



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Matheus da Cruz Pereira

**Desenvolvimento de um protótipo de irrigação automatizada aplicado a hortas
comunitárias**

PAU DOS FERROS

2025

Matheus da Cruz Pereira

**Desenvolvimento de um protótipo de irrigação automatizada aplicado a hortas
comunitárias**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Computação.

Orientador: Sâmara de Cavalcante Paiva,
Prof^a. Dr^a.

PAU DOS FERROS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P436d Pereira, Matheus da Cruz.
Desenvolvimento de um protótipo de irrigação
automatizada aplicado a hortas comunitárias /
Matheus da Cruz Pereira. - 2025.
66 f. : il.

Orientadora: Sâmara de Cavalcante Paiva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Computação, 2025.

1. Automação agrícola. 2. Agricultura de
precisão. 3. Comunidades rurais. 4. Sistemas
embarcados. 5. Monitoramento remoto. I. Paiva,
Sâmara de Cavalcante, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Matheus da Cruz Pereira

**Desenvolvimento de um protótipo de irrigação automatizada aplicado a hortas
comunitárias**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Computação.

Defendida em: 01 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Sâmara de Cavalcante Paiva, Prof^a. Dr^a. (UFERSA)
Presidente

Cecílio Martins de Sousa Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de irrigação automatizada de baixo custo, voltado para hortas comunitárias em áreas rurais, especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro. A proposta surgiu diante dos desafios relacionados à escassez hídrica e à ausência de tecnologias acessíveis para pequenos produtores. O sistema foi desenvolvido utilizando o microcontrolador *ESP32*, sensores de umidade do solo, uma bomba d'água e a plataforma *Blynk* para monitoramento remoto, integrando conceitos de automação e IoT. Os testes foram realizados em uma horta comunitária no Assentamento Bom Jesus, localizado no município de Poço Dantas-PB. Os resultados indicaram que o sistema é funcional, de fácil operação e capaz de promover uma economia de aproximadamente 65,6% no uso da água em comparação com a irrigação manual. Além disso, observou-se uma redução da carga de trabalho manual e uma maior regularidade na irrigação, contribuindo para a sustentabilidade do cultivo. A receptividade da comunidade diante da proposta foi positiva, sinalizando o interesse em adotar tecnologias simples e eficazes que possibilitem a retomada e manutenção das hortas coletivas. O protótipo desenvolvido representa uma alternativa viável, replicável e alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável, com potencial de impacto social e ambiental. Como perspectivas futuras, destaca-se a possibilidade de integração com fontes de energia renovável, como a solar, bem como o aprimoramento do sistema com novos sensores e funcionalidades.

Palavras-chaves: automação agrícola; agricultura de precisão; comunidades rurais; sistemas embarcados; monitoramento remoto.

ABSTRACT

This work aims to develop a low-cost automated irrigation prototype designed for community gardens in rural areas, particularly in semi-arid regions such as the Brazilian Northeast. The proposal emerged in response to challenges related to water scarcity and the lack of accessible technologies for small-scale farmers. The system was developed using the ESP32 microcontroller, soil moisture sensors, a water pump, and the Blynk platform for remote monitoring, integrating concepts of automation and the IoT. The prototype was tested in a community garden located in the Bom Jesus Settlement, in the municipality of Poço Dantas–PB. The results indicated that the system is functional, easy to operate, and capable of saving approximately 65.6% of water when compared to traditional manual irrigation. Furthermore, it reduced manual labor demands and improved the regularity of irrigation, contributing to more sustainable cultivation practices. The community’s response to the project was positive, demonstrating interest in adopting simple and effective technologies to support the recovery and maintenance of collective gardens. The developed prototype represents a viable, replicable solution aligned with the principles of sustainable development, with potential for both social and environmental impact. Future perspectives include integrating renewable energy sources, such as solar power, and enhancing the system with new sensors and features.

Key-words: agricultural automation; precision farming; rural communities; embedded systems; remote monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Poço Dantas – PB	11
Figura 2 – Modelo físico e pinagem do microcontrolador <i>ESP32</i>	20
Figura 3 – Sensor resistivo	22
Figura 4 – Sensor capacitivo	23
Figura 5 – Diagrama esquemático do sistema de irrigação automatizada . . .	29
Figura 6 – <i>Layout</i> do projeto da PCI desenvolvido no <i>Fritzing</i>	31
Figura 7 – Inclusão de bibliotecas	33
Figura 8 – Autenticação <i>Blynk</i> e <i>Wi-Fi</i>	33
Figura 9 – Definição de pinos	34
Figura 10 – Parâmetros de controle de irrigação	34
Figura 11 – Valores do ajuste dos sensores	34
Figura 12 – Constantes de tempo	35
Figura 13 – Inicialização do <i>display</i> OLED	35
Figura 14 – Função de conexão <i>Wi-Fi</i>	36
Figura 15 – Leitura dos sensores	36
Figura 16 – Atualização do <i>display</i> OLED	37
Figura 17 – Envio de dados ao <i>Blynk</i>	37
Figura 18 – Controle dos botões físicos	38
Figura 19 – Controle da bomba de irrigação	39
Figura 20 – Controle remoto via <i>Blynk</i>	40
Figura 21 – Função <i>setup()</i>	41
Figura 22 – Função <i>loop()</i>	41
Figura 23 – Desafios enfrentados pelos participantes	43
Figura 24 – Percepções e interesse dos participantes em relação ao sistema . .	44
Figura 25 – Desejo de reativação da horta comunitária	45
Figura 26 – Circuito montado na <i>protoboard</i>	46
Figura 27 – PCI finalizada	47
Figura 28 – Hortas separadas para a instalação da irrigação automatizada . .	48
Figura 29 – Hortas separadas para a instalação da irrigação automatizada . .	49
Figura 30 – Local de instalação	50
Figura 31 – Local de instalação	51
Figura 32 – Monitoramento pelo aplicativo	55
Figura 33 – Localização dos sensores	57
Figura 34 – Horta com sistema de irrigação automatizada	58
Figura 35 – Horta com sistema de irrigação manual	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios obtidos pelos sensores nas diferentes condições do solo	32
Tabela 2 – Materiais utilizados no projeto	52
Tabela 3 – Comparativo de custos entre sistemas de irrigação automatizada .	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problemática	12
1.2	Justificativa	12
1.3	Objetivos	13
1.3.1	Objetivo geral	13
1.3.2	Objetivos específicos	13
1.4	Organização do trabalho	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA	15
2.1	Agricultura urbana e hortas comunitárias	15
2.2	Sistemas de irrigação	16
2.3	Microcontroladores e o <i>ESP32</i>	19
2.3.1	O Papel dos Microcontroladores na Automação	19
2.3.2	Características técnicas do <i>ESP32</i>	20
2.3.3	Vantagens do <i>ESP32</i> em projetos de IoT	21
2.4	Sensores de umidade do solo	21
2.4.1	Integração com o <i>ESP32</i> e calibração	23
2.5	Internet das coisas na agricultura	25
2.6	Plataforma <i>Blynk</i> para monitoramento e controle	25
3	METODOLOGIA	28
3.1	Diagrama esquemático do circuito	28
3.2	Projeto da placa de circuito impresso	30
3.3	Ajuste dos sensores de umidade	31
3.4	Desenvolvimento do <i>firmware</i>	33
3.4.1	Inclusão de Bibliotecas e Configurações Iniciais	33
3.4.2	Declaração de pinos e parâmetros	34
3.4.3	Inicialização do <i>display OLED</i>	35
3.4.4	Conexão com a rede Wi-Fi	35
3.4.5	Leitura dos sensores e conversão de dados	36
3.4.6	Atualização do <i>display</i> com os dados	36
3.4.7	Envio de dados ao <i>Blynk</i>	37
3.4.8	Controle dos botões físicos e modos de operação	38
3.4.9	Controle da bomba de irrigação	38
3.4.10	Comandos remotos via <i>Blynk</i>	40
3.4.11	Funções <i>setup()</i> e <i>loop()</i>	40
3.5	Levantamento social e diagnóstico comunitário	41

3.6	Instalação do protótipo de irrigação automatizada	45
3.7	Procedimentos experimentais	49
3.8	Materiais utilizados	51
4	RESULTADOS OBTIDOS	54
4.1	Economia de tempo e esforço físico	54
4.2	Redução no Consumo de Água	56
4.3	Maior regularidade e produtividade na irrigação	57
4.4	Apropriação tecnológica e potencial de replicação	60
4.5	Limitações tecnológicas observadas	60
5	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICE	67

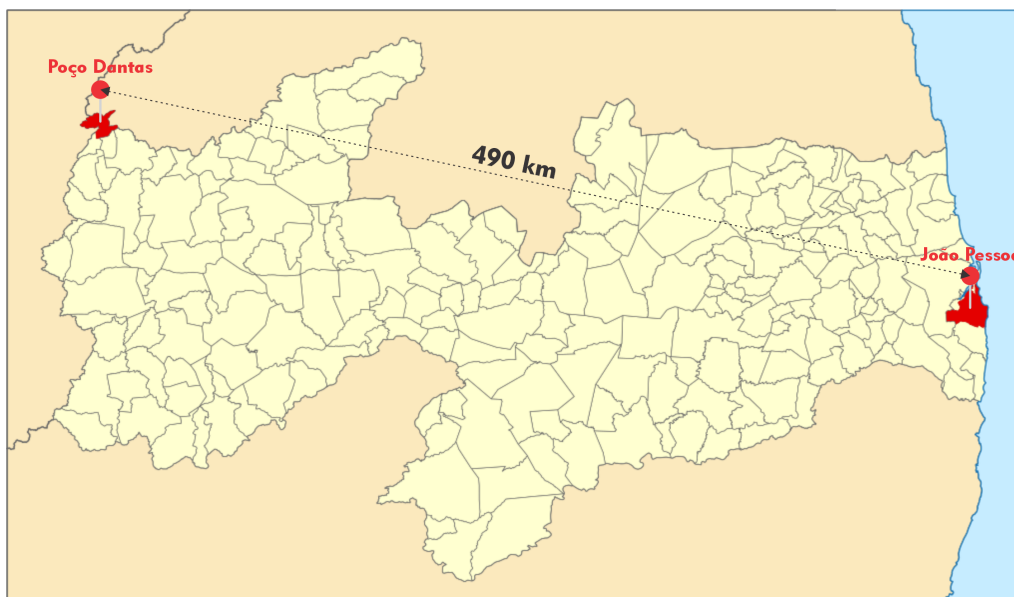
1 INTRODUÇÃO

Nas áreas rurais do Brasil, a agricultura familiar e as hortas comunitárias são práticas tradicionais que continuam sendo fundamentais para o sustento das famílias e o fortalecimento das redes sociais. Essas iniciativas, geralmente promovidas por associações, fortalecem a segurança alimentar, geram renda, promovem educação ambiental e valorizam o trabalho coletivo e o território (Santos; Andrade; Cunha, 2022).

