementar a validação das necessidades utilizando referências de artigos científicos e estudos já publicados na área, de forma a reforçar a fundamentação teórica do projeto.

A seguir, serão apresentados os gráficos e a análise das respostas obtidas no formulário, que embasaram a definição das necessidades prioritárias para o desenvolvimento da solução.

Segue o link do formulário realizado (apresenta fechado) e o formulário em si:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf6vE6LXP5WYJLa0i1HFDXPF3oGdlQ-yEvz1LuHfAiSpU9GkQ/viewform?usp=dialog>



Questionário para Validação de Necessidades – Projeto GreenTech Innovators

Este questionário faz parte de um projeto acadêmico que busca desenvolver um sistema de monitoramento agrícola automatizado, acessível e sustentável. Suas respostas são muito importantes para nos ajudar a entender as reais necessidades dos produtores.

analigiavb@gmail.com [Mudar de conta](#)



Não compartilhado

1. Qual é a sua cidade/estado?

Sua resposta _____

2. Que tipo de cultivo você realiza?

- ☐ Frutas
- ☐ Hortaliças
- ☐ Plantas ornamentais
- ☐ Hidroponia
- ☐ Outro: _____

3. Qual o porte da sua produção?

- ☐ Pequeno produtor/horta doméstica
- ☐ Médio produtor
- ☐ Grande produtor

4. Você cultiva em:

- ☐ Estufa
- ☐ Ambiente aberto
- ☐ Ambos

5. Você já utiliza alguma tecnologia no seu cultivo? Se sim, qual?

Sua resposta _____

6. Como você decide quando regar as plantas?

- ☐ Visualmente (quando o solo parece seco)
- ☐ Em horários fixos
- ☐ Com base no clima/previsão
- ☐ Uso sensores/automação
- ☐ Outro: _____

7. Você já enfrentou problemas de produção por causa de: (Marque os que se aplicam)

- ☐ Excesso de água
- ☐ Falta de água
- ☐ Temperaturas muito altas
- ☐ Plantas com doenças
- ☐ Falta de nutrientes
- ☐ pH desregulado
- ☐ Outro: _____

8. Você já perdeu alguma produção por pragas ou doenças que não percebeu a tempo?

- ☐ Sim
- ☐ Não

9. Você costuma medir o pH ou a condutividade elétrica (nutrientes) da água?

- ☐ Sim, com medidor
- ☐ Sim, mas de forma manual/visual
- ☐ Não costumo medir
- ☐ Nem sei o que é isso direito

10. Você teria interesse em usar um sistema que avisasse quando o solo está seco ou o pH está fora do ideal?

- ☐ Sim
- ☐ Talvez
- ☐ Não

11. Você gostaria de ver essas informações em um aplicativo no celular?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Prefiro receber mensagens simples
- ☐ Prefiro algo físico (tipo uma tela no local)

12. Você tem internet ou sinal Wi-Fi no local do cultivo?

- ☐ Sim, estável
- ☐ Sim, mas fraco
- ☐ Não tenho
- ☐ Só uso dados móveis

13. Se pudesse automatizar uma coisa na sua plantação hoje, o que seria?

Sua resposta

14. Que tipo de alerta você gostaria de receber?

- ☐ Quando o solo está seco
- ☐ Quando a planta está com pragas/doença
- ☐ Quando a solução está com pH ou a condutividade elétrica fora do ideal
- ☐ Quando chover
- ☐ Outro: _____

15. Para você, como seria o sistema ideal para facilitar sua produção?

Sua resposta

16. Tem mais alguma sugestão, comentário ou crítica?

Sua resposta

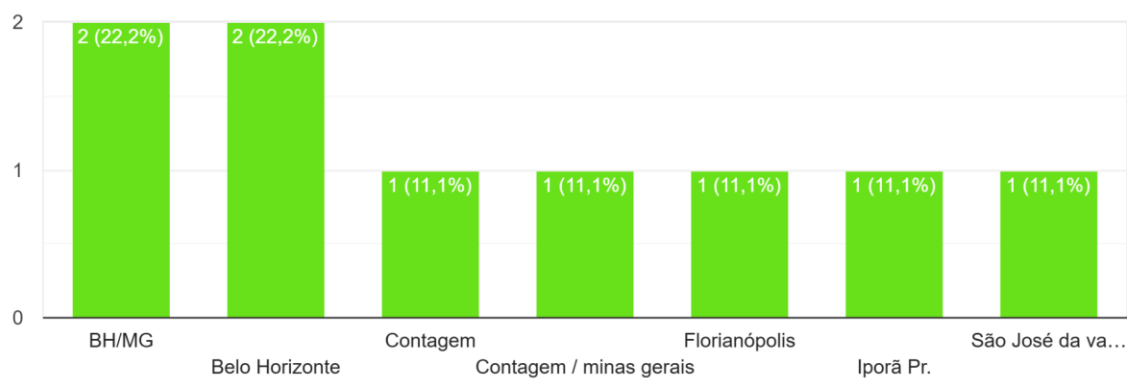
Enviar

[Limpar formulário](#)

A seguir os gráficos obtidos através das respostas do formulário:

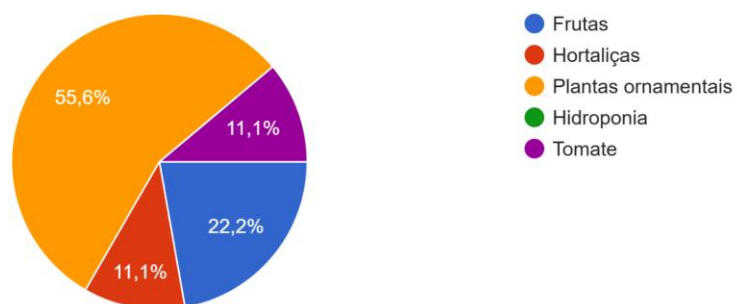
1. Qual é a sua cidade/estado?

9 respostas



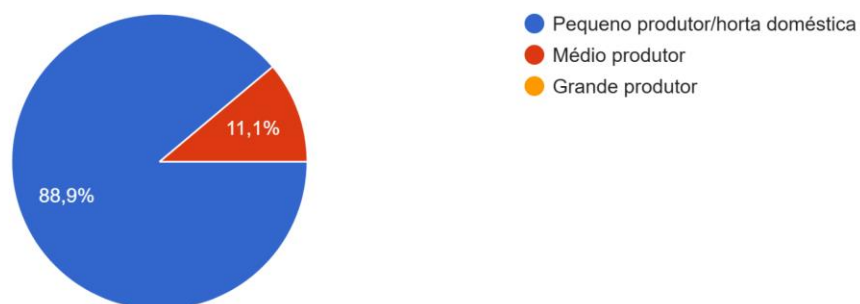
2. Que tipo de cultivo você realiza?

9 respostas



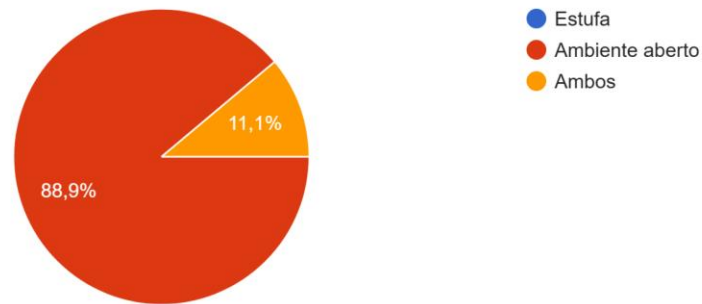
3. Qual o porte da sua produção?

9 respostas



4. Você cultiva em:

9 respostas



5. Você já utiliza alguma tecnologia no seu cultivo? Se sim, qual?

9 respostas

Não

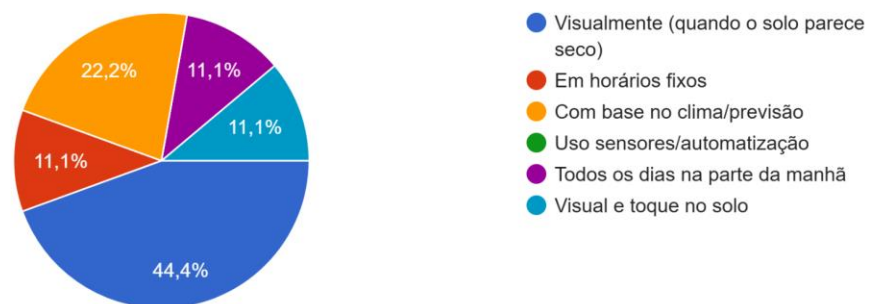
Não. Manual

não

Nao

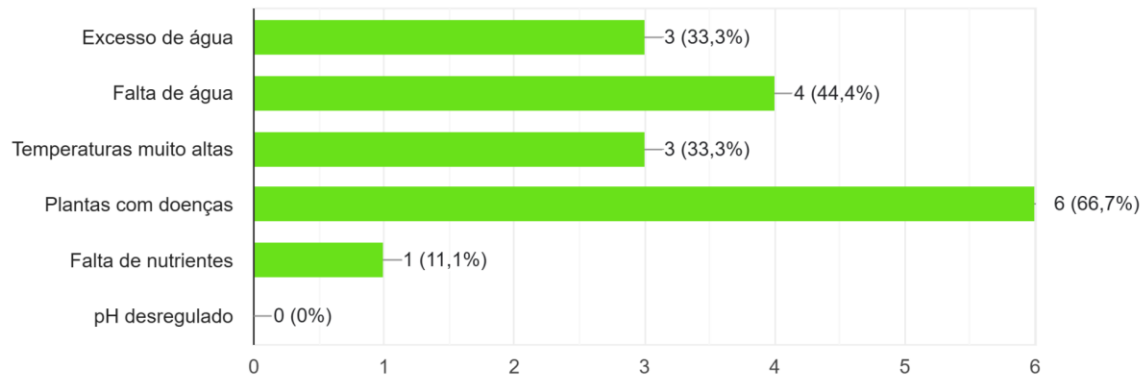
6. Como você decide quando regar as plantas?

9 respostas



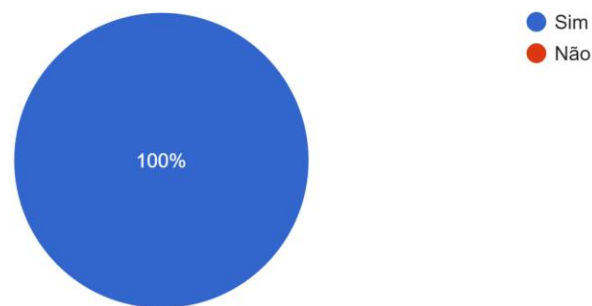
7. Você já enfrentou problemas de produção por causa de: (Marque os que se aplicam)

9 respostas



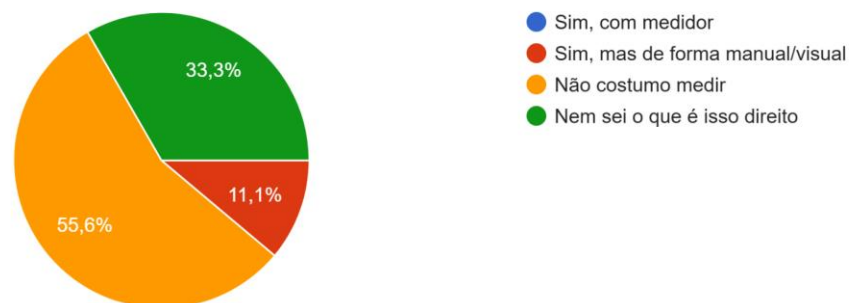
8. Você já perdeu alguma produção por pragas ou doenças que não percebeu a tempo?