Além de fornecerem alimentos frescos e saudáveis, as hortas comunitárias promovem o fortalecimento de vínculos sociais e econômicos e impulsionam a valorização da agricultura familiar, responsável por cerca de 77% dos estabelecimentos rurais do país (IBGE, 2017). No entanto, em regiões semiáridas como o Nordeste, a escassez de água e a irregularidade das chuvas tornam o cultivo mais desafiador. Essas dificuldades são agravadas pelas mudanças climáticas, pela limitação de recursos naturais e pela ausência de políticas públicas estruturantes. Entre os principais entraves está a escassez hídrica, fator crítico em áreas como o semiárido nordestino, onde a produção agrícola depende da captação e do uso racional da água (Nunes *et al.*, 2023).

Esse é o caso do município de Poço Dantas, Figura 1, localizado a aproximadamente 490 km da capital paraibana, João Pessoa. Situado na divisa com os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará, o município enfrenta longos períodos de estiagem, baixa disponibilidade hídrica e forte dependência da agricultura de subsistência. O abastecimento de água na região é realizado, em grande parte, por meio de carros-pipa e cisternas de captação de água da chuva, o que compromete a regularidade e a segurança hídrica das famílias rurais. Segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil 2020, Poço Dantas possui um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,598, o que evidencia a necessidade de políticas locais voltadas à segurança alimentar e ao uso de tecnologias acessíveis no campo.

Figura 1 – Localização do município de Poço Dantas – PB



Fonte: Adaptado de Wikimedia Commons (2024)

Diante desse contexto, torna-se essencial buscar alternativas que conciliem sustentabilidade e inovação tecnológica, respeitando a realidade socioeconômica local. Nesse cenário, o uso de tecnologias digitais se apresenta como uma aliada estratégica, através de conhecimentos em software, hardware e viabiliza-se o desenvolvimento de soluções inteligentes que atuam em tempo real sobre problemas concretos, como é o caso da gestão da irrigação em hortas comunitárias (Carvalho; Souza; Mendes, 2022).

A aplicação de microcontroladores como o *ESP32*, integrados a sensores de umidade e conectados a plataformas móveis, como o aplicativo *Blynk*, permite a criação de sistemas de irrigação automatizada autônomos, eficientes e de baixo custo (Nunes *et al.*, 2023). Quando associados a fontes de energia renovável, como painéis solares, esses sistemas se tornam ainda mais viáveis para comunidades com infraestrutura limitada (Garcia; Oliveira; Nascimento, 2021).

A proposta deste trabalho é, portanto, desenvolver um protótipo de irrigação automatizada voltado às necessidades específicas de comunidades como o Assentamento Bom Jesus, conhecido como "Sem Terra", em Poço Dantas-PB. A intenção é contribuir para a autonomia tecnológica, a sustentabilidade produtiva e a melhoria da qualidade de vida rural. O projeto também está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), reforçando o compromisso com a inclusão social e a inovação sustentável (Organização das Nações Unidas, 2015).

1.1 Problemática

A agricultura familiar e as hortas comunitárias desempenham papel essencial na segurança alimentar e na promoção do desenvolvimento sustentável em áreas rurais. Contudo, muitas dessas iniciativas enfrentam sérias dificuldades na gestão eficiente dos recursos hídricos, o que compromete sua produtividade e longevidade. A irrigação manual, prática ainda predominante, requer esforço físico constante e frequentemente não responde adequadamente às necessidades específicas das plantas, podendo ocasionar tanto desperdício de água quanto insuficiência hídrica, afetando negativamente a produção (Agapito, 2021; Nunes *et al.*, 2023).

Paralelamente, a adoção de sistemas automatizados de irrigação permanece restrita em muitas comunidades rurais, principalmente devido ao alto custo dos equipamentos, à complexidade técnica e à ausência de infraestrutura adequada, como energia elétrica estável e acesso à internet. Essa conjuntura limita o potencial produtivo das hortas comunitárias, sobretudo em regiões com baixa renda e infraestrutura precária (Silva *et al.*, 2023).

Em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, onde a irregularidade das chuvas e a escassez hídrica são desafios crônicos, a necessidade por soluções tecnológicas adaptadas se torna ainda mais premente. Hortas comunitárias nessas regiões desempenham um papel fundamental na segurança alimentar e na geração de renda local, porém enfrentam obstáculos que exigem intervenções que promovam o uso racional e eficiente da água (Dantas; Souza; Vale, 2024).

Diante disso, a pergunta que norteia esta pesquisa é: como desenvolver um sistema de irrigação automatizada, de baixo custo e fácil implementação, que atenda às necessidades das hortas comunitárias em áreas rurais, promovendo a economia de água e o aumento da produtividade?

1.2 Justificativa

As hortas comunitárias representam uma estratégia sustentável e acessível para a produção local de alimentos, fortalecendo a agricultura familiar e promovendo a coesão social em comunidades rurais. Elas contribuem para a diversificação da dieta, geração de renda e educação ambiental, consolidando-se como instrumento importante para o desenvolvimento rural (Dantas; Souza; Vale, 2024).

Entretanto, o desempenho dessas hortas é frequentemente prejudicado pela escassez de água e pela falta de tecnologias adequadas de irrigação. Métodos convencionais, como a irrigação manual ou sistemas baseados em temporizações fixas, não levam em conta as reais necessidades do solo e das plantas, resultando em desperdício hídrico ou deficiência no abastecimento das culturas (SENAR, 2017).

A implementação de sistemas automatizados, que utilizem sensores de umi-

dade e microcontroladores para ajustar a irrigação de forma precisa e eficiente, surge como alternativa eficaz e viável. Esses sistemas permitem o uso racional da água, aumentam a produtividade e reduzem o trabalho manual, aspectos cruciais para o sucesso e a sustentabilidade das hortas comunitárias (Nunes *et al.*, 2023).

Além disso, a incorporação de fontes de energia renovável, como painéis solares, amplia a aplicabilidade dessas tecnologias em áreas sem acesso confiável à rede elétrica, promovendo maior autonomia técnica e respeito aos princípios da sustentabilidade ambiental (Silva *et al.*, 2023).

Assim, o desenvolvimento de um protótipo de irrigação automatizada de baixo custo, adaptado às condições específicas das hortas comunitárias rurais, pode contribuir significativamente para a economia de água, a segurança alimentar e a melhoria da qualidade de vida das comunidades envolvidas, além de estar alinhado com os ODS.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo de irrigação automatizado, de baixo custo, para hortas comunitárias rurais, visando otimizar o uso da água, reduzir o trabalho manual e promover uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar as necessidades hídricas das hortas comunitárias, considerando fatores como tipo de cultivo, clima e práticas locais.
- Projetar um sistema automatizado de irrigação baseado em sensores de umidade do solo, integrando tecnologias de microcontroladores como *ESP32*.
- Construir e testar o protótipo em ambiente real, avaliando sua eficiência na economia de água e funcionamento autônomo.
- Verificar a viabilidade técnica, econômica e social da aplicação do sistema, propondo ajustes e melhorias com base nos resultados obtidos.

1.4 Organização do trabalho

O Capítulo 2 trata da fundamentação teórica, abordando os principais conceitos relacionados à agricultura urbana, sistemas de irrigação, automação, sensores de umidade do solo, microcontroladores e IoT, com ênfase na plataforma *Blynk*.

No Capítulo 3, descreve-se a metodologia adotada para o desenvolvimento do protótipo de irrigação automatizada, incluindo os materiais utilizados, a montagem do circuito, o desenvolvimento do *firmware* e os procedimentos de ajuste e instalação.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, analisando os impactos do sistema proposto em termos de economia de água, esforço físico e aceitação por parte dos usuários. Por fim, o Capítulo 5 expõe as conclusões do trabalho, retomando os objetivos propostos e sugerindo possíveis aprimoramentos para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta fundamentação teórica explora inicialmente os conceitos de agricultura urbana e o papel das hortas comunitárias como estratégia de promoção da segurança alimentar e sustentabilidade nos centros urbanos. Em seguida, são apresentados os princípios dos sistemas de irrigação e a evolução da automação aplicada a esses sistemas, destacando o uso de microcontroladores, com ênfase no *ESP32*, e sensores de umidade do solo. Também é abordada a IoT como ferramenta de inovação na agricultura, com foco na plataforma *Blynk* para o monitoramento e controle remoto do sistema de irrigação. Por fim, discute a importância da sustentabilidade e da eficiência no uso da água, alinhando as tecnologias às metas globais de desenvolvimento sustentável (Organização das Nações Unidas, 2015).

2.1 Agricultura urbana e hortas comunitárias

A agricultura urbana, prática que envolve o cultivo de alimentos e criação de animais dentro ou nas proximidades das cidades, tem se consolidado como uma alternativa viável para enfrentar os desafios da insegurança alimentar, promover a sustentabilidade ambiental e fomentar a coesão social em contextos urbanos. Essa prática se vale do aproveitamento de espaços subutilizados — como terrenos baldios, quintais, calçadas e áreas comunitárias — para a produção de alimentos frescos, o reaproveitamento de resíduos orgânicos e a difusão de práticas sustentáveis (Frota *et al.*, 2024).

De modo geral, essa atividade está alinhada aos princípios da agroecologia, sobretudo quando é organizada coletivamente. Segundo Cabrera *et al.*, (2021), hortas comunitárias urbanas de base agroecológica são capazes de suprir até 74% das necessidades nutricionais dos participantes, além de promoverem autonomia alimentar e bem-estar subjetivo. Os jardineiros envolvidos nas pesquisas relataram que aproximadamente 42% dos alimentos consumidos provinham dessas hortas, evidenciando seu papel central na segurança alimentar.

Araújo *et al.*, (2016) reforçam essa perspectiva ao demonstrar, em estudo realizado em Lavras/MG, que a produção voltada ao autoconsumo, aliada à comercialização e à doação, garante acesso contínuo a alimentos saudáveis, além de fortalecer a solidariedade comunitária e gerar renda complementar. Esse cenário resalta o papel da agricultura urbana como estratégia de inclusão socioeconômica e promoção da autonomia dos agricultores urbanos.

Nesse contexto, as hortas comunitárias despontam como espaços coletivos de produção agroecológica conduzidos por moradores, associações civis, escolas, organizações religiosas ou ONGs. Segundo Freitas e Dias (2019), esses espaços funcionam como ambientes de convivência, aprendizagem, cooperação e protagonismo social,

nos quais os participantes constroem relações solidárias e compartilham saberes e práticas sustentáveis.

Além de contribuírem para a segurança alimentar e nutricional de famílias em situação de vulnerabilidade, as hortas promovem educação ambiental, alimentação saudável, ocupação positiva de espaços públicos e fortalecimento dos vínculos comunitários. Santos e Andrade (2022) destacam que esses espaços são também importantes para o empoderamento das comunidades, ao propiciarem o engajamento ativo dos moradores e o exercício da cidadania.

A atuação das hortas comunitárias também se relaciona à promoção da saúde coletiva. O estímulo ao consumo de alimentos frescos, a prática de atividades físicas, o contato com a natureza e o fortalecimento de vínculos sociais conferem a esses espaços uma dimensão terapêutica e de reabilitação social, especialmente para públicos em situação de vulnerabilidade, como idosos, pessoas com deficiência e indivíduos em risco de exclusão social (Jacobi; Cezar; Franco, 2016).

Apesar de seus benefícios, as hortas enfrentam entraves significativos para sua consolidação e expansão. Gonçalves *et al.*, (2021) apontam como principais desafios a ausência de políticas públicas permanentes, a insegurança jurídica quanto ao uso dos terrenos, a escassez de recursos materiais e financeiros, bem como a falta de assistência técnica especializada.

Muitas iniciativas surgem de maneira espontânea e voluntária, mas enfrentam dificuldades para se manter no médio e longo prazo, em razão da descontinuidade institucional, da sobrecarga dos voluntários e da ausência de infraestrutura básica, como acesso à água, ferramentas e insumos (Freitas; Dias, 2019). Soma-se a isso a necessidade de qualificação dos participantes, a rotatividade nas equipes e os desafios de gestão participativa, que podem comprometer a coesão interna dos grupos e a sustentabilidade das ações (Santos; Andrade; Cunha, 2022).

Portanto, para que experiências de hortas comunitárias prosperem de forma duradoura, é imprescindível o envolvimento do poder público, o apoio técnico contínuo, o fortalecimento de parcerias com universidades e a adoção de estratégias de mobilização social que valorizem o protagonismo das comunidades envolvidas. Essa articulação intersetorial é fundamental para consolidar a agricultura urbana como uma política estruturante de desenvolvimento sustentável nas cidades.

2.2 Sistemas de irrigação

A irrigação agrícola é o fornecimento controlado de água às plantas, essencial para suprir suas necessidades fisiológicas quando a precipitação natural é insuficiente. Além de manter o solo úmido, ela garante o desenvolvimento saudável das culturas e influencia diretamente a produtividade da lavoura (Beskow, 2021). A adoção de sistemas eficientes de irrigação é crucial, sobretudo diante da crescente

escassez hídrica e das exigências por sustentabilidade na agricultura.

Para que a irrigação seja eficaz, é necessário compreender alguns princípios básicos, como a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, a lâmina de irrigação e a eficiência de aplicação. A lâmina de irrigação refere-se ao volume de água aplicado numa determinada área, que deve ser calculado para suprir as necessidades da planta sem causar desperdícios (Keller; Bliesner, 1990).

A eficiência no uso da água é um princípio fundamental no planejamento da irrigação. O objetivo é maximizar a absorção de água pelas raízes e reduzir perdas por evaporação, percolação ou escoamento. De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2019), a eficiência de aplicação pode variar entre 60% e 95%, dependendo do sistema adotado, sendo também fundamentada por Doorenbos e Pruitt (1977).

A evapotranspiração de referência (ET_0) pode ser estimada por meio da Equação de Penman-Monteith, amplamente recomendada pela FAO como padrão internacional. Essa equação considera fatores climáticos como radiação solar líquida, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e pressão de vapor, permitindo o cálculo preciso da demanda hídrica das culturas conforme as condições ambientais locais (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2.1)$$

onde ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm/dia); Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor (kPa/°C); R_n é a radiação líquida (MJ/m²/dia); G é o fluxo de calor no solo (MJ/m²/dia); γ é a constante psicrométrica (kPa/°C); T é a temperatura média do ar (°C); u_2 é a velocidade do vento a 2 m (m/s); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e e_a é a pressão real de vapor (kPa).

Diversos fatores ambientais influenciam a demanda hídrica das plantas e, consequentemente, o desempenho da irrigação. A umidade do solo, a intensidade da radiação solar, a temperatura do ar e do solo, a umidade relativa do ar, os ventos, o tipo de solo e o estágio de desenvolvimento da cultura são variáveis determinantes (Hillel, 1998). Solos arenosos, por exemplo, retêm menos água e exigem irrigações mais frequentes, enquanto solos argilosos apresentam maior capacidade de retenção (Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2009).

Tradicionalmente, métodos como irrigação por sulcos e inundação são comuns em pequenas propriedades devido ao baixo custo. Entretanto, apresentam baixa eficiência hídrica por permitirem perdas por infiltração profunda e evaporação (Batalha; Kiehl, 2002). A irrigação por aspersão, que simula a chuva natural, oferece melhor uniformidade, mas demanda maior investimento em equipamentos e energia (Machado; Silva, 2020). Já a irrigação manual, comum em hortas urbanas, apresenta limitações quanto à uniformidade, à exigência de mão de obra e ao

desperdício de água (Lima *et al.*, 2018).

Nesse cenário, a irrigação automatizada representa uma prática sustentável que alia tecnologia à conservação dos recursos naturais, promovendo a aplicação precisa e oportuna da água (Costa *et al.*, 2021). Essa abordagem reduz o consumo hídrico, evita o estresse das plantas e melhora a produtividade agrícola. Além disso, sistemas automatizados permitem o monitoramento e controle em tempo real, facilitando ajustes rápidos e evitando desperdícios decorrentes de irrigação excessiva ou insuficiente (Oliveira; Costa, 2020), o que contribui para a redução do impacto ambiental e para o uso responsável dos recursos hídricos.

Outro benefício da automação é a melhoria da qualidade das culturas. Ao manter níveis adequados de umidade no solo de forma constante, evita-se o estresse hídrico, fortalecendo o sistema radicular e reduzindo a incidência de pragas e doenças (Santos; Gonçalves, 2019). A irrigação automatizada, portanto, não apenas reduz custos e desperdícios, como também potencializa a produtividade e a sustentabilidade da produção agrícola.

Embora muitas vezes associada à agricultura de larga escala, a automação tem se expandido para pequenas propriedades, hortas urbanas e projetos comunitários, impulsionada pela popularização de tecnologias acessíveis. A integração de sensores, microcontroladores e plataformas digitais, como o *Blynk*, torna a irrigação automatizada acessível e escalável, possibilitando a adoção por pequenos e médios produtores que buscam práticas agrícolas mais eficientes (Rodrigues; Martins, 2022).

Em hortas urbanas, por exemplo, a automação contribui para a regularidade da irrigação, mesmo quando operada por pessoas sem formação técnica. Isso favorece a autonomia dos grupos responsáveis, reduz a dependência de mão de obra e estimula a participação comunitária (Widianto *et al.*, 2023). A possibilidade de monitoramento remoto via aplicativo também facilita a gestão colaborativa, como apontam Martins e Souza (2023), promovendo inovação, sustentabilidade e inclusão tecnológica no meio rural e urbano.

O uso racional da água na agricultura é um componente chave para a sustentabilidade ambiental, visto que o setor é responsável por cerca de 70% do consumo global desse recurso (Motta; Pinto, 2020). Práticas eficientes de irrigação são essenciais para minimizar perdas por evaporação, percolação e escoamento superficial. Tecnologias como a irrigação localizada e a automação permitem aplicar água diretamente na zona radicular das plantas, reduzindo o desperdício e aumentando a eficiência do uso hídrico (Santos; Gonçalves, 2019). Essas técnicas são especialmente importantes em regiões semiáridas e áreas sujeitas a restrições no fornecimento de água.

Dessa forma, a adoção de sistemas inteligentes de irrigação contribui para a conservação dos recursos naturais, promovendo a produtividade agrícola sem com-

prometer a disponibilidade futura da água (Costa *et al.*, 2021). Assim, o manejo eficiente da água é fundamental para garantir a resiliência do setor agrícola frente às mudanças climáticas.