9 respostas



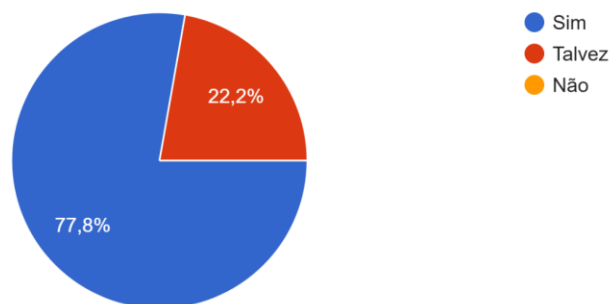
9. Você costuma medir o pH ou a condutividade elétrica (nutrientes) da água?

9 respostas



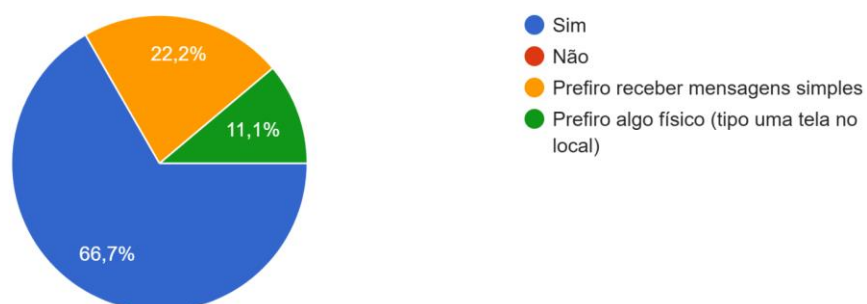
10. Você teria interesse em usar um sistema que avisasse quando o solo está seco ou o pH está fora do ideal?

9 respostas



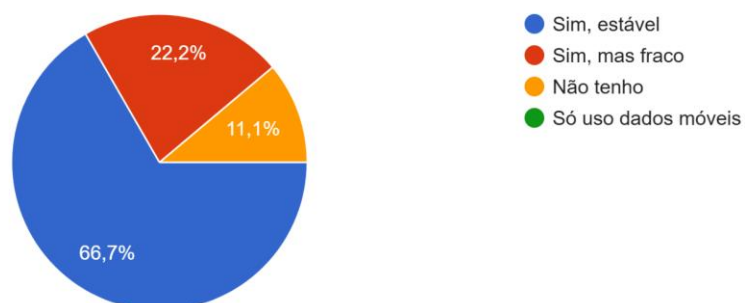
11. Você gostaria de ver essas informações em um aplicativo no celular?

9 respostas



12. Você tem internet ou sinal Wi-Fi no local do cultivo?

9 respostas



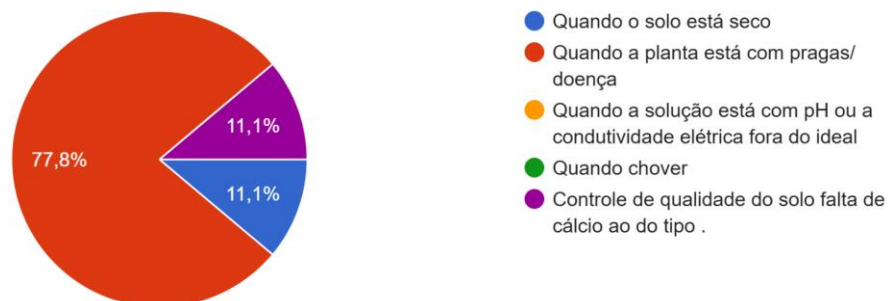
13. Se pudesse automatizar uma coisa na sua plantação hoje, o que seria?

8 respostas

Irrigação
Irrigação das minhas plantas na entrada do sítio
Água
irrigação
Forma de regar
Irrigação e aplicação de vitaminas
Medição em relação a falta de regar com agua

14. Que tipo de alerta você gostaria de receber?

9 respostas



15. Para você, como seria o sistema ideal para facilitar sua produção?

6 respostas

Que ligasse em horário definido todo dia às 7 horas da manhã ou que eu pudesse acionar pelo celular
Instrução
Sistema que controlasse irrigação e pragas
Acompanhamento diário
Um sensor ligado ao app e ligado no sistema de irrigação e aplicação de vitaminas e minerais
Sistema em linguagem de fácil entendimento

16. Tem mais alguma sugestão, comentário ou crítica?

4 respostas

O ideal é que a irrigação fosse associada a uma câmera para acompanhamento

Como cultivar hortaliças em casa

Ter como medir se a raiz esta fraca ou muito molhada e a sugestão de oque jogar na planta . Para controle do problema

Parabéns pela iniciativa em criar aplicativo para favorecer produção agrícola .

Com base nas respostas obtidas através do formulário aplicado a agricultores e produtores, foi possível identificar as principais dores enfrentadas no dia a dia do campo. Apesar do número reduzido de participantes (apenas 8 respostas, em um curto período de 5 dias), os resultados já apontaram tendências relevantes que ajudaram a nortear o desenvolvimento do sistema. Questões como perdas causadas por pragas, dificuldades no controle de irrigação e necessidade de monitoramento de nutrientes se destacaram entre os problemas relatados. A partir desses dados, selecionamos as funcionalidades mais urgentes e com maior impacto direto no manejo agrícola para desenvolver soluções viáveis dentro do escopo do projeto atual, como o controle da irrigação, umidade do solo, condutividade elétrica, temperatura e luminosidade, além de propor melhorias futuras com uso de IA e drones para monitoramento avançado.

3.1. Requisito 1 – Irrigação Eficiente e Automatizada

Problema

identificado:

A maioria dos pequenos produtores ainda decide o momento de irrigar com base em observações visuais ou em horários fixos, o que pode causar tanto desperdício de água quanto estresse hídrico nas plantas. De acordo com os dados coletados em nosso formulário, 57% dos agricultores entrevistados afirmaram que definem o momento da irrigação apenas ao perceber o solo seco visualmente. Além disso, 75% indicaram que, se pudessem automatizar algum processo, escolheriam justamente a irrigação, reforçando a relevância da demanda.

Validação:

- Entrevistas realizadas com 8 produtores revelaram que 50% já enfrentaram perda de produtividade por falta d'água e 37% por excesso.
- Todos os respondentes afirmaram que regam de forma manual, sem sensores ou automação.
- Referência científica: Freitas et al. (2012) destacam que o uso de sensores de umidade no solo reduz perdas e aumenta a eficiência no uso da água.
- O sistema Irrigas (Calbo e Silva, 2005) já demonstra como o monitoramento da umidade do solo auxilia no manejo hídrico de forma mais precisa.
- Nakamura Jr. e Pereira (2023) comprovam a eficácia da tecnologia LoRa para áreas rurais sem internet.
- Karar et al. (2020) apresentaram um sistema inteligente com sensores de vazão e umidade, integrando IoT e redes neurais para controle autônomo de irrigação.

Solução

proposta:

Desenvolver um sistema inteligente com sensores de umidade e vazão integrados ao ESP32, com comunicação via LoRa. O microcontrolador analisa os dados em tempo real e aciona automaticamente uma bomba d'água ou válvula solenoide, conforme a necessidade hídrica detectada. Estuda-se também a implementação de irrigação setorizada e controle de rotação da bomba (RPM) para melhorar a eficiência do sistema. As informações são transmitidas para um dashboard acessível via aplicativo, onde o agricultor pode acompanhar o histórico de irrigações, ajustar parâmetros e receber alertas personalizados.

Diferencial

da

proposta:

A maioria dos sistemas atuais exige conexão constante à internet. Nossa solução permite total funcionamento offline, usando LoRa para comunicação entre a unidade de campo e a base, ideal para propriedades sem infraestrutura de rede. Além disso, ela combina automação e visualização de dados em um só lugar, com a possibilidade de expansão futura.

Monitoramento e Componentes Necessários:

Para garantir uma irrigação eficiente e automatizada, o sistema utiliza sensores de umidade do solo (capacitivo YL-69) e de vazão (YF-S201), conectados a um

microcontrolador ESP32 com módulo LoRa (ex: Ra-02). Os dados são lidos na unidade de campo e analisados localmente pelo microcontrolador.

Quando o nível de umidade estiver abaixo do ideal, o sistema aciona automaticamente uma bomba ou válvula solenoide por meio de um relé, irrigando o solo na medida necessária. O volume de água aplicado é monitorado em tempo real pelo sensor de vazão.

Essas informações são transmitidas via LoRa para a unidade receptora, que pode exibi-las em um display LCD, armazenar em cartão SD ou enviá-las para um servidor, caso haja acesso à internet. O agricultor pode acompanhar os dados remotamente por meio de um dashboard web ou aplicativo.

Componentes utilizados:

- Sensor de Umidade do Solo (capacitivo YL-69);
- Sensor de Vazão (YF-S201);
- ESP32 com módulo LoRa (ex: Ra-02);
- Relé e bomba d'água ou válvula solenoide;
- Display, cartão SD ou servidor para armazenamento;
- Dashboard web/mobile para visualização e alertas.

3.2. Requisito 2 – Monitoramento da Condutividade Elétrica (CE) / TDS na Solução Nutritiva

Problema

identificado:

Na hidroponia, o desequilíbrio na condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva compromete diretamente a absorção de nutrientes pelas plantas, afetando o crescimento e aumentando a vulnerabilidade a doenças radiculares. Como as raízes ficam submersas na solução, qualquer variação excessiva de sais minerais pode provocar desde carência até toxicidade, prejudicando o desenvolvimento das culturas.

Nos dados do formulário aplicado com 8 agricultores, 37,5% relataram medir a CE apenas de forma visual ou manual, enquanto o restante admitiu não fazer esse controle ou sequer conhecer o parâmetro. Além disso, 75% disseram já ter enfrentado problemas de produção por doenças nas plantas, o que pode estar diretamente ligado ao desequilíbrio nutricional. Isso reforça a necessidade de um sistema automatizado

que monitore a CE em tempo real e oriente ou acione ajustes na composição da solução nutritiva.

Validação:

- Na hidroponia, manter a CE entre 1,5 e 3,5 mS/cm é essencial para o metabolismo vegetal ideal (BrasilAgro, 2021).
- A cada 1 °C de aumento na temperatura da solução, a CE também sobe em cerca de 2%, exigindo ajustes frequentes (Kawashima et al., 2020).
- Segundo Almeida et al. (2018), a correção da CE de forma reativa (só após problemas visíveis) pode levar a perdas de até 30% na produtividade em culturas hidropônicas.
- 100% dos entrevistados afirmaram interesse em receber alertas sobre desequilíbrios no solo ou solução, indicando boa aceitação do sistema.
- O estudo de Chen et al. (2019) apresentou um sistema que usa ESP32 e sensores de CE para corrigir automaticamente a solução nutritiva em tempo real, com bons resultados em produtividade.