A irrigação eficiente está diretamente relacionada ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 da ONU, que busca garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos (Organização das Nações Unidas, 2015). Sistemas de irrigação automatizados ajudam a alcançar metas relacionadas à segurança alimentar e à conservação ambiental. Ademais, práticas sustentáveis de irrigação impactam positivamente outros ODS, como o 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao promover produção agrícola eficiente e redução das emissões associadas ao uso excessivo de recursos (Motta; Pinto, 2020).

O desenvolvimento e a difusão de tecnologias acessíveis e sustentáveis, como as soluções IoT para irrigação, são essenciais para apoiar pequenos agricultores e comunidades rurais na adaptação às mudanças climáticas e na promoção do desenvolvimento econômico sustentável (Santos; Gonçalves, 2019).

2.3 Microcontroladores e o *ESP32*

2.3.1 O Papel dos Microcontroladores na Automação

Microcontroladores são dispositivos eletrônicos programáveis que executam tarefas específicas de controle, atuando como o cérebro de sistemas automatizados. Eles processam informações captadas por sensores, e, com base em algoritmos pré-definidos, controlam equipamentos como bombas, válvulas e atuadores em sistemas agrícolas (Pereira; Almeida, 2017). Dessa forma, possibilitam a automação de processos, reduzindo a necessidade de intervenção humana e aumentando a eficiência operacional.

Na agricultura, a aplicação de microcontroladores permite a automação em tempo real, ajustando operações conforme os dados ambientais coletados, como temperatura, umidade do solo e luminosidade (Silva; Lopes; Machado, 2021). Essa capacidade é essencial para responder rapidamente às variações climáticas e condições locais, promovendo o uso racional dos recursos hídricos e aumentando a produtividade.

Além disso, microcontroladores modernos, como o *ESP32*, possuem conectividade integrada, facilitando a comunicação com dispositivos externos e plataformas em nuvem (Espressif, 2020). Essa funcionalidade amplia as possibilidades de uso em sistemas de IoT, permitindo monitoramento remoto e controle via internet, essenciais para a agricultura inteligente.

2.3.2 Características técnicas do *ESP32*

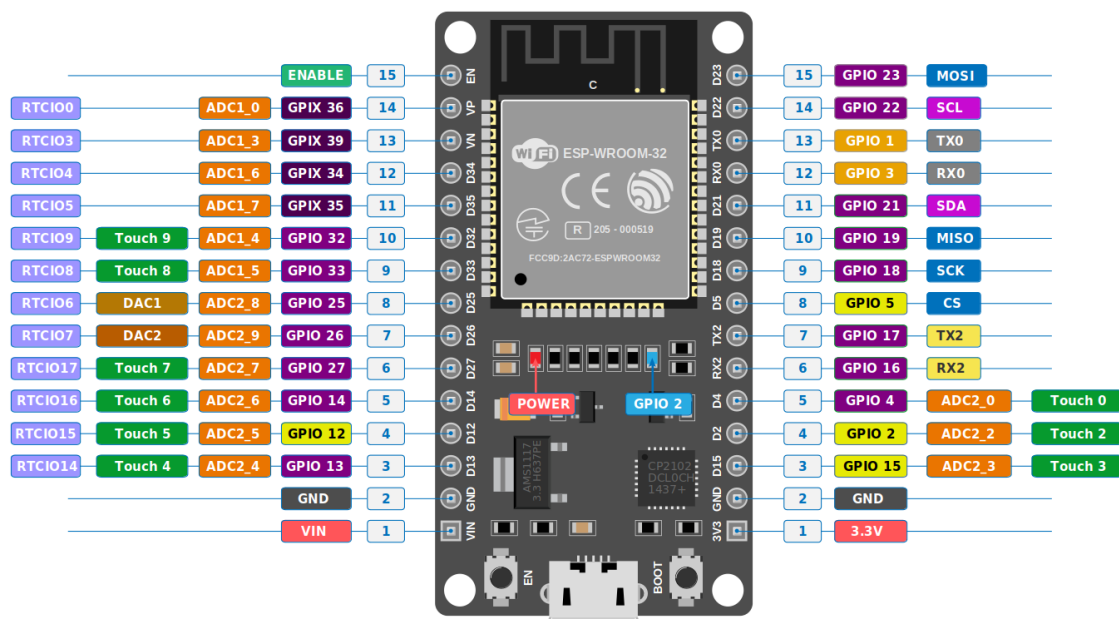
Segundo Espressif (2020) o *ESP32* é um microcontrolador de 32 bits com processador dual-core, que opera em até 240 MHz, equipado com conectividade *Wi-Fi* e *Bluetooth*, ideal para aplicações IoT. Sua arquitetura inclui múltiplas interfaces para sensores e atuadores, além de baixo consumo energético, o que o torna adequado para sistemas alimentados por baterias ou painéis solares.

Outra característica importante do *ESP32* é sua compatibilidade com diversas linguagens de programação e ambientes de desenvolvimento, facilitando a integração em projetos variados (Silva; Lopes; Machado, 2021). O custo reduzido e a alta flexibilidade tornam o *ESP32* uma escolha popular em protótipos e soluções comerciais.

Portanto, o microcontrolador possui recursos avançados como sensores de toque, *ADCs* (Conversores Analógico-Digital) precisos e suporte para criptografia, garantindo segurança na comunicação dos dispositivos conectados (Espressif, 2020). Essas qualidades contribuem para a confiabilidade e eficiência dos sistemas automatizados.

A Figura 2 apresenta a pinagem do *ESP32*, indicando a função de cada pino de entrada e saída digital (*GPIO*), além das conexões específicas para comunicação serial, barramento *I2C*, *SPI*, alimentação e outros recursos essenciais para integração com sensores e atuadores.

Figura 2 – Modelo físico e pinagem do microcontrolador *ESP32*



Fonte: ImplRust (2025)

Como ilustrado, os pinos *GPIO* do *ESP32* são multifuncionais e podem ser

configurados para leitura analógica (*ADC*), saída *PWM*, interfaces de comunicação (como *UART*, *I2C* e *SPI*), entre outras funções. Essa versatilidade permite o controle simultâneo de diversos dispositivos, sendo fundamental para sistemas embarcados e automação de processos em projetos de IoT.

2.3.3 Vantagens do *ESP32* em projetos de IoT

A principal vantagem do *ESP32* em projetos de IoT é a integração nativa de conectividade sem fio, eliminando a necessidade de cabos e possibilitando monitoramento e controle remoto dos dispositivos (Silva; Lopes; Machado, 2021). Essa flexibilidade é fundamental para sistemas de irrigação que requerem mobilidade e operação em áreas rurais.

O *ESP32* suporta múltiplos protocolos de comunicação, como *MQTT*, *HTTP* e *WebSocket*, facilitando a integração com plataformas em nuvem e aplicativos móveis (Martins; Souza, 2023). Essa versatilidade permite o desenvolvimento de soluções escaláveis e personalizadas.

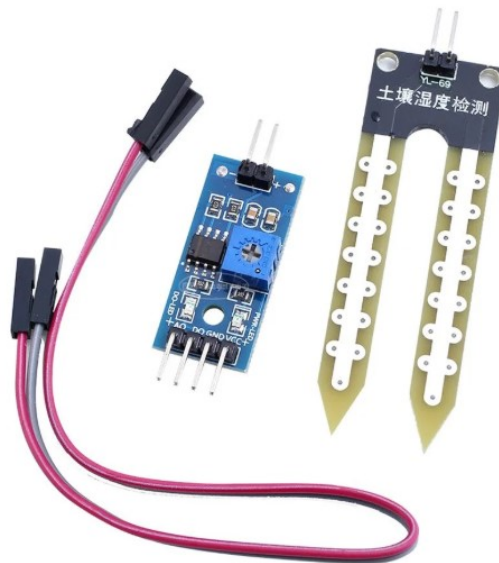
Outro benefício importante é o baixo consumo de energia e a existência de modos de economia, que prolongam a vida útil da bateria em sistemas autônomos, tornando-o ideal para áreas com acesso limitado à rede elétrica (Raju; Patil; Kumar, 2020). Sua robustez contribui para o sucesso dos projetos IoT voltados para agricultura.

2.4 Sensores de umidade do solo

Os sensores de umidade do solo mais utilizados em sistemas de irrigação são os do tipo capacitivo e resistivo, cada um com características, materiais e aplicações específicas (Carvalho; Pereira, 2018). Sensores resistivos, como o ilustrado na Figura 3, operam com base na medição da resistência elétrica entre dois eletrodos metálicos inseridos no solo. Essa resistência varia de acordo com o teor de umidade: quanto maior a presença de água, maior a condutividade elétrica do solo e, portanto, menor a resistência medida (Carvalho; Pereira, 2018).

Esses sensores são construídos com trilhas de cobre expostas (ou, em alguns casos, ligas de níquel), dispostas sobre uma placa de fenolite ou fibra de vidro do tipo FR4. Como os eletrodos permanecem em contato direto com o solo úmido, estão sujeitos à corrosão galvânica, especialmente em ambientes com alta salinidade, o que reduz sua durabilidade e estabilidade de leitura ao longo do tempo (Hrisko, 2020).

Figura 3 – Sensor resistivo



Fonte: Adaptado de BitMaker (2025)

Por outro lado, sensores capacitivos, representados na Figura 4, detectam a umidade do solo por meio da variação da constante dielétrica, diretamente relacionada à quantidade de água presente (Mendes; Lopes, 2017). Essa variação altera a capacitância entre os eletrodos do sensor, permitindo inferir os níveis de umidade com maior precisão e estabilidade.

Em termos construtivos, esses sensores são fabricados com placas de cobre isoladas (ou seja, não expostas ao contato direto com o solo), montadas sobre substratos de fibra de vidro (FR4) e encapsuladas com materiais como resina epóxi ou plástico ABS. Essa estrutura proporciona maior resistência à corrosão e menor suscetibilidade a interferências químicas e ambientais, tornando os sensores capacitivos mais adequados para aplicações automatizadas que exigem confiabilidade, durabilidade e baixa manutenção (Mendes; Lopes, 2017).