Solução

proposta:

Desenvolver um sistema inteligente que utilize sensores de CE conectados a um ESP32, capaz de medir a salinidade da solução em tempo real. Os dados serão enviados para um painel de controle onde o agricultor pode acompanhar a evolução dos níveis e receber alertas. Caso a CE esteja fora da faixa ideal, o sistema poderá acionar bombas dosadoras para adicionar nutrientes ou diluir com água automaticamente. O controle pode ser feito localmente ou por meio de comandos recebidos via dashboard, com conectividade Wi-Fi ou LoRa.

Pensando em aprimoramentos futuros, o sistema poderá evoluir para controlar o RPM das bombas dosadoras, ajustando a dosagem com mais precisão conforme a necessidade detectada. Também se considera avançar além da simples leitura dos sensores, incorporando uma lógica de automação inteligente que otimize o uso de recursos e torne o sistema ainda mais eficiente e autônomo.

Diferencial

da

proposta:

Ao contrário de sistemas que apenas mostram os valores da CE, nossa solução permite automação corretiva, com integração direta entre sensor e

acionamento de bombas. O agricultor pode configurar faixas ideais personalizadas para cada fase da cultura, e o sistema ajusta os nutrientes conforme necessidade — reduzindo a intervenção humana e evitando desperdício de insumos.

Monitoramento e Componentes Necessários:

Utilizaremos um sensor de condutividade elétrica (EC) com eletrodo e shield de condicionamento, que fornece dados analógicos para o microcontrolador. Esse sensor possui tensão de operação de 5V, faixa de medição entre 1 e 20 mS/cm, precisão $<\pm 5\%$ FS, e suporte a temperaturas de 5 a 40 °C.

Ele é conectado ao ESP32 (ou Arduino com módulo Wi-Fi), que processa os dados e os envia para um dashboard via Wi-Fi ou LoRa. É uma peça essencial para identificar situações como excesso ou falta de nutrientes na solução, e prevenir problemas relacionados à absorção de nutrientes pelas plantas.

Componentes Utilizados:

- Sensor de Condutividade Elétrica (EC sensor com eletrodo e shield de condicionamento);
- Microcontrolador ESP32 (ou Arduino Uno com módulo Wi-Fi);
- Bombas dosadoras (para nutrientes, água ou soluções de correção de pH);
- Dashboard Web/App para exibição dos dados e alertas;
- Fonte de alimentação 5V.

Fluxo de Funcionamento:

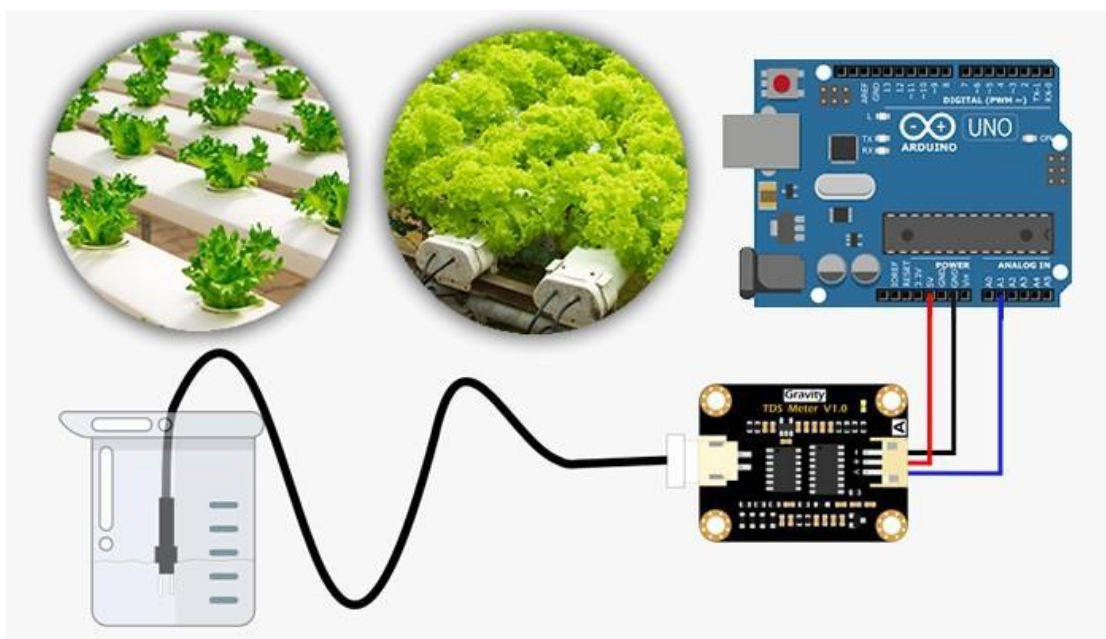
O sensor de CE realiza leituras constantes da solução nutritiva, detectando variações de salinidade que indicam excesso ou deficiência de nutrientes. O microcontrolador ESP32 processa essas informações e as compara com faixas de valores ideais, previamente configuradas.

Se o valor da CE estiver:

- Acima do ideal: o sistema aciona uma bomba dosadora que dilui a solução com água;
- Abaixo do ideal: o sistema ativa uma bomba que adiciona mais nutrientes à solução.

Esses dados também são enviados para um dashboard acessível ao usuário, onde é possível acompanhar os gráficos em tempo real, receber alertas e exportar relatórios para auditoria ou análise de desempenho do sistema.

Sensor CE com ASP32/Arduíno:



3.3. Requisito 3: Monitoramento da Temperatura

Descrição:

A temperatura do ar e do solo desempenham um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas. Esses dois fatores climáticos interagem de maneiras complexas, influenciando processos vitais como a fotossíntese, a respiração e a absorção de nutrientes. Quando as temperaturas estão dentro de uma faixa ideal, as plantas tendem a crescer de forma saudável e vigorosa, aproveitando ao máximo a luz solar e os recursos do solo. Por outro lado, temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem estressar as plantas, afetando seu crescimento e produtividade. Assim, entender essa relação é essencial para otimizar o cultivo e garantir a saúde das plantas em diferentes ambientes.

Método

de

Validação:

Este trabalho foi elaborado com base em uma revisão de literatura, que destaca a importância do controle da temperatura para o bom desempenho das

lavouras. De acordo com a EMBRAPA (2020), a temperatura do solo tem influência direta no crescimento das plantas, sendo ainda mais determinante que a temperatura do ar em alguns cultivos. A Universidade Federal do Acre aponta que o aumento do CO₂ atmosférico causa redução na concentração de nitrogênio foliar, ao passo que a elevação da temperatura aumenta sua assimilação pelas plantas, impactando sua qualidade nutricional. Já a Universidade do Estado da Bahia (2021) destaca que a produção de alface é fortemente afetada por extremos térmicos, com temperatura ideal situada entre 6 °C e 30 °C. Além disso, segundo Carvalho (2021), a temperatura do ar foi o elemento micrometeorológico com maior impacto na produção de serrapilheira no Pantanal mato-grossense, reforçando a necessidade de monitoramento para antecipação de eventos críticos, como queimadas ou colapsos vegetativos.

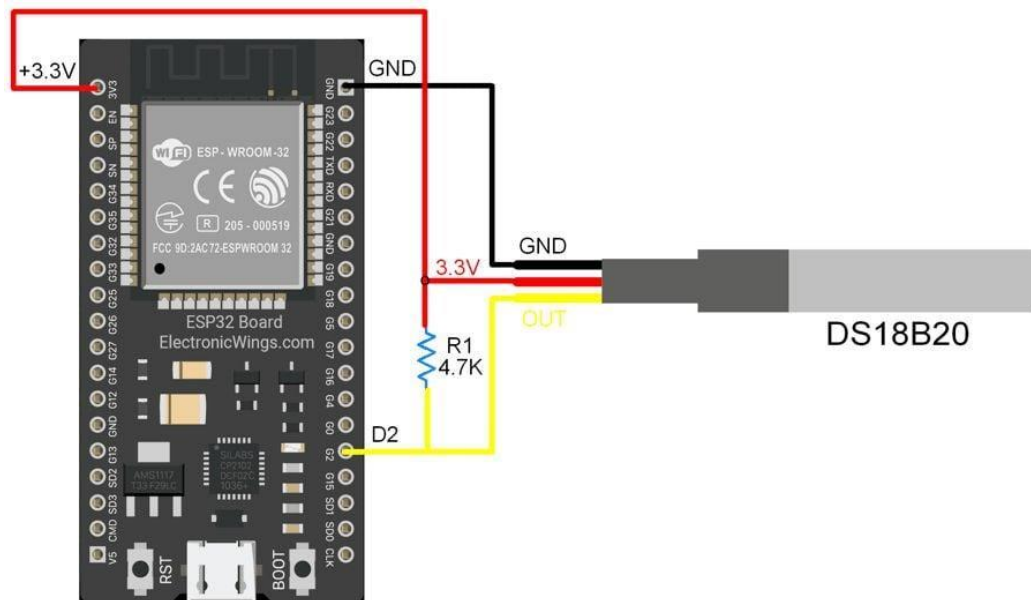
Essas evidências são corroboradas por nossa pesquisa de campo com nove produtores rurais, na qual 66,7% afirmaram já ter enfrentado perdas devido a condições climáticas ou variações de temperatura, e 77,8% demonstraram interesse em receber alertas automáticos, incluindo sobre calor excessivo. Isso demonstra que o sistema proposto responde a uma demanda concreta no campo.

Monitoramento e Componentes Necessários:

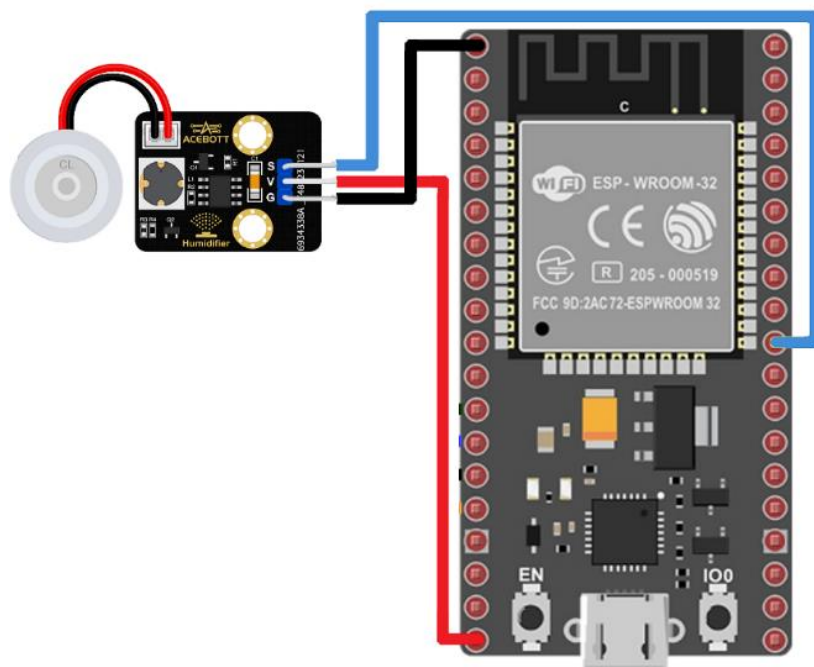
Com base nesses dados, o uso de tecnologias como o nebulizador ultrassônico ACEBOTT, compatível com o ESP32, surge como uma alternativa eficiente para elevar a umidade do ar em ambientes de cultivo expostos a altas temperaturas. Esse nebulizador pode ser acionado automaticamente ou manualmente, conforme a leitura do sensor DS18B20. No entanto, a automação deve considerar os limites aceitáveis para cada tipo de planta, pois umidade excessiva combinada a altas temperaturas pode desencadear doenças fúngicas.

Além disso, com a conectividade oferecida pelo ESP32, é possível monitorar os dados e controlar o sistema remotamente via dashboard, permitindo ajustes precisos mesmo à distância e promovendo um ambiente de cultivo mais saudável e estável.

Abaixo podemos ver o ESP32/Arduino com a conexão do sensor de temperatura:



Em seguida podemos ver o ESP32/Arduino com a conexão da película PCDL:



3.4. Requisito 4: Monitoramento em Tempo Real da Umidade do Solo

Descrição:

O monitoramento contínuo da umidade do solo é essencial para garantir que as plantas recebam a quantidade ideal de água ao longo do seu ciclo de crescimento. Irrigar em excesso pode causar apodrecimento de raízes, aumento de doenças fúngicas e desperdício de recursos, enquanto irrigar em quantidade insuficiente prejudica a absorção de nutrientes e reduz a produtividade. Com um sistema de medição em tempo real, é possível fornecer exatamente o que a planta precisa, no momento certo, promovendo um cultivo mais sustentável, econômico e saudável.

Método

de

Validação:

Segundo o relatório técnico da empresa Tarvos (*“Monitoramento da Umidade do Solo: A Chave para Irrigação Eficiente”*), acompanhar a umidade do solo em tempo real permite que o produtor ajuste a irrigação com base em dados concretos do campo, otimizando o uso de água, reduzindo perdas e promovendo maior produtividade. A pesquisa destaca que a irrigação baseada em sensores é uma ferramenta poderosa para a agricultura moderna, tanto para pequenos hortelões quanto em cultivos maiores.

Além disso, dados coletados em nosso questionário com nove produtores rurais reforçam essa necessidade prática: 55,6% afirmaram já ter enfrentado perdas devido a solo seco ou encharcado, e 77,8% gostariam de receber alertas automáticos quando o solo estiver seco. Esses dados evidenciam que a automação da irrigação com base em sensores de umidade responde a uma dor real do campo, com grande potencial de impacto na eficiência e sustentabilidade do cultivo.

Monitoramento:

Para viabilizar essa automação, é utilizado o sensor de umidade capacitivo YL-69, que mede o nível de umidade diretamente no solo. O sinal é interpretado por um Arduino Uno ou um ESP32, que, conectado a um módulo Wi-Fi (ESP8266), envia os dados para um aplicativo ou dashboard. Isso permite ao usuário acompanhar remotamente o estado do solo em tempo real. O sistema pode ser alimentado por

fonte USB ou bateria, garantindo autonomia e funcionamento contínuo mesmo em locais mais remotos.

Componentes Necessários:

- Sensor de Umidade YL-69 (capacitivo – resistente à corrosão);
- Arduino Uno ou ESP32 (processamento dos dados);
- Módulo Wi-Fi ESP8266 (transmissão para o app);
- Fonte de alimentação (bateria recarregável ou fonte fixa).

3.5. Requisito 5: Controle de Pragas e Detecção de Doenças nas Plantas

Descrição:

O controle eficiente de pragas e doenças nas lavouras é essencial para evitar perdas significativas e reduzir o uso excessivo de defensivos químicos. A detecção tardia dessas ocorrências é uma das principais causas de queda na produtividade agrícola. Inicialmente, nossa proposta envolvia o uso da ESP32-CAM acoplada a armadilhas adesivas, com análise de imagem embarcada e envio via LoRa. No entanto, devido à limitação de tempo e à complexidade técnica da implementação da câmera com inteligência embarcada, optamos por redirecionar essa funcionalidade para um modelo de desenvolvimento futuro com drones.

Estudamos uma abordagem alternativa baseada no uso de drones acoplados a softwares de processamento de imagem e inteligência artificial, que permitirão o monitoramento visual aéreo da plantação e a detecção automática de sinais de infestação ou doenças. A ideia é que, futuramente, esse sistema colete imagens da lavoura e as analise por meio de um banco de dados de referência agrônômica, identificando padrões visuais de anomalias, como coloração alterada, manchas, falhas de plantio e presença de pragas.

Método

de

Validação:

Em nosso questionário aplicado aos produtores rurais, 100% dos respondentes afirmaram já ter enfrentado perdas por pragas ou doenças não detectadas a tempo, e 77,8% disseram que gostariam de receber alertas automatizados sobre esses problemas.

Estudos reforçam a relevância da abordagem proposta. A pesquisa de Fideles et al. (2023) mostra que o uso de drones já é realidade na agricultura de precisão, permitindo o mapeamento de áreas afetadas por pragas, levantamento de falhas de plantio e análise de saúde da vegetação. A Drone Deploy (2022), em estudo com agricultores de mais de 40 países, revelou que 54% pretendem usar drones para identificar pragas, enquanto 67% buscam aumentar a produtividade por meio da tecnologia.

De forma complementar, Freitas e Alvarenga (2019) destacam que softwares acoplados aos drones conseguem diferenciar plantas saudáveis das doentes através da variação de coloração nas imagens captadas. A Agrishow (2021) reforça que a integração entre drone e software permite upload de imagens, geração de mapas, contagem de indivíduos e detecção precisa de doenças, garantindo maior rapidez, economia e precisão na resposta do produtor rural.

Solução

Proposta:

A proposta da equipe é desenvolver futuramente um sistema de monitoramento de pragas com drones autônomos, conectados a uma plataforma inteligente de análise de imagem. Os dados capturados seriam enviados a um banco de dados agrônomo, com uso de modelos de IA treinados para identificar padrões visuais relacionados a pragas ou doenças. O sistema será capaz de emitir alertas personalizados ao agricultor, possibilitando a tomada de decisão mais ágil e localizada.

Diferencial

da

Proposta:

Diferente de soluções genéricas de monitoramento visual, nossa proposta foca em um modelo modular e escalável, com foco inicial em imagens aéreas e visão computacional, e potencial de expansão para uso em outras culturas, integração com sensores ambientais e aplicação precisa de defensivos apenas onde for necessário. Com isso, unimos sustentabilidade, produtividade e acessibilidade.

Componentes necessários que seriam utilizados:

- ESP32-CAM + LoRa RA-02 - Captura imagens + transmite via LoRa
- Armadilha Adesiva - Atrai e captura os insetos
- Nó base (ESP32 + LoRa) - Recebe os dados e exibe/processa

- Cartão SD ou display LCD - Armazena ou exibe os dados
- Microcontrolador com IA - O sistema compara imagens novas com imagens saudáveis anteriores. Pode-se utilizar de modelos simples de machine learning
- Iluminação LED - Para fotos noturnas
- Armadura Protetora - Proteção contra chuva e sol

Como funcionaria o fluxo de funcionamento com LoRa:

1. Instalação da armadilha adesiva próxima às plantas (preferencialmente em locais estratégicos).
 2. ESP32-CAM + Módulo LoRa fica na plantação, monitorando a armadilha adesiva.
 3. Tira uma foto automaticamente (conforme configuração) e conta os pontos escuros (insetos capturados) com algoritmo leve.
 4. Envia apenas o número de insetos detectados via LoRa para o nó base (ESP32 + LoRa receptor). Envia somente os dados e não a imagem.
 5. O nó base pode:
 - Exibir a contagem no display
 - Acionar um alerta sonoro/visual
 - Registrar os dados (SD, planilha, app)
 - Se tiver internet, enviar pra um servidor ou app no celular
 6. Se a quantidade de pontos ultrapassar um limite → alerta ao agricultor.
- Comportamento da planta + aprendizado de máquina (IA leve)

Componentes Planejados para Implementação Futura:

- Drone multirrotor com câmera de alta resolução;
- Software de processamento de imagem com IA leve (TinyML ou similar);
- Banco de dados de imagens e sintomas vegetais;
- Sistema de georreferenciamento;
- Aplicativo ou dashboard para visualização e alerta.

Fluxo de Funcionamento (Futuramente):

1. O drone sobrevoa periodicamente a lavoura captando imagens.
2. As imagens são enviadas para o software de análise e IA.
3. O sistema detecta sinais de infecção, pragas ou estresse vegetal.

4. Um alerta é enviado ao produtor com a localização georreferenciada do problema.

3.6. Requisito 6: Monitoramento do pH na Hidroponia

Descrição:

Na hidroponia, o equilíbrio do pH da solução nutritiva é vital para o crescimento saudável das plantas. Um pH inadequado compromete a absorção de macro e micronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, podendo causar deficiências nutricionais graves mesmo quando os nutrientes estão presentes. Monitorar o pH em tempo real permite ajustes rápidos na solução, otimizando o metabolismo das plantas e prevenindo perdas de produtividade.

Método

de

Validação:

Segundo estudos da Embrapa (2021) e publicações da Associação Brasileira de Hidroponia (ABH, 2020), o pH ideal para a maioria dos cultivos hidropônicos situa-se entre 5,5 e 6,5. Variações acima ou abaixo dessa faixa reduzem a disponibilidade de nutrientes, impactando diretamente o desenvolvimento vegetal. Além disso, a pesquisa *"Monitoramento Inteligente na Agricultura"* (Silva et al., 2022) destaca que 68% dos produtores hidropônicos entrevistados ajustam o pH manualmente, muitas vezes de forma tardia, o que leva a perdas médias de 20% na produtividade em ciclos afetados.

Complementando esses dados secundários, nossa pesquisa de campo com nove produtores rurais identificou que 11,1% já trabalham com hidroponia, e entre todos os respondentes, 88,9% realizam algum tipo de medição de pH ou condutividade elétrica (CE) — sendo 55,6% de forma manual e 33,3% por medidor eletrônico. Além disso, 77,8% demonstraram interesse em receber alertas automatizados sobre desvios de pH, evidenciando a demanda por uma solução mais eficiente e acessível para esse monitoramento.

Solução

Proposta:

Nossa proposta é desenvolver um sistema de monitoramento contínuo de pH utilizando um sensor analógico conectado ao microcontrolador ESP32. As leituras serão interpretadas pelo microcontrolador e enviadas a um dashboard acessível via

Wi-Fi. Com isso, o produtor poderá visualizar o histórico de pH, receber alertas em caso de desvios e tomar decisões de correção de maneira muito mais rápida.

No entanto, após avaliarmos o tempo disponível e o nível de habilidade atual da equipe no desenvolvimento e calibração adequada de sensores de pH, optamos por postergar a implementação dessa funcionalidade para uma próxima fase do projeto. A complexidade técnica, especialmente relacionada à estabilização da leitura em solução nutritiva e ao desgaste do eletrodo, exige testes mais aprofundados que não seriam viáveis no tempo atual da disciplina. Assim como fizemos com a funcionalidade de controle de pragas via drone, priorizamos uma abordagem modular e escalável, que permita futuras expansões com maior segurança técnica.

Em versões futuras, o sistema poderá acionar bombas dosadoras automaticamente para correção da solução nutritiva, de forma totalmente autônoma.

Diferencial da Proposta:

A maioria dos sistemas de monitoramento de pH disponíveis hoje são manuais ou de medição pontual. Nosso diferencial é oferecer um monitoramento automatizado, com alertas em tempo real e possibilidade de integração futura com dosadores automáticos, reduzindo drasticamente a necessidade de intervenção manual e melhorando a produtividade.