Figura 4 – Sensor capacitivo



Fonte: Adaptado de IoT Robótica (2025)

A escolha do tipo de sensor deve considerar fatores como custo, precisão, ambiente de instalação e tipo de solo, pois esses influenciam o desempenho dos equipamentos (Andrade; Souza, 2021). Em geral, sensores capacitivos destacam-se em aplicações agrícolas por sua robustez e eficiência.

Ambos os sensores necessitam de calibração para correlacionar os valores elétricos medidos com os níveis reais de umidade do solo, pois fatores como tipo de solo e salinidade podem afetar as leituras (Andrade; Souza, 2021). A calibração correta é essencial para garantir precisão e eficiência na automação da irrigação.

2.4.1 Integração com o *ESP32* e calibração

A integração entre sensores de umidade do solo e microcontroladores avançados, como o *ESP32*, permite o monitoramento em tempo real das condições hídricas do solo e o controle automático dos sistemas de irrigação, conforme a necessidade identificada (Raju; Patil; Kumar, 2020). Neste projeto, foram utilizados quatro componentes principais: a placa *ESP32 DOIT DevKit v1*, o sensor capacitivo de umidade do solo v1.2, a mini-bomba d'água 12V modelo RS-385 e o *display OLED 128x64* de 0,96" com interface *I2C*.

O microcontrolador *ESP32 DOIT DevKit v1*, equipado com o módulo *ESP32-WROOM-32*, foi escolhido por oferecer um excelente equilíbrio entre desempenho e baixo consumo de energia. Ele possui dois núcleos de processamento, conectividade *Wi-Fi* e *Bluetooth* integradas, e diversas portas analógicas e digitais, facilitando a leitura de sensores e o acionamento de atuadores. Além disso, sua compatibilidade

com plataformas como *PlatformIO* e sua ampla documentação tornam o desenvolvimento mais acessível. A conectividade *Wi-Fi* permite o envio dos dados coletados para plataformas em nuvem, viabilizando o monitoramento remoto, armazenamento histórico e análises posteriores (Martins; Souza, 2023).

Para a leitura da umidade do solo, foi adotado o sensor capacitivo de umidade do solo v1.2, que apresenta maior durabilidade e estabilidade em comparação com sensores resistivos, graças à sua estrutura com eletrodos de cobre isolados e revestidos por resina. Esse sensor é baseado na variação da constante dielétrica do solo, que influencia diretamente a capacitância medida. O modelo v1.2 opera em faixa de tensão entre 3,3 V e 5 V, sendo compatível com a tensão de operação do *ESP32*, e oferece saída analógica, permitindo medições contínuas e calibráveis. Sua maior resistência à corrosão e precisão justificam sua escolha para sistemas automatizados em ambientes externos.

O sistema de irrigação é acionado por uma mini-bomba d'água 12V do tipo RS-385, um modelo amplamente utilizado em projetos de automação por sua baixa corrente de operação (cerca de 0,3 a 0,5 A), boa vazão e custo acessível. A bomba é compacta, leve e adequada para aplicações com reservatórios pequenos e cultivos de hortaliças, como hortas comunitárias. Sua vazão pode alcançar até 2 litros por minuto, tornando-a eficiente para irrigação localizada. O acionamento da bomba é realizado por meio de um transistor *Darlington* do tipo *TIP122*, que atua como um interruptor eletrônico controlado pela saída digital do *ESP32*. O *TIP122* suporta correntes superiores a 5 A, sendo mais do que suficiente para a carga exigida pela bomba, além de permitir comutação eficiente e segura com poucos componentes adicionais.

Para a exibição local das informações do sistema, foi utilizado um *display OLED* de 0,96 polegadas com resolução de 128x64 *pixels* e interface *I2C*. Este componente foi escolhido por seu baixo consumo de energia, bom contraste, ampla visibilidade em ambientes externos e fácil integração com microcontroladores compatíveis com o protocolo *I2C*. O *display* permite ao usuário visualizar, em tempo real, dados como nível de umidade do solo, estado da bomba e modo de operação do sistema, sem a necessidade de conexão a dispositivos externos.

A calibração do sensor de umidade é uma etapa essencial e deve ser feita considerando as características específicas do solo local, como tipo, densidade e salinidade, bem como as condições climáticas predominantes (Andrade; Souza, 2021). Métodos práticos de calibração envolvem a coleta de amostras com diferentes níveis de umidade, solo seco, solo úmido e solo saturado, para correlacionar os valores analógicos lidos com o percentual real de umidade, gerando uma curva de resposta personalizada para o ambiente de aplicação.

2.5 Internet das coisas na agricultura

A Internet das Coisas (IoT) consiste na conexão de objetos físicos à internet, possibilitando a coleta, troca e análise automatizada de dados em tempo real (Atzori; Iera; Morabito, 2010). No contexto agrícola, essa tecnologia tem transformado práticas tradicionais, viabilizando sistemas inteligentes para monitoramento ambiental, irrigação e controle de insumos, o que contribui significativamente para a agricultura de precisão (Zhang *et al.*, 2019).

Esses sistemas conectam sensores, atuadores e dispositivos computacionais, formando redes que fornecem informações detalhadas sobre as condições do solo, clima e plantas, facilitando a tomada de decisões mais assertivas. A integração da IoT com plataformas digitais que utilizam inteligência artificial e análise de dados permite prever as necessidades das culturas e otimizar o uso de recursos (Kumar; Lal, 2021), promovendo uma agricultura mais sustentável e competitiva.

A arquitetura dos sistemas IoT agrícolas é composta por diversas camadas: sensores que capturam dados essenciais como umidade, temperatura e luminosidade; microcontroladores, como o *ESP32*, responsáveis pelo processamento local e acionamento de equipamentos; redes de comunicação que transmitem as informações via *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *LoRa* ou redes celulares; e plataformas na nuvem que armazenam e analisam os dados, disponibilizando-os em *dashboards* para acesso remoto (Atzori; Iera; Morabito, 2010; Kumar; Lal, 2021; Zhang *et al.*, 2019).

O monitoramento remoto viabilizado pela IoT reduz a necessidade de visitas constantes ao campo, economizando tempo e recursos, e possibilita respostas rápidas a condições adversas. Além disso, a análise contínua dos dados favorece a identificação de padrões e tendências, apoiando decisões fundamentadas em evidências científicas para o manejo eficiente da irrigação, fertilização e outras práticas agrícolas (Kumar; Lal, 2021; Oliveira; Costa, 2020).

Por fim, a utilização da IoT contribui para a sustentabilidade do setor ao evitar a aplicação excessiva de água e insumos, minimizando os impactos ambientais e promovendo o equilíbrio entre produtividade e conservação dos recursos naturais (Santos; Gonçalves, 2019). Dessa forma, a IoT configura-se como uma ferramenta estratégica essencial para a modernização e sustentabilidade da agricultura.

2.6 Plataforma *Blynk* para monitoramento e controle

A plataforma *Blynk* é uma solução de software proprietária que facilita o desenvolvimento e o controle de projetos de IoT por meio de interfaces gráficas intuitivas (Blynk, 2022). Ela oferece um ambiente amigável que permite aos usuários criar *dashboards* customizados para monitorar e gerenciar dispositivos conectados, sem a necessidade de conhecimentos avançados em programação. Embora o código-

fonte completo da plataforma não seja aberto, o *Blynk* disponibiliza bibliotecas *open source* para integração com microcontroladores, facilitando a programação dos dispositivos.

A plataforma suporta múltiplos sistemas operacionais móveis, como *Android* e *iOS*, ampliando a acessibilidade e a praticidade para agricultores e técnicos em campo. Sua arquitetura baseada em nuvem propicia comunicação eficaz entre sensores, dispositivos e usuários, permitindo o controle remoto de sistemas automatizados por meio do *app* móvel do *Blynk* (Widianto *et al.*, 2023).

Além disso, o *Blynk* incorpora protocolos de segurança que garantem a proteção dos dados e a integridade das conexões entre dispositivos e servidores, aspectos essenciais para a confiabilidade em aplicações agrícolas (Smith; Lee, 2021).

Por consequência, o *Blynk* integra-se facilmente com microcontroladores populares, como o *ESP32*, facilitando o desenvolvimento de sistemas de irrigação inteligente e monitoramento ambiental (Raju; Patil; Kumar, 2020). Sua flexibilidade e escalabilidade o tornam uma ferramenta valiosa para aplicações agrícolas modernas, possibilitando a integração com diversos sensores, como de umidade do solo, temperatura e luminosidade, ampliando o potencial de automação e precisão no manejo das culturas.

Diversos estudos de caso demonstram a efetividade do uso do *Blynk* em projetos agrícolas, evidenciando a melhoria na eficiência hídrica e a redução de custos operacionais por meio do monitoramento remoto e do controle automatizado (Oliveira; Santos, 2022).

O controle de irrigação via aplicativo *Blynk* oferece aos usuários a possibilidade de ajustar parâmetros como horários, duração e frequência da irrigação diretamente pelo *smartphone* (Blynk, 2022). Essa interface intuitiva permite que agricultores façam intervenções rápidas e monitoramento constante, mesmo estando longe da propriedade.

Além do controle manual, é possível programar ações automáticas baseadas nos dados dos sensores, tornando o sistema inteligente e adaptativo (Pereira; Chaari; Daroge, 2023). Alertas e notificações podem ser configurados para informar o usuário sobre condições críticas ou falhas no sistema, garantindo maior segurança e eficiência.

Esse nível de controle e monitoramento contribui para a economia de água, a redução de custos operacionais e o aumento da produtividade agrícola (Raju; Patil; Kumar, 2020). Assim, o uso de aplicativos móveis, como o *Blynk*, democratiza o acesso à tecnologia facilitando o gerenciamento remoto e fortalecendo práticas de agricultura sustentável.