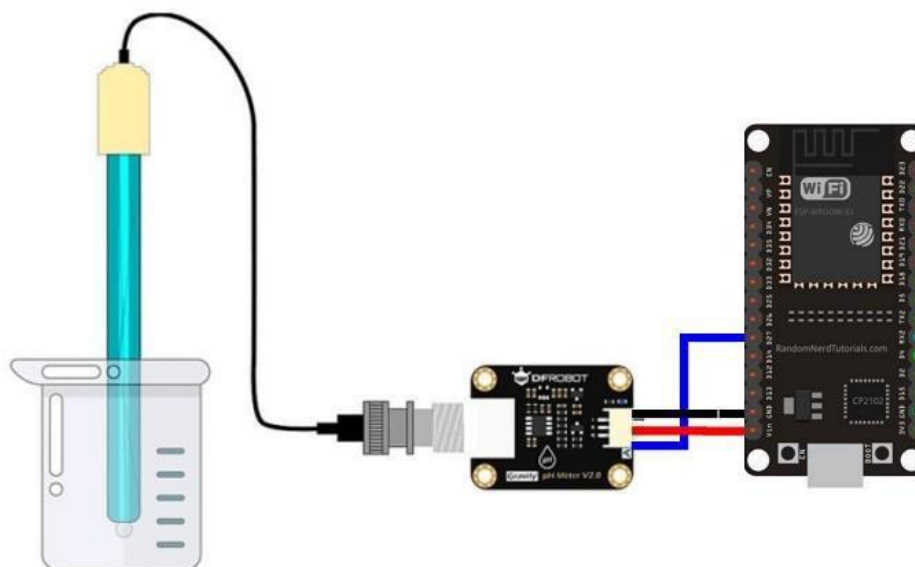
Componentes Utilizados:

- Sensor de pH analógico com eletrodo de vidro e shield de condicionamento de sinal;
- Microcontrolador ESP32 (ou Arduino Uno);
- Display LCD ou integração via Dashboard Web;
- Fonte de alimentação 5V.

Fluxo de Funcionamento:

1. O sensor de pH realiza a leitura da solução nutritiva em tempo real.
2. O sinal analógico é interpretado pelo microcontrolador (ESP32/Arduino).
3. As leituras são exibidas em um display local ou transmitidas via Wi-Fi para um dashboard.
4. Caso o valor de pH saia da faixa ideal, o sistema gera alertas para o usuário realizar ajustes manuais.

Sensor PH com ASP32/Arduíno:



3.7. Requisito 7: Monitoramento da Luminosidade

Descrição:

Como é de conhecimento, as plantas realizam o processo de fotossíntese utilizando a luz solar e o gás carbônico para produzir energia, essencial para o crescimento de folhas, caules e raízes. Inicialmente, a proposta do grupo era utilizar o sensor GY-302 BH1750 para medir a intensidade da luz solar e acionar películas inteligentes PCDL para reduzir automaticamente a incidência de radiação sobre as plantas, controlando a opacidade por meio de um microcontrolador ESP32.

No entanto, durante o desenvolvimento do projeto, percebemos que essa solução, apesar de conceitualmente interessante, apresenta limitações técnicas e de viabilidade prática, especialmente no contexto de plantios a céu aberto. A depender da estrutura física do ambiente e da cultura utilizada, o uso de películas com controle de translucidez se torna difícil de implementar sem uma estufa ou cobertura adequada. Por isso, estamos reavaliando essa funcionalidade e considerando seu uso em sistemas de cultivo indoor ou em estufas no futuro, onde o controle da luminosidade pode ser melhor aproveitado.

Método

de

Validação:

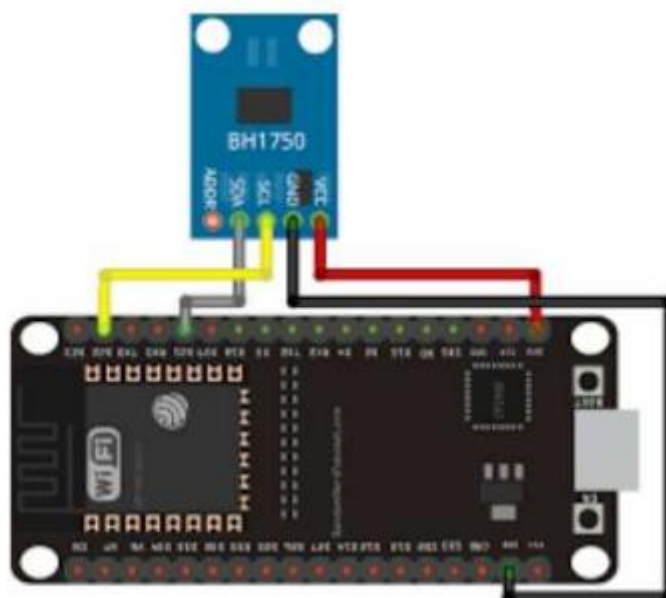
A influência da luminosidade no desenvolvimento das plantas foi validada por

meio de pesquisas bibliográficas. Segundo Silva (2023), os dados fenológicos mostram que a quantidade de luz disponível interfere diretamente no tempo necessário para ocorrência das fenofases. Em condição de pleno sol, por exemplo, a frutificação foi antecipada em 28 dias, indicando que a planta precisou redirecionar energia para outras funções fisiológicas, como a fotorrespiração.

De acordo com Gazolla-Neto (2013), a radiação solar excessiva pode prejudicar o crescimento das plantas, aumentando a taxa respiratória e reduzindo a fotossíntese líquida. Já Cordeiro (2009) observou que plantas de curauá cultivadas sob sombreamento apresentaram melhor aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), resultando em maior crescimento foliar.

Além disso, em nosso questionário aplicado a nove produtores, 33,3% relataram já ter enfrentado problemas com excesso de sol ou queimadura nas folhas, e 55,6% disseram que monitoram a luminosidade de forma empírica, sem nenhum sensor. Ainda, 66,7% demonstraram interesse em receber alertas automáticos, incluindo sobre exposição solar inadequada. Esses dados reforçam a relevância da funcionalidade proposta, especialmente em ambientes controlados como cultivos indoor, onde a aplicação de sensores e controle artificial da luz pode ter maior impacto.

Abaixo podemos ver o ESP32/Arduino com a conexão do sensor de luminosidade:



3.8. Requisito 8: Monitoramento da Chuva

Descrição:

Inicialmente, cogitamos implementar um sensor de chuva como parte do sistema, com o objetivo de evitar o acionamento automático da irrigação em dias de precipitação. O sensor FC-37, conectado a um Arduino Nano e a um módulo Bluetooth HC-05, permitiria detectar a presença de gotas de chuva e enviar essa informação a um dashboard ou aplicativo próximo. Isso contribuiria para reduzir o desperdício de água e otimizar a irrigação.

Porém, após analisarmos os resultados do nosso questionário com nove produtores rurais e as demais funcionalidades do sistema, percebemos que essa necessidade não foi mencionada de forma significativa nas respostas. Nenhum dos participantes citou o controle de chuva como uma prioridade, e a maioria já ajusta a irrigação manualmente quando nota chuva, o que demonstra um manejo empírico natural e eficaz nesse aspecto.

Além disso, como o sistema já possui sensores de umidade do solo e de vazão, vimos que o uso do sensor de chuva se tornaria redundante e poderia aumentar a complexidade sem agregar um ganho funcional proporcional. Com base nisso, decidimos não incluir essa funcionalidade na versão atual do projeto, mas mantê-la como uma possibilidade para futuras versões, caso o sistema seja implementado em regiões onde a precipitação seja mais imprevisível ou onde o produtor deseje automação total.

Método

de

Validação:

A literatura técnica destaca que o monitoramento da chuva é útil para otimizar a irrigação. Dados de precipitação ajudam a evitar irrigação desnecessária, resultando em economia de água e energia. No entanto, nossa pesquisa prática com os produtores mostrou que essa funcionalidade não é uma prioridade atual, o que nos levou a focar em sensores com maior impacto direto e validado nas rotinas do campo.

Monitoramento e componentes inicialmente propostos:

1. Sensor de Chuva – FC-37: Detecta gotas de chuva em superfícies externas.
2. Arduino Nano: Processa os dados do sensor de forma compacta.

3. Módulo Bluetooth HC-05: Transmite os dados para um app local, dispensando Wi-Fi.
4. Fonte de Alimentação: Garante o funcionamento do sistema.

4. Diagrama da Solução Proposta

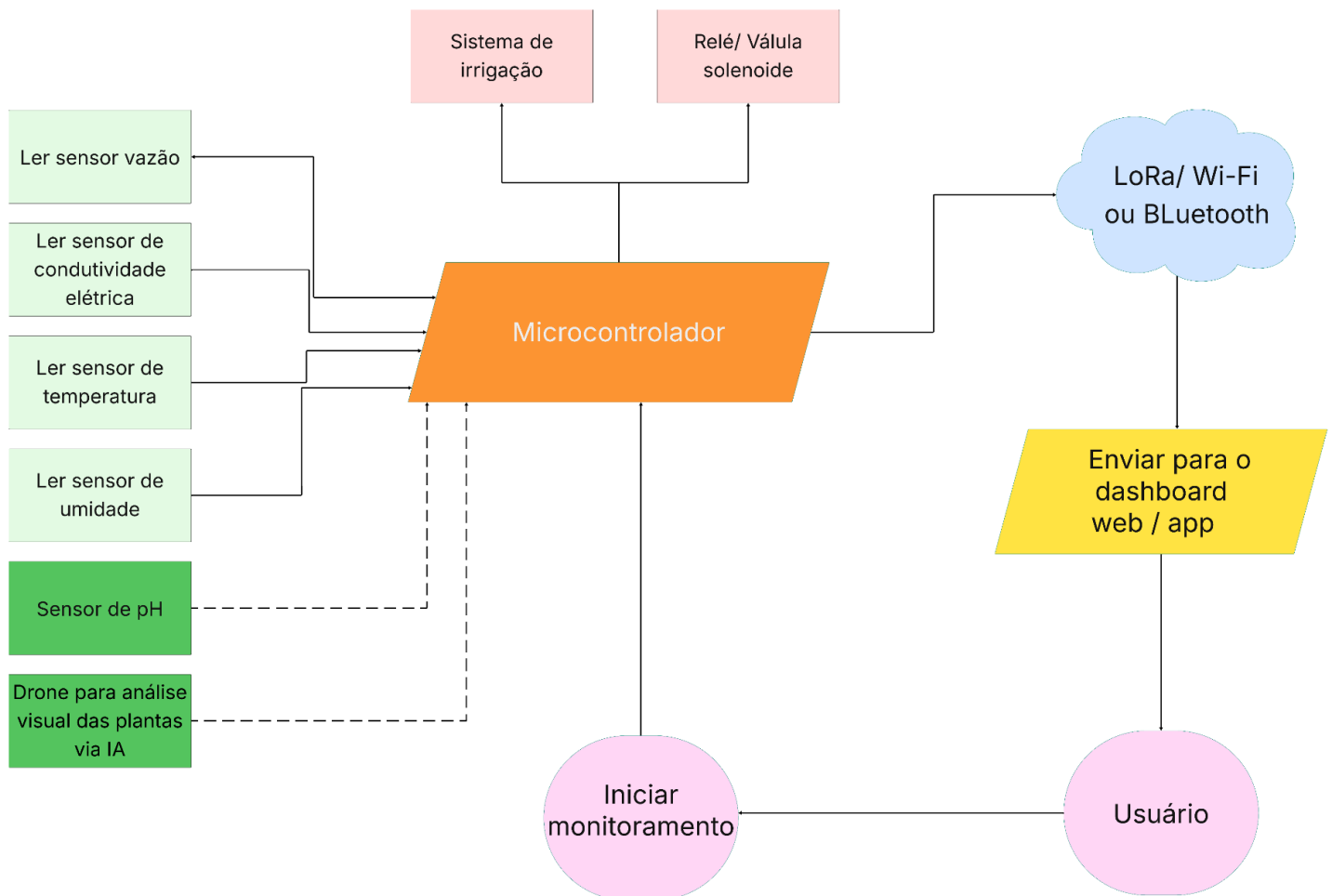
O sistema desenvolvido tem como objetivo o monitoramento inteligente de variáveis ambientais para otimização do cultivo agrícola, especialmente voltado a pequenos produtores e hortas domésticas. A arquitetura adotada é modular, permitindo a expansão de funcionalidades conforme a necessidade do usuário. A comunicação entre os módulos é feita via LoRa e Wi-Fi, garantindo cobertura em regiões com e sem acesso à internet. A plataforma permite monitorar, registrar e, futuramente, automatizar decisões de manejo com base em dados coletados por sensores instalados no campo.

A solução é composta por sensores fixos de umidade do solo, temperatura ambiente, vazão da água e condutividade elétrica (EC), conectados a um microcontrolador ESP32 com suporte a LoRa. Esse módulo coleta e processa os dados localmente, podendo acionar atuadores como bomba de irrigação, válvula solenoide ou nebulizador ultrassônico, dependendo da leitura realizada. Os dados são transmitidos via LoRa ou Wi-Fi até uma unidade receptora, que pode exibi-los em um display ou enviá-los a um dashboard web ou mobile, possibilitando a visualização remota em tempo real.

Além disso, sensores planejados para implementação futura incluem o medidor de pH e o uso de drones com câmeras acopladas para mapeamento visual das lavouras e identificação de pragas ou doenças. A ideia é que esses drones capturem imagens georreferenciadas, enviando-as para um software com banco de dados e algoritmos de aprendizado de máquina para realizar análises automatizadas.

Inicialmente, pretendíamos realizar as simulações do projeto no Proteus, devido à sua robustez e maior precisão para testes com circuitos eletrônicos. No entanto, como não conseguimos acesso à versão mais recente (8.17), optamos por utilizar o Wokwi, uma plataforma gratuita que se mostrou uma alternativa viável. Apesar de algumas limitações, o Wokwi permitiu simular o funcionamento do ESP32 com sensores diversos, contribuindo para o desenvolvimento da lógica do sistema.

O diagrama abaixo ilustra a arquitetura geral do sistema:



Legenda do diagrama

- **Sensores (Implementados):** Leitura ativa no sistema atual
- **Sensores (Que serão implementados):** Funcionalidades previstas para próximas fases
- **Microcontrolador:** Unidade central que processa os dados e aciona os atuadores (ESP32/Arduino Uno ou Nano)
- **Atuadores:** Equipamentos físicos que executam comandos
- **Comunicação:** Canal de transmissão dos dados entre o microcontrolador e o dashboard
- **Dashboard Web/App:** Interface de visualização e controle acessada pelo usuário
- **Usuário / Início de Monitoramento:** Atores responsáveis por iniciar o sistema e interagir com os dados
- **Setas**
 - Linha contínua:** fluxo ativo atual
 - Linha tracejada:** fluxo planejado para o futuro

4.1. Descrição e Diagramação da Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema proposto foi pensada de forma modular e escalável, permitindo integração entre diversos sensores, microcontroladores e canais de comunicação. O projeto é baseado na plataforma ESP32, escolhida por sua compatibilidade com múltiplos sensores e capacidade de conectividade via Wi-Fi, Bluetooth e LoRa.

A arquitetura se divide em três camadas principais: camada de sensoriamento, camada de processamento e comunicação, e camada de interface com o usuário.

Na camada de sensoriamento, estão conectados os sensores de umidade do solo (YL-69), temperatura (DS18B20), condutividade elétrica (EC Sensor), vazão (YF-S201) e luminosidade (BH1750), responsáveis por capturar variáveis ambientais em tempo real. Estes sensores são alimentados por fonte de 5V e enviam sinais para o microcontrolador.

A camada de processamento e comunicação é composta pelo microcontrolador ESP32, que interpreta os dados recebidos dos sensores, executa a lógica de controle (como acionamento de bombas e nebulizadores) e envia os dados para o usuário. A transmissão é feita de forma híbrida, utilizando LoRa para comunicação em longa distância com baixo consumo energético, especialmente útil em áreas rurais, e Wi-Fi/Bluetooth, quando disponível, para comunicação com dashboards e aplicativos locais.

A camada de interface com o usuário inclui um dashboard web ou mobile, onde os dados são visualizados em tempo real. O dashboard recebe as leituras por meio de comunicação LoRa via gateway ou diretamente por Wi-Fi, permitindo que o usuário acompanhe os valores, visualize alertas automáticos e gere relatórios de histórico.

Além disso, a arquitetura prevê expansões futuras, como:

- Integração com banco de dados online para armazenamento de longo prazo;
- Sistema de IA embarcada para análise preditiva e tomada de decisão automatizada;
- Utilização de drones para captura de imagens e mapeamento da lavoura, com reconhecimento de padrões visuais de pragas e doenças via visão computacional.

Essa divisão modular permite que o sistema seja implantado por etapas, de acordo com os recursos e a realidade de cada produtor, promovendo acessibilidade, personalização e sustentabilidade na aplicação.

Apresento o código que foi desenvolvido no primeiro momento pensando no uso domiciliar, onde será considerado a automação de uma cobertura retrátil, para diminuir a incidência solar, conforme valores de temperatura e também uma automação de irrigação com acionamento de um relé, quando o valor de umidade estiver abaixo de 25%. Consideramos que quando o agricultor estiver in loco poderá clicar no botão direto do protótipo para ativar a irrigação.

```
1...print("=====\n")
2...print("Programa: Controle para plantio IoT V1")
3...print("Data: 01/05/2025")
4...print("Criado por: GreenTech Innovators")
5...print("\n=====\n")
6...
7...# IMPORTACAO DE BIBLIOTECAS
8...from machine import Pin, ADC, PWM, I2C
9...import time
10...import dht
11...import OLED_LIB
12...
13...# DEFINICAO DE PINOS
14...sensor_umidade_solo = ADC(Pin(12))
15...sensor_umidade_solo.atten(ADC.ATTN_11DB)
16...
17...sensor_temperatura = ADC(Pin(34))
18...sensor_temperatura.atten(ADC.ATTN_11DB)
19...
20...sensor_dht22 = dht.DHT22(Pin(13))
21...i2c = I2C(scl=Pin(23), sda=Pin(22))
22...oled = OLED_LIB.SSD1306_I2C(128, 64, i2c)
23...
24...servo_agua = PWM(Pin(25), freq=50) #AZUL
25...servo_tela = PWM(Pin(32), freq=50) #VERMELHO
26...
27...rele = Pin(2, Pin.OUT)
28...
29...leds = {
30...|     "azul": Pin(19, Pin.OUT),
31...|     "verde": Pin(27, Pin.OUT),
32...|     "amarelo": Pin(26, Pin.OUT),
33...|     "vermelho": Pin(4, Pin.OUT)
```



```

34...}
35...
36...buzzer = PWM(Pin(14, Pin.OUT))
37...botao = Pin(33, Pin.IN, Pin.PULL_UP)
38...

39...# FUNCAO PARA O SERVO DA AGUA
40...def ajustar_servo_agua(angulo):
41... |    tempo_pulso_ms = 0.5 + (angulo / 180.0) * 2.0
42... |    duty = int((tempo_pulso_ms / 20.0) * 1023)
43... |    servo_agua.duty(duty)
44...
45...# FUNCAO PARA O SERVO DA TELA DE SOMBREAMENTO
46...def ajustar_servo_tela(angulo):
47... |    tempo_pulso_ms = 0.5 + (angulo / 180.0) * 2.0
48... |    duty = int((tempo_pulso_ms / 20.0) * 1023)
49... |    servo_tela.duty(duty)
50...
51... # DESLIGAR TODOS OS LEDS
52...def desligar_leds():
53... |    for led in leds.values():
54... |        led.off()
55...
56...# FUNCAO DE ACIONAMENTO MANUAL (BOTAO)
57...def comportamento_botao():
58... |    if nivel_umidade < 75:
59... |        |    oled.fill_rect(0, 30, 128, 34, 0)
60... |        |    oled.text("Accionam.Manual", 0, 30)
61... |        |    oled.text("Irrigando...", 25, 40)
62... |        |    oled.text("Aguarde.", 35, 50)
63... |        |    oled.show()
64... |        |
65... |        |    ajustar_servo_agua(90)
66... |        |    rele.on()
67... |        |    for i in range(3):
68... |        |        |    buzzer.freq(600)
69... |        |        |    buzzer.duty(70)
70... |        |        |    time.sleep(0.5)
71... |        |        |    buzzer.duty(0)
72... |        |        |    time.sleep(0.5)
73... |        |
74... |        |    for i in range(3):

```

```

75... | |         leds["vermelho"].on()
76... | |         time.sleep(0.5)
77... | |         leds["vermelho"].off()
78... | |         time.sleep(0.5)
79... | |         leds["vermelho"].on()
80... | else:
81... | |     for i in range(2):
82... | |         leds["verde"].on()
83... | |         time.sleep(0.5)
84... | |         leds["verde"].off()
85... | |         time.sleep(0.5)
86... | |         leds["azul"].on()
87... | |         time.sleep(0.5)
88... | |         leds["azul"].off()
89... | |         time.sleep(0.5)
90...
91...
92...# CONTROLE DA TELA DE SOMBREAMENTO PELO DHT22
93...def controlar_tela(temperatura):
94... | if temperatura < 30:
95... | |     ajustar_servo_tela(0)
96... | elif temperatura < 40:
97... | |     ajustar_servo_tela(90)
98... | else:
99... | |     ajustar_servo_tela(180)
100...
101...# PROGRAMA PRINCIPAL
102...while True:
103... |     buzzer.duty(0)
104... |     nivel_umidade = sensor_umidade_solo.read() / 4095 * 100
105... |     temperatura_real = (sensor_temperatura.read() / 4095) * 50
106... |     temperatura = temperatura_real
107... |     sensor_dht22.measure()
108... |
109... |     oled.fill(0)
110... |     oled.text("Umidade: {:.1f}%".format(nivel_umidade), 0, 0)
111... |     oled.text("Temperat.: {:.1f}C".format(temperatura), 0, 10)
112... |
113... |     controlar_tela(temperatura)
114... |
115... |     if botao.value() == 0:
116... |         comportamento_botao()
117... |     else:

```

```

118... | | oled.fill_rect(0, 30, 128, 34, 0)
119... | | desligar_leds()
120... | |
121... | | if nivel_umidade > 75:
122... | | | leds["azul"].on()
123... | | | ajustar_servo_agua(0)
124... | | | rele.off()
125... | | | oled.text("Solo muito umido", 0, 30)
126... | | | oled.text("Irrigacao", 25, 40)
127... | | | oled.text("nao necessaria", 0, 50)
128... | | |
129... | | elif nivel_umidade > 50:
130... | | | leds["verde"].on()
131... | | | ajustar_servo_agua(0)
132... | | | rele.off()
133... | | | oled.text("Umidade ideal", 10, 40)
134... | | | oled.text("Nenhuma acao", 10, 50)
135... | | |
136... | | elif nivel_umidade > 25:
137... | | | leds["amarelo"].on()
138... | | | ajustar_servo_agua(90)
139... | | | rele.on()
140... | | | oled.text("Solo pouco umido", 0, 30)
141... | | | oled.text("Irrigando...", 25, 40)
142... | | | oled.text("Aguarde.", 35, 50)
143... | | |
144... | | else:
145... | | | leds["vermelho"].on()
146... | | | ajustar_servo_agua(180)
147... | | | rele.on()
148... | | | oled.text("Solo muito seco", 5, 30)
149... | | | oled.text("Irrigando...", 25, 40)
150... | | |
151... | | | for i in range(3):
152... | | | | buzzer.freq(100)
153... | | | | buzzer.duty(70)
154... | | | | time.sleep(0.5)
155... | | | | buzzer.duty(0)
156... | | | | time.sleep(0.5)
157... | | |
158... | | | oled.text("Aguarde.", 35, 50)
159... |
160... |

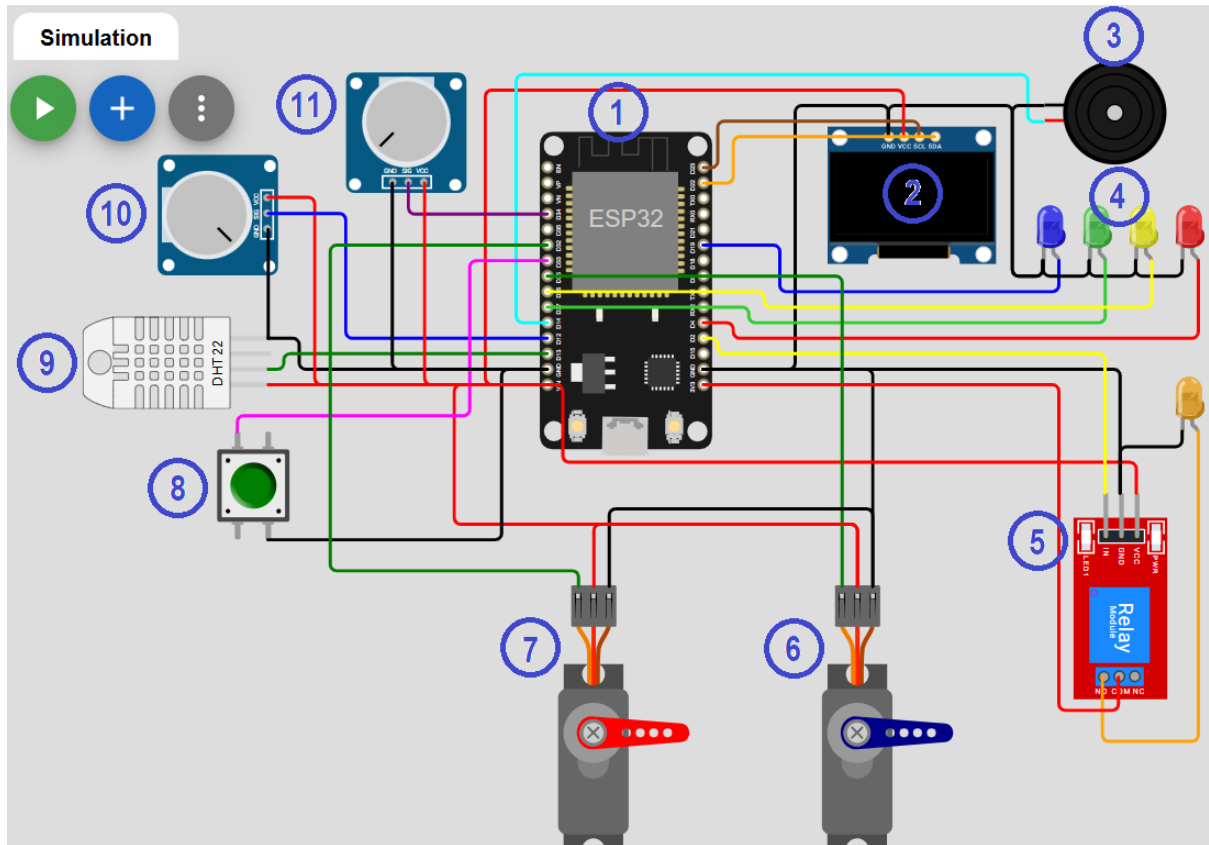
```

```

161... | oled.show()
162... | time.sleep(1)

```

Em seguida temos o retrato da simulação, no qual está enumerado os componentes:



- 1- Microcontrolador ESP32 30Pinos
- 2- Display Oled ssd1306
- 3- Buzzer
- 4- Conjunto de Leds (Azul, Verde, Amarelo, Vermelho) indicador do nível de umidade.
- 5- Relé de acionamento com Led (Laranja) indicador
- 6- Servo motor de acionamento do sistema de irrigação
- 7- Servo motor de acionamento do sistema de cobertura retrátil
- 8- Botão de acionamento manual do sistema de irrigação
- 9- Sensor de Umidade/Temperatura modelo DT22
- 10- Potenciômetro de ajuste de valores correspondente a umidade
- 11- Potenciômetro de ajuste de valores correspondente a temperatura

Segue abaixo uma breve descrição como funciona:

Os valores de umidade em percentual são informados pelo display e ao girar o potenciômetro (10) altera o mesmo, conforme o valor lido pelo código, entra uma condicional que irão fazer as seguintes ações:

- Quando o valor de umidade for menor que 25%, é disparado um aviso sonoro e também o acionamento do relé/ativado o máximo de potência para irrigar a plantação, com a representação do gira da alavanca (azul) do servo motor na direção esquerda. Observem que apenas o led vermelho ficará aceso e haverá a mensagem no display de solo muito seco, irrigando..., aguarde.
- Quando o valor de umidade estiver entre o range de 25% e menor do 50%, será feito o acionamento do sistema de irrigação com a metade da potência, com acionamento do relé e o servo morto ficará indicado com a alavanca (azul) para baixo. Observem que apenas o led amarelo ficará aceso e haverá a mensagem no display de solo pouco úmido, irrigando..., aguarde.

Logo se o valor de umidade estiver entre o range de 50% e menor que 75%, é desligado o sistema de irrigação e acionamento do relé, o servo motor posicionará a alavanca (azul) para esquerda e teremos apenas o led verde aceso e a seguinte mensagem no display, umidade ideal, nenhuma ação.

Por fim se o valor de umidade for maior que 75%, é mantido o desligamento do sistema de irrigação e acionamento do relé, o servo motor continua com a alavanca (azul) para esquerda e ficará aceso apenas o led azul com a mensagem solo muito úmido, irrigação não necessária no display.

Outra função que temos é permitido quando ativado o botão e o valor de umidade estiver abaixo de 75%, será ligado o sistema de irrigação com a metade da potência e acionamento do relé, com giro da alavanca (azul) na posição para baixo, será escutado um alerta sonoro com a visualização do piscar do led vermelho e informado a mensagem no Display que acionamento manual, irrigando..., aguarde. Em seguida volta a condicional descrita acima.

Porém se ao ativar o botão e o valor de umidade estiver acima de 75%, é visualizado pela alternância de piscar entre o led azul e verde e não será permitido acionar o sistema de irrigação.

Referente ao outro potenciômetro de controle de temperatura, temos a seguinte condicional, caso a temperatura esteja acima de 40 graus, será acionado o servo motor para que a cobertura retrátil feche completamente e inibe a passagem de

raios solares e visualizarmos a alavanca (vermelha) posicionando na direção esquerda.

Já se o valor de temperatura for entre o range menor que 40 graus até 30 graus, será acionado o servo motor para que a cobertura retrátil percorra a metade do trajeto, fazendo sombra parcialmente na área da plantação e temos a representação da alavanca (vermelha) na posição para baixo.

Enfim, na situação que o valor de temperatura seja menor que 30 Graus, o servo motor posiciona a alavanca (Vermelha) para direção direita e temos a ação que a cobertura retrátil está recolhida permitindo toda incidência solar na plantação.

4.2. Tecnologias Utilizadas

Neste momento, estamos pesquisando as melhores formas de comunicação do microcontrolador ESP32 com a rede de internet e, dentro deste contexto, tomamos conhecimento da tecnologia LoRa. Esse recurso, ao ser implementado, permitirá a transmissão de dados a longas distâncias (até 10–15 km em áreas abertas), com baixo consumo de energia, o que o torna altamente viável para aplicações em áreas remotas ou de difícil acesso. Além disso, sua operação em frequências sub-GHz e a alta imunidade a interferências garantem uma comunicação mais estável e confiável, mesmo em ambientes com baixa infraestrutura de rede convencional, muito comum em aplicações agrícolas e ambientais, onde a conectividade tradicional (como Wi-Fi ou 4G) é limitada ou inexistente..

Dessa forma, a utilização do LoRa possibilita não apenas o envio eficiente de dados coletados por sensores — como umidade do solo e temperatura — para um servidor remoto, mas também o recebimento de comandos de controle para o microcontrolador. Isso permite a automação remota de sistemas, como a irrigação, tornando o projeto mais inteligente, responsivo e energeticamente eficiente.

5. Prototipação

Para representar a interface visual da solução proposta, foi desenvolvido um protótipo no Figma, simulando a experiência do usuário com o sistema de

monitoramento agrícola. A proposta foca na simplicidade, acessibilidade e usabilidade, considerando as necessidades de pequenos produtores e hortelões.

O protótipo apresenta um dashboard responsivo, com painéis de visualização em tempo real das principais variáveis monitoradas, como umidade do solo, temperatura, condutividade elétrica (CE), pH e histórico de irrigações. Também há seções específicas para alertas automáticos, relatórios gráficos e configurações de sensores.

A interface foi criada com foco em clareza e praticidade, priorizando cores contrastantes e uma hierarquia de informações que facilite a leitura em ambientes de campo.

O protótipo está disponível no link abaixo:

<https://www.figma.com/design/szJlERodIDZGzaliM0FIG/GreenTech-Innovators?node-id=6-167&t=1nhemmJWEBZ4KUUV-1>

Segue a imagem do protótipo pela plataforma figma

6. Implementação e Código-Fonte

Segue o link do repositório GitHub:
<https://github.com/GreenTech-Innovators25>

7. Conclusão e Próximos Passos

O projeto desenvolvido teve como objetivo criar uma solução tecnológica acessível para o monitoramento de variáveis agrícolas, com foco especial em pequenos produtores e cultivos domésticos. Com base nos dados coletados por sensores de umidade, temperatura, vazão e condutividade elétrica, conseguimos elaborar um sistema automatizado que otimiza o uso da água e melhora a gestão dos nutrientes no solo e na solução hidropônica.

Mesmo com o tempo limitado e recursos restritos, alcançamos resultados significativos: estruturamos a arquitetura do sistema, integramos diferentes sensores com o microcontrolador ESP32 e projetamos uma interface (protótipo) funcional para visualização dos dados via dashboard. Além disso, realizamos validação inicial por meio de um questionário aplicado a produtores reais, que reforçou a relevância e aplicabilidade das funcionalidades propostas.