Dessa forma, a integração de tecnologias de IoT, como a plataforma *Blynk*, com sistemas automatizados de irrigação representa um avanço significativo para a modernização da agricultura. Ao combinar monitoramento em tempo real, controle

remoto e automação inteligente, essas soluções promovem maior eficiência no uso dos recursos hídricos, redução de custos e incremento na produtividade.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois visa gerar conhecimento voltado à solução de problemas concretos, com aplicabilidade prática no contexto social (Gil, 2008). Trata-se de uma investigação experimental, uma vez que envolve a construção e o teste de um protótipo em condições controladas, buscando avaliar seu desempenho e eficiência. Quanto à abordagem metodológica, adota-se uma estratégia quanti-qualitativa, que alia a mensuração de dados à análise da percepção dos usuários sobre a adoção do sistema (Creswell, 2010).

Este capítulo apresenta os procedimentos adotados para o desenvolvimento, implementação e validação do protótipo de irrigação automatizada. As etapas metodológicas foram organizadas de forma a garantir a viabilidade técnica, funcional e econômica do sistema proposto.

Inicialmente, são descritos os materiais utilizados e o processo de montagem do circuito eletrônico. Em seguida, detalha-se o projeto da placa de circuito impresso (PCI), o ajuste dos sensores de umidade, o desenvolvimento do *firmware* embarcado no microcontrolador *ESP32*, bem como a aplicação de questionários para avaliação da aceitação do sistema. Por fim, são apresentados os critérios de instalação do protótipo em campo e os procedimentos experimentais utilizados para comparar o desempenho da irrigação automatizada com o método tradicional manual. A metodologia adotada visa assegurar a replicabilidade da solução proposta, alinhando aspectos computacionais, ambientais e sociais.

3.1 Diagrama esquemático do circuito

A Figura 5 apresenta o diagrama esquemático do circuito desenvolvido para o protótipo de irrigação automatizada. Esse diagrama foi elaborado utilizando o *software Fritzing* e representa a interligação dos principais componentes eletrônicos do sistema.

e sensores de umidade são alimentados diretamente pela saída de 3.3V do ESP32.

- Controle da bomba d'água: realizado através do transistor TIP122, que funciona como chaveamento eletrônico. Um diodo 1N4007 é usado para proteção contra corrente reversa.
- Leitura de sensores de umidade: dois sensores capacitivos de umidade do solo conectados aos pinos analógicos do *ESP32*.
- Indicação visual e sonora: *LEDs* para indicar o modo de operação (automático/manual) e *status* do *Wi-Fi*, além de um *buzzer* para alertas.
- *Display OLED*: exibe a umidade lida pelos sensores e o *status* do sistema.
- Botões de controle: três botões físicos permitem alternar entre os modos de operação e ligar/desligar a bomba manualmente.
- Transistor BC548: utilizado para acionamento do *buzzer*.

Esse diagrama foi fundamental para a transição do protótipo na *protoboard* para o projeto da placa de circuito impresso, apresentado na Seção 3.3.

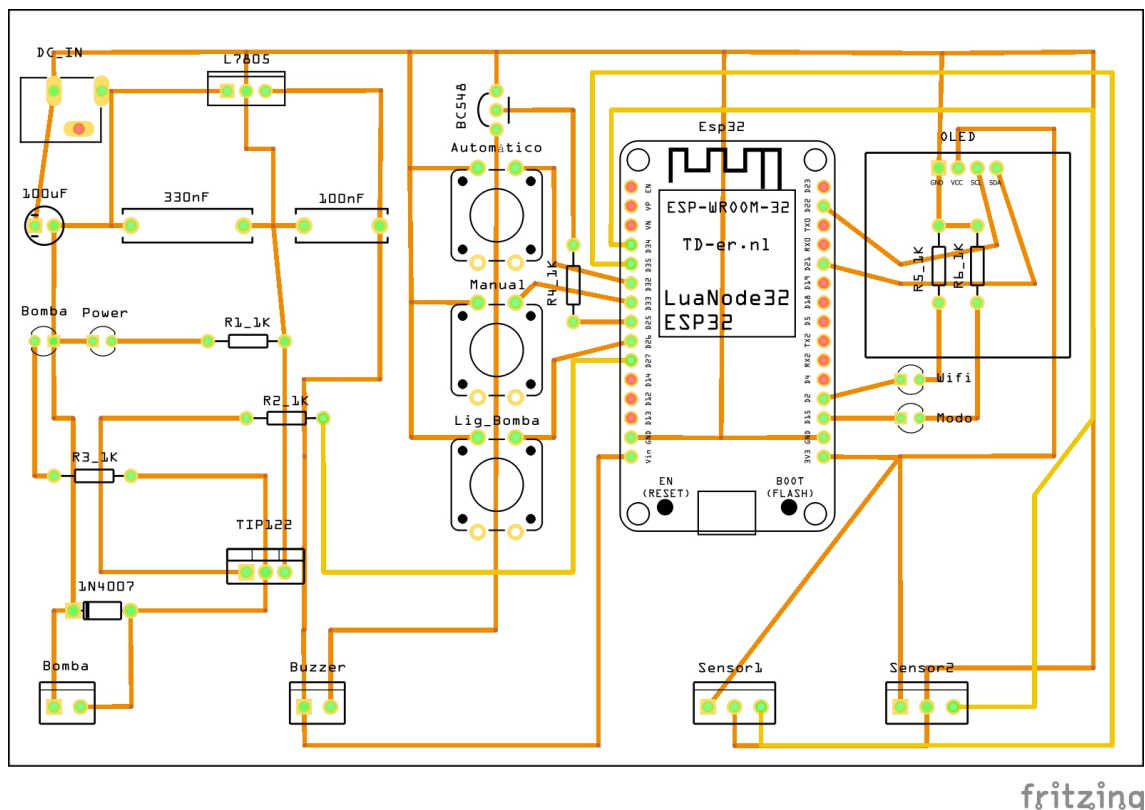
3.2 Projeto da placa de circuito impresso

Com o objetivo de tornar o sistema mais compacto, robusto e de fácil montagem, foi desenvolvido o *layout* da placa de circuito impresso (PCI), visando substituir a *protoboard* utilizada na fase inicial de testes por uma solução definitiva, que possa ser implementada diretamente no campo. O desenvolvimento do *layout* foi realizado utilizando a plataforma *Fritzing*, que permite tanto o desenho esquemático quanto o roteamento das trilhas da placa. O projeto considerou os seguintes aspectos:

- Organização dos componentes: posicionamento estratégico para facilitar a conexão dos sensores, bomba de água, *buzzer*, *display* e botões.
- Conectores tipo borne: foram utilizados para as conexões externas, proporcionando maior segurança e praticidade durante a instalação.

A Figura 6 apresenta o *layout* final da placa desenvolvido no *Fritzing*.

Figura 6 – *Layout* do projeto da PCI desenvolvido no *Fritzing*



Fonte: Autoria própria (2025)

Esse projeto da placa é fundamental para a replicabilidade do sistema em outras hortas comunitárias, pois facilita a padronização e a redução de custos de produção em larga escala.

3.3 Ajuste dos sensores de umidade

O ajuste dos sensores de umidade foi um procedimento essencial para garantir a precisão das medições utilizadas no acionamento do sistema automatizado de irrigação. Conforme descrito por Abdelmoneim *et al.* (2025), sensores capacitivos de baixo custo, como o modelo *Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2* utilizado neste projeto, apresentam variações de resposta entre diferentes unidades, tornando imprescindível o processo de ajuste individualizado.

Para obter resultados mais precisos e minimizar os efeitos de ruídos ou variações instantâneas nas leituras, foi desenvolvido um procedimento em duas etapas. Primeiramente, foi implementado um código no *PlatformIO*, responsável por coletar 100 medições consecutivas e calcular a média aritmética dessas leituras.

Em seguida, foi realizada a coleta de 30 médias calculadas a partir das 100 medições individuais, totalizando, portanto, 3.000 medições por condição (seco e molhado) para cada sensor. Esse método robusto foi adotado com base em proce-

dimentos similares descritos por Nagahage *et al.* (2019) e Hrisiko (2020), que recomendam a realização de múltiplas leituras seguidas da obtenção de médias para suavização de ruídos elétricos e instabilidades ambientais.

As medições foram realizadas sob as seguintes condições:

- Solo seco: foi utilizado uma amostra do próprio solo da horta onde o sistema seria instalado. Essa amostra foi acondicionada em um recipiente de plástico e deixada completamente seca, sem qualquer umidade;
- Solo molhado: também foi utilizada uma amostra do mesmo solo da horta, acondicionada em um recipiente plástico e saturada com água até atingir o ponto de máxima umidade.

Esse procedimento buscou representar fielmente as condições reais de uso do sistema, o que é recomendado em projetos de irrigação automatizada, conforme destacado por (Chowdhury *et al.*, 2022).

A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos após o processo de ajuste individual para cada sensor:

Tabela 1 – Valores médios obtidos pelos sensores nas diferentes condições do solo

Sensor	Condição	Valor médio obtido
S1	Seco	2639
S1	Molhado	989
S2	Seco	2656
S2	Molhado	1031

Fonte: Autoria própria (2025)

A comparação dos resultados mostra pequenas diferenças entre os sensores, mesmo submetidos às mesmas condições ambientais. Esse comportamento já foi relatado por Abdelmoneim *et al.* (2025) e Chowdhury *et al.* (2022), que associam tais diferenças a variações no processo de fabricação e sensibilidade de cada unidade. Assim, reforça-se a necessidade de ajuste individualizado para garantir a confiabilidade dos dados no contexto do monitoramento agrícola.