Durante o desenvolvimento, enfrentamos algumas dificuldades técnicas, como a limitação de simulação com o Proteus, o que nos levou a utilizar o Wokwi como plataforma alternativa. Também surgiram desafios no domínio de sensores mais complexos, como o de pH, e na implementação de sistemas baseados em imagens, o que nos levou a adiar a integração da ESP32-CAM e optar por uma abordagem futura com uso de drones acoplados a inteligência artificial e banco de dados para diagnóstico visual de pragas e doenças. Além disso, ao analisarmos o formulário e o escopo geral do sistema, concluímos que o sensor de chuva seria redundante frente ao controle de umidade do solo já proposto — por isso, optamos por não implementá-lo neste momento. Quanto ao controle de luminosidade com películas inteligentes, percebemos limitações técnicas e de viabilidade para o cultivo em campo aberto, mas cogitamos futuramente aprofundar essa frente para ambientes indoor ou estufas agrícolas, onde o controle da luz possa ser mais eficaz e justificável.

Como aprendizados principais, destacamos a importância da validação com o público-alvo, a necessidade de modularidade no sistema para facilitar futuras expansões, e o valor de combinar conhecimento técnico com uma escuta ativa das necessidades reais dos produtores.

Para as próximas Unidades Curriculares (UCs) de Projeto Aplicado, temos como meta:

- Aprimorar a coleta de dados com banco de dados relacional e dashboards mais interativos;
- Explorar machine learning para detecção precoce de pragas com imagens coletadas via drones;
- Automatizar a dosagem de nutrientes e correção de pH com bombas controladas via software;
- Validar em campo o sistema completo, com testes reais em plantações e hortas urbanas;
- Desenvolver versões do sistema com energia solar para maior autonomia.

Nosso trabalho representa um primeiro passo sólido rumo a uma agricultura mais inteligente, sustentável e inclusiva, conectando tecnologia à realidade do campo de forma prática, acessível e impactante.

8. Link GitHub

<https://github.com/GreenTech-Innovators25>

9. Referências Bibliográficas

- **ALDHAHERI, L.; ALSHEHHI, N.; ILYAS, I.; KHALIL, R. A.; JAVAID, S.; SAEED, N.; ALOUINI, M.-S.** LoRa communication for Agriculture 4.0: opportunities, challenges, and future directions. 2024. Preprint (Trabalho

científico) – arXiv. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2409.11200>. Acesso em: 10 abr. 2025.

- **AGRISHOW.** *Drones + software: aliados contra doenças e pragas na soja.* Futurecom Digital, 23 abr. 2021. Disponível em: <https://digital.futurecom.com.br/artigos/drones-software-aliados-contra-doencas-e-pragas-na-soja/>. Acesso em: 30 abr. 2025.
- **AGRO.** O impacto da inovação tecnológica no pequeno AGRO. 20 dez. 2024. Disponível em: https://programae.org.br/agro/o-impacto-da-inovacao-tecnologica-no-pequeno-agro/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 21 mar. 2025.
- **CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C.** Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 174 p. ISBN 85-86413-07-0. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/779586/1/sistemairrigas.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- **CARVALHO, A. C. X. d.; JUSTI, A. C. A.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J. d. S..** Influência da temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação na produção de serrapilheira no norte do Pantanal mato-grossense. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 29, p. 1-23, 2021. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15144>>. Acesso em: 13 abr 2025
- **CHRISTENSEN, D. C.; FONSECA, Z. P. da.** Sistema de monitoramento agrícola utilizando LoRa 433-MHz, IoT e aplicativo móvel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA – SBIAGRO, 14., 2023, Natal. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 80–87. ISSN 2177-9724. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbiagro.2023.26544>.
- **CORDEIRO, I. M. C. C.; LAMEIRA, O. A.; GAZEL FILHO, A. B.,** Influência de diferentes intensidades de luz sob o cultivo de curauá. *Revista Brasileira de Biociências*, [S.l.], v.7, n.1, p.1-10,2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/657112/1/01TEMA40.pdf> Acesso em: 13 abr. 2025.
- **COUTO, M. N.** (2019). *Agricultura 4.0: Protótipo de um Internet of Things (IoT) na Cultura da Lactuca Sativa. Trabalho de Conclusão de Curso.* Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira.

- **CRUZ, A. J. da; COLLETA, A. V. D.; TOLDATO, G. T.; SIVA, C. K. de A.; ZANON NETO, A.** Sistema automatizado de controle de umidade do solo para plantio. *Revista eSALENG – Revista Eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO*, Araçatuba, v. 9, n. 1, p. 219–228, 2020. Disponível em: https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2021/03/14_Sistema-Automatizado-de-Controle_219_228.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.
- **DARZI, R.** (2024). Conectando o campo: IoT e a revolução da agricultura conectada. *SciCrop*. Disponível em: <https://scicrop.com/2024/04/25/conectando-o-campo-iot-e-a-revolucao-da-agricultura-conectada/>. Acesso em: [21/03/2025].
- **EMBRAPA.** O clima e as plantas. 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1153788/1/O-Clima-e-as-plantas-2020.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2025.
- **ENRICI, J. P.** Fito diagnose digital: detecção de doenças de plantas via imagens digitais. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Sistemas de Computação) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/9014/TCC_JUAN_PABLO_ENRICI.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Acesso em: 13 abr. 2025.
- **FAO.** (2015). Se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 o mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água. *Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura*, 21 jan. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/68525-fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisar%C3%A1-de-60-mais-alimentos-e-40>. Acesso em: [data de acesso].
- **FIDELES, B. O.; AL-KHOURY, S. C. S.; ROSA, F. L.** *O uso de drones como tecnologia aplicável na agricultura de precisão*. *Ciências Agrárias*, v. 27, n. 122, maio 2023. Disponível em: <https://revistaft.com.br/o-uso-de-drones-como-tecnologia-aplicavel-na-agricultura-de-precisao/>. Acesso em: 30 abr. 2025. DOI: 10.5281/zenodo.7975037.
- **FREITAS, W. A. de; CARVALHO, J. A. de; BRAGA, R. A.; ANDRADE, M. J. B. d.** Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.

- 16, n. 3, p. 268–273, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000300006>. Acesso em: 13 abr. 2025.
- **GAZOLLA-NETO, A.** et al. Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 88–92, jan./mar. 2013. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/rbrasbioci/article/download/115547/62827/476127>. Acesso em: 13 abr. 2025.
 - Heltec Automation ESP32 LoRa.
 - **KARAR, M. E.; AL-RASHEED, M. F.; AL-RASHEED, A. F.; REYAD, O.** IoT and neural network-based water pumping control system for smart irrigation. Information Sciences Letters, v. 9, n. 2, p. 107–112, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18576/isl/090207>. Acesso em: 10 abr. 2025.
 - Library GitHub – Arduino-LoRa.
 - LoRa communication real-time demonstration with ESP32 & RFM95.
 - LoRa - Long-Range Radio for IoT | Arduino, ESP32, RPI Pico.
 - **NAKAMURA JUNIOR, W. K.; PEREIRA, M. F. L.** Sistema baseado em rede sem fio LoRa para monitoramento agroclimático aplicado à cotonicultura. In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DE MATO GROSSO – ERI-MT, 12., 2023, Cuiabá. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 107–116. ISSN 2447-5386. DOI: <https://doi.org/10.5753/eri-mt.2023.236516>.
 - **OLIVEIRA, N. A.; SANTOS, R. P.; FORTUNATO, L. A.** Melhoria do manejo de irrigação com sensor de umidade do solo para horticultura familiar. In: SIMPÓSIO DE TCC DAS FACULDADES FINOM E TECSOMA, 1., 2019, Paracatu. Anais [...]. Paracatu: FINOM, 2019. p. 1324–1339. Disponível em: <https://finom.edu.br/assets/uploads/cursos/tcc/2021042218040816.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2025.
 - **PERFECT FLIGHT.** *Drones na agricultura: monitoramento de safras, prevenção de pragas e melhoria da colheita.* São João da Boa Vista, 7 nov. 2023. Disponível em: <https://www.perfectflight.com.br/post/drones-na-agricultura-monitoramento-de-safras-prevencao-de-pragas-e-melhoria-da-colheita>. Acesso em: 30 abr. 2025.

- **PINTO, C. A. S.** O uso de um sistema de automação na gestão de recursos hídricos para a irrigação periódica de hortas familiares: uma proposta para uma casa de vegetação. *Revista Interface Tecnológica*, Taquaritinga, v. 18, n. 1, p. 243–255, 2021. DOI: 10.31510/inf.v18i1.1092. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1092>. Acesso em: 13 abr. 2025.
- **RAMOS, L. T.** (2024). *Internet das Coisas na Agricultura: Um Protótipo para Monitoramento Ambiental com Sensores Integrados. Trabalho de Conclusão de Curso*. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde (CTS), Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).
- Repositório GitHub: Projetos com ESP32 e LoRa.
- **SADOWSKI, S.; SPACHOS, P.** Wireless technologies for agricultural monitoring using Internet of Things devices with energy harvesting capabilities. 2020. Preprint (Trabalho científico) – *Computers and Electronics in Agriculture*. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2005.02477>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- **SANTOS, N..** Como pequenos agricultores reduziram o tempo de monitoramento em 50% com drones. 9 mar. 2025. Disponível em: https://8wondersblog.com/como-pequenos-agricultores-reduziram-o-tempo-de-monitoramento-em-50-com-drones/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 21 mar. 2025.
- **SILVA, E. C., & ESPEJO, M. M. dos S. B.** (2024). Adoção da Internet das Coisas (IoT) na agropecuária: uma revisão sistemática sobre as possibilidades de adoção no ambiente produtivo rural brasileiro. *Interações (Campo Grande)*, 25(4), e2544024. Recuperado de <https://www.interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/4024>. DOI: 10.20435/inter.v25i4.4024.
- **SILVA, J. d.** Estudo sobre Plantas. *Semic*, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2023. Disponível em: <<https://periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/view/3037/2437>>. Acesso em: 10 out. 2023.
- **SUTTON, J. C.** et al. Etiology and epidemiology of Pythium root rot in hydroponic crops: current knowledge and perspectives. *Summa Phytopathologica*, v. 32, n. 4, p. 307–321, set. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052006000400001>. Acesso em: 13 abr. 2025.

- **TIVES, H. A.; MARINI, A.; ORTONCELLI, A. R.** Visão computacional aplicada na identificação de doenças na fruticultura: uma revisão sistemática da literatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA – SBIAGRO, 14., 2023, Natal. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 214–221. ISSN 2177-9724. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbiagro.2023.26561>.
- **UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA.** Manual de normalização de trabalhos acadêmicos da UNEB. Salvador: UNEB, 2021. Disponível em: <https://saberaberto.uneb.br/bitstreams/3e541c39-7ac7-48cb-af5d-9323273761ee/download>. Acesso em: 13 abr. 2025
- **UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE.** Artigo trata de efeito do aumento de CO2 e temperatura em soja. Disponível em: <https://www.ufac.br/site/noticias/2021/artigo-trata-de-efeito-do-aumento-de-co2-e-temperatura-em-soja>. Acesso em: 27 out. 2023.
- **VELOSO, E. M. C.** Agricultura de precisão: sistema para monitoramento remoto de lavouras. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2023. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/6251/3/MONOGRAFIA_AgriculturaPrecis%C3%A3oSistema.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.