Para o cálculo do percentual de umidade, foi utilizada a função *map()*, que realiza a interpolação linear entre os valores mínimos (solo molhado) e máximos (solo seco), convertendo as leituras analógicas em porcentagens de umidade. A função *constrain()* foi aplicada para garantir que o resultado fosse limitado entre 0% (seco) e 100% (encharcado), conforme recomendado por (Hrisiko, 2020).

3.4 Desenvolvimento do *firmware*

O *firmware* do sistema de irrigação foi implementado utilizando a linguagem C no *PlatformIO*, embarcado no *ESP32*. O sistema tem como principais funções o monitoramento da umidade do solo por meio de dois sensores capacitivos, controle automático e manual da bomba de irrigação, e comunicação com a nuvem *Blynk* para supervisão remota via aplicativo. A seguir, é feita uma análise detalhada da estrutura e funcionamento do código embarcado.

3.4.1 Inclusão de Bibliotecas e Configurações Iniciais

A primeira parte do código inclui as bibliotecas necessárias para o funcionamento do sistema, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Inclusão de bibliotecas

```
#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <Wire.h>
#include <U8g2lib.h>
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Essas bibliotecas possuem as seguintes finalidades:

- *WiFi.h*: permite o *ESP32* conectar-se a uma rede *Wi-Fi* local;
- *BlynkSimpleEsp32.h*: implementa os métodos da plataforma *Blynk* para o controle e monitoramento remoto do sistema;
- *Wire.h*: necessária para comunicação via protocolo I2C;
- *U8g2lib.h*: utilizada para controlar o *display OLED* gráfico 128x64 com *driver SSD1306*.

Em seguida, são definidos os parâmetros de autenticação da plataforma *Blynk* e as credenciais da rede *Wi-Fi* utilizada, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Autenticação *Blynk* e *Wi-Fi*

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "ID_TEMPLATE"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "NOME_TEMPLATE"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "AUTH_TOKEN"

const char* SSID = "LOGIN";
const char* PASSWORD = "SENHA";
```

Fonte: Autoria própria (2025)

3.4.2 Declaração de pinos e parâmetros

A definição dos pinos utilizados no sistema está representada na Figura 9.

Figura 9 – Definição de pinos

```
const int BOMBA_PIN = 27;  
const int BUZZER_PIN = 25;  
const int BTN_AUTO = 32;  
const int BTN_MANUAL = 33;  
const int BTN_LIGAR_BOMBA = 26;  
const int LED_MODAL = 2;  
const int LED_WIFI = 15;  
const int SENSOR_UMIDADE_1 = 34;  
const int SENSOR_UMIDADE_2 = 35;
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 10, são definidos os limiares de umidade do solo para acionamento e desligamento da bomba no modo automático.

Figura 10 – Parâmetros de controle de irrigação

```
const int UMIDADE_MIN_ACIONAR = 30;  
const int UMIDADE_MAX_DESLIGAR = 70;
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Esses valores definem os limiares de umidade do solo, em porcentagem, que determinam o acionamento ou desligamento da bomba no modo automático.

o ajuste dos sensores foi feita de forma empírica, com os valores exibidos na Figura 11.

Figura 11 – Valores do ajuste dos sensores

```
const int SENSOR_1_SECO = 2514.34;  
const int SENSOR_1_MOLHADO = 989.06;  
const int SENSOR_2_SECO = 2534.17;  
const int SENSOR_2_MOLHADO = 1031.76;
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Também são definidos parâmetros de temporização utilizados ao longo do programa, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Constantes de tempo

```
const unsigned long DEBOUNCE_DELAY_MS = 150;
const unsigned long UPDATE_DISPLAY_INTERVALO_MS = 1000;
const unsigned long UPDATE_BLYNK_INTERVALO_MS = 900000;
const unsigned long BEEP_DURACAO_MS = 50;
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Essas constantes controlam, por exemplo, o tempo entre atualizações do *display*, intervalo de envio de dados para o *Blynk* (a cada 15 minutos), e a duração do som emitido pelo *buzzer*.

3.4.3 Inicialização do *display OLED*

O *display OLED* utilizado no sistema é do tipo gráfico, com resolução de 128x64 *pixels*, *driver* SSD1306 e comunicação via protocolo *I2C*. A inicialização é realizada com a biblioteca *U8g2lib*, conforme a Figura 13.

Figura 13 – Inicialização do *display OLED*

```
U8G2_SSD1306_128X64_NONAME_F_HW_I2C u8g2(U8G2_R0, U8X8_PIN_NONE);

void inicializarOLED() {
    u8g2.begin();
    u8g2.setFont(u8g2_font_ncenB08_tr);
    u8g2.clearBuffer();
    u8g2.drawStr(0, 10, "Iniciando...");
    u8g2.sendBuffer();
    delay(1000);
    u8g2.clearBuffer();
    u8g2.sendBuffer();
}
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Durante a inicialização, é exibida a mensagem "Iniciando..." para indicar que o sistema foi energizado corretamente. A biblioteca *U8g2* trabalha com um *buffer* interno, o que permite a construção de telas mais complexas antes de enviá-las para o *display* com `sendBuffer()`.

3.4.4 Conexão com a rede Wi-Fi

A função *conectarWiFi()*, ilustrada na Figura 14, realiza a conexão do *ESP32* à rede sem fio local, utilizando o modo estação (*WIFI_STA*). O código realiza até 20 tentativas de conexão, com um pequeno atraso entre elas, e acende um *LED* no pino 15 se a conexão for bem-sucedida.

Figura 14 – Função de conexão *Wi-Fi*

```

void conectarWiFi() {
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(SSID, PASSWORD);
  int tentativas = 0;
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && tentativas < 20) {
    delay(500);
    tentativas++;
  }
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    digitalWrite(LED_WIFI, HIGH);
  }
}

```

Fonte: Autoria própria (2025)

Esse procedimento garante que o sistema esteja devidamente conectado antes de iniciar a comunicação com a plataforma *Blynk*, que depende da internet para enviar e receber dados.

3.4.5 Leitura dos sensores e conversão de dados

A leitura dos sensores de umidade e sua conversão para percentual é feita conforme a Figura 15. A função *lerUmidade()* realiza a leitura analógica do pino correspondente, mapeia o valor com base nos dados de ajustes e retorna a umidade em formato percentual:

Figura 15 – Leitura dos sensores

```

int lerUmidade(int sensorPin, int seco, int molhado) {
  int valorAnalogico = analogRead(sensorPin);
  int umidadePercentual = map(valorAnalogico, seco, molhado, 0, 100);
  return constrain(umidadePercentual, 0, 100);
}

```

Fonte: Autoria própria (2025)

A função *map()* converte o valor do sensor para a escala de 0 a 100%, com base nas leituras de solo seco e molhado feitas anteriormente. Já a função *constrain()* garante que os valores se mantenham dentro dos limites definidos, evitando distorções causadas por ruídos ou desvios.

3.4.6 Atualização do *display* com os dados

O *display OLED* é utilizado para fornecer uma visualização local em tempo real da umidade do solo de ambos os sensores, o modo de operação e o estado da

bomba. A função *atualizarDisplay()*, representada na Figura 16, é chamada a cada segundo e atualiza as informações visuais com base nas leituras mais recentes.

Figura 16 – Atualização do *display OLED*

```
void atualizarDisplay(int umidade1, int umidade2) {
    if (millis() - ultimaAtualizacaoDisplay >= UPDATE_DISPLAY_INTERVALO_MS) {
        u8g2.clearBuffer();
        u8g2.setCursor(0, 10);
        u8g2.printf("Umidade S1:%3d%", umidade1);
        u8g2.setCursor(0, 25);
        u8g2.printf("Umidade S2:%3d%", umidade2);
        u8g2.setCursor(0, 40);
        u8g2.print(modoAutomatico ? "Modo: Automático" : "Modo: Manual");
        u8g2.setCursor(0, 55);
        u8g2.print(bombaLigada ? "Bomba: Ligada" : "Bomba: Desligada");
        u8g2.sendBuffer();
        ultimaAtualizacaoDisplay = millis();
    }
}
```

Fonte: Autoria própria (2025)

A visualização constante das leituras no *display* é essencial para permitir que os usuários acompanhem o funcionamento do sistema mesmo sem acesso ao aplicativo *Blynk*.

3.4.7 Envio de dados ao *Blynk*

O sistema envia os dados dos sensores e do estado da bomba para o aplicativo *Blynk* a cada 15 minutos, utilizando pinos virtuais. A função *atualizarBlynk()* é responsável por essa tarefa, conforme ilustrado na figura 17.

Figura 17 – Envio de dados ao *Blynk*

```
void atualizarBlynk(int umidade1, int umidade2) {
    if (millis() - ultimaAtualizacaoBlynk >= UPDATE_BLYNK_INTERVALO_MS) {
        Blynk.virtualWrite(V0, umidade1);
        Blynk.virtualWrite(V1, umidade2);
        Blynk.virtualWrite(V2, modoAutomatico ? "AUTO" : "MANUAL");
        Blynk.virtualWrite(V3, bombaLigada ? "Ligada" : "Desligada");
        ultimaAtualizacaoBlynk = millis();
    }
}
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Os dados enviados podem ser visualizados em tempo real no aplicativo *Blynk* por meio de gráficos e indicadores, permitindo ao usuário acompanhar a situação da horta remotamente.

3.4.8 Controle dos botões físicos e modos de operação

A Figura 18 apresenta a lógica de leitura dos três botões físicos: um para alternar para o modo automático, outro para o modo manual e um terceiro para ligar ou desligar a bomba manualmente. A função *handleBotoes()* faz a leitura desses botões com controle de *debounce* para evitar leituras falsas causadas por ruído mecânico.

Figura 18 – Controle dos botões físicos

```
void handleBotoes() {
    unsigned long agora = millis();
    if (digitalRead(BTN_AUTO) == LOW && (agora - ultimaDebounceBtnAuto) > DEBOUNCE_DELAY_MS) {
        if (!modoAutomatico) {
            modoAutomatico = true;
            estadoBombaManual = false;
            digitalWrite(LED_MODAL, LOW);
            tocarBuzzer();
        }
        ultimaDebounceBtnAuto = agora;
    }
    if (digitalRead(BTN_MANUAL) == LOW && (agora - ultimaDebounceBtnManual) > DEBOUNCE_DELAY_MS) {
        if (modoAutomatico) {
            modoAutomatico = false;
            digitalWrite(LED_MODAL, HIGH);
            tocarBuzzer();
        }
        ultimaDebounceBtnManual = agora;
    }
    if (!modoAutomatico && digitalRead(BTN_LIGAR_BOMBA) == LOW &&
        (agora - ultimaDebounceBtnLigaBomba) > DEBOUNCE_DELAY_MS) {
        estadoBombaManual = !estadoBombaManual;
        tocarBuzzer();
        ultimaDebounceBtnLigaBomba = agora;
    }
}
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Além da mudança de estado, o sistema fornece um sinal sonoro de confirmação por meio do *buzzer* sempre que um botão é pressionado.

3.4.9 Controle da bomba de irrigação

A função *controlarBomba()* é responsável por tomar decisões com base nos dados dos sensores de umidade, acionando ou desligando a bomba conforme o modo de operação e os valores lidos. A lógica de decisão é descrita de acordo com a Figura 19.

Figura 19 – Controle da bomba de irrigação

```

void controlarBomba() {
    int umidade1 = lerUmidade(SENSOR_UMIDADE_1, SENSOR_1_SECO, SENSOR_1_MOLHADO);
    int umidade2 = lerUmidade(SENSOR_UMIDADE_2, SENSOR_2_SECO, SENSOR_2_MOLHADO);

    if (modoAutomatico == true) {
        if (umidade1 < UMIDADE_MIN_ACIONAR && umidade2 < UMIDADE_MIN_ACIONAR) {
            ligarBomba();
        } else {
            if (umidade1 > UMIDADE_MAX_DESLIGAR && umidade2 > UMIDADE_MAX_DESLIGAR) {
                desligarBomba();
            }
        }
    } else {
        if (estadoBombaManual == true) {
            ligarBomba();
        } else {
            desligarBomba();
        }
    }

    atualizarDisplay(umidade1, umidade2);
    atualizarBlynk(umidade1, umidade2);
}

```

Fonte: Autoria própria (2025)

No modo automático, a lógica de acionamento da bomba foi projetada para evitar oscilações indesejadas, mesmo quando os valores de umidade se aproximam do limiar de controle. Isso é possível porque a ativação e desativação da bomba ocorrem apenas uma vez ao atingir os limites estabelecidos, evitando que a bomba fique ligando e desligando repetidamente devido a pequenas variações nos sensores. A bomba é acionada somente quando ambos os sensores de umidade indicam valores abaixo do valor mínimo configurado, sinalizando necessidade de irrigação. Por outro lado, a bomba é desligada quando ambos os sensores retornam valores acima do valor máximo, indicando que o solo já está suficientemente úmido.

É importante ressaltar que os valores de umidade mínima e máxima podem ser ajustados conforme as necessidades específicas de cada tipo de cultivo, proporcionando maior flexibilidade ao sistema e adequação agrônômica às características das plantas.

No modo manual, o controle do acionamento da bomba é feito pela variável `estadoBombaManual`, que pode ser modificada por meio de um botão físico no sistema ou por comandos enviados através do aplicativo. Dessa forma, o usuário mantém controle direto da irrigação, independentemente dos valores de umidade

medidos.

3.4.10 Comandos remotos via *Blynk*

Além dos botões físicos, o sistema também pode ser operado remotamente através do aplicativo *Blynk*, por meio de comandos enviados aos pinos virtuais V4, V5 e V6. A implementação desses comandos está representada na Figura 20.

Figura 20 – Controle remoto via *Blynk*

```
BLYNK_WRITE(V4) {
  int value = param.asInt();
  if (value) {
    modoAutomatico = true;
    estadoBombaManual = false;
    digitalWrite(LED_MODAL, LOW);
    tocarBuzzer();
  }
}

BLYNK_WRITE(V5) {
  int value = param.asInt();
  if (value) {
    modoAutomatico = false;
    digitalWrite(LED_MODAL, HIGH);
    tocarBuzzer();
  }
}

BLYNK_WRITE(V6) {
  if (!modoAutomatico) {
    estadoBombaManual = param.asInt();
    tocarBuzzer();
  }
}
```

Fonte: Autoria própria (2025)

Essa integração amplia a usabilidade do sistema, permitindo que o usuário atue de forma remota mesmo estando fora do ambiente da horta.

3.4.11 Funções *setup()* e *loop()*

A função *setup()*, ilustrada na Figura 21, é executada uma única vez na inicialização do sistema. Nela são feitas todas as configurações iniciais de pinos, *display*, conexão *Wi-Fi* e autenticação na plataforma *Blynk*.

Figura 21 – Função *setup()*

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  pinMode(BOMBA_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  pinMode(LED_MODAL, OUTPUT);
  pinMode(LED_WIFI, OUTPUT);
  pinMode(BTN_AUTO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BTN_MANUAL, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BTN_LIGAR_BOMBA, INPUT_PULLUP);

  desligarBomba();
  digitalWrite(LED_MODAL, LOW);

  inicializarOLED();
  conectarWiFi();
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, SSID, PASSWORD);
}

```

Fonte: Autoria própria (2025)

Já a função *loop()* é executada continuamente, mantendo o sistema em funcionamento. Nela são chamadas as funções de controle dos botões, lógica de irrigação e manutenção da conexão com o *Blynk*, conforme a Figura 22.

Figura 22 – Função *loop()*

```

void loop() {
  Blynk.run();
  handleBotoes();
  controlarBomba();
}

```

Fonte: Autoria própria (2025)

Essa estrutura garante que o sistema reaja em tempo real às mudanças de umidade do solo e às interações do usuário, tanto locais quanto remotas.

3.5 Levantamento social e diagnóstico comunitário

Realizado no Assentamento Bom Jesus, conhecido popularmente como “Sem Terra”, localizado no município de Poço Dantas, interior da Paraíba, este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade social e a aceitação de um sistema de irrigação automatizada em hortas comunitárias. O assentamento, formado por unidades

habitacionais cuja maioria das famílias depende de programas sociais federais, contou com uma horta comunitária implantada em agosto de 2009 e desativada em dezembro de 2013, o que impactou diretamente os moradores participantes.

Com cerca de 80 habitantes, o Assentamento Bom Jesus constitui uma pequena comunidade rural dentro do município de Poço Dantas, que, conforme dados do IBGE de 2021, possui uma população estimada em aproximadamente 7.500 habitantes. Essa diferença demográfica destaca o caráter concentrado do assentamento e reforça a importância de iniciativas locais voltadas ao desenvolvimento sustentável e à segurança alimentar comunitária.

A coleta de dados ocorreu por meio de questionário presencial- Anexo deste trabalho - aplicado através da plataforma *Google Forms*, abordando temas como participação anterior na horta, principais dificuldades enfrentadas, percepções sobre o uso de tecnologias e expectativas para a produção agrícola local. Todos os entrevistados (100%) declararam ter participado da horta antes da sua desativação, afirmando frequência diária, o que evidencia alto engajamento com a produção coletiva.

Entre as hortaliças cultivadas mais citadas destacam-se coentro, cebola, cenoura, pimentão, beterraba e cebolinha, hortaliças comuns na região. A totalidade dos participantes reconheceu que a horta contribuiu significativamente para a alimentação de suas famílias, além de possibilitar geração de renda quando havia excedentes para venda.

Além dos dados quantitativos, entrevistas qualitativas com alguns moradores aprofundaram a compreensão sobre o significado da horta para a comunidade e os benefícios potenciais do uso da tecnologia para sua reativação. Os depoimentos evidenciaram o valor simbólico e afetivo da horta como espaço de convivência e cooperação, além de apontar a desativação como perda significativa, especialmente para famílias economicamente vulneráveis que dependiam parcialmente da produção local. Como ilustram alguns depoimentos selecionados:

“É muito, pois ajuda a poupar água e reduzir o trabalho.” (Morador 3)

“Iria ajudar na vida financeira como também alimentar a comunidade.”

(Moradora 7)

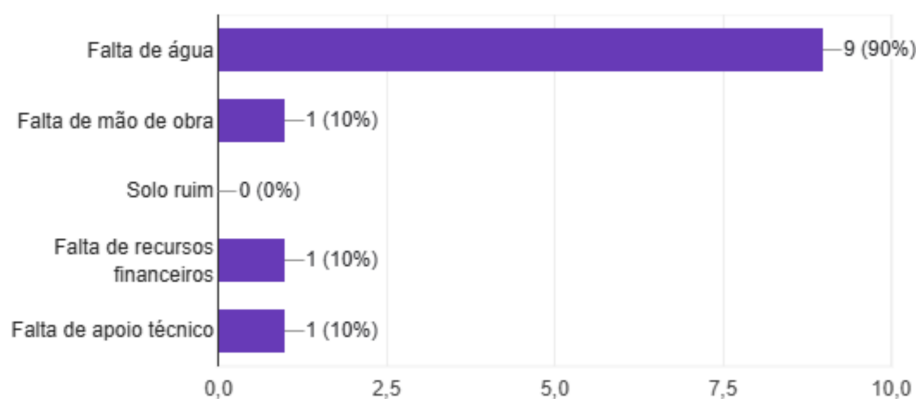
“Se tivermos apoio técnico e água, podemos voltar a produzir e melhorar nossa renda.” (Morador 10)

A Figura 23 apresenta os principais desafios relatados pelos participantes, sendo a falta de água a maior barreira para a manutenção da horta, seguida por ausência de apoio técnico, escassez de mão de obra e dificuldades financeiras.

Figura 23 – Desafios enfrentados pelos participantes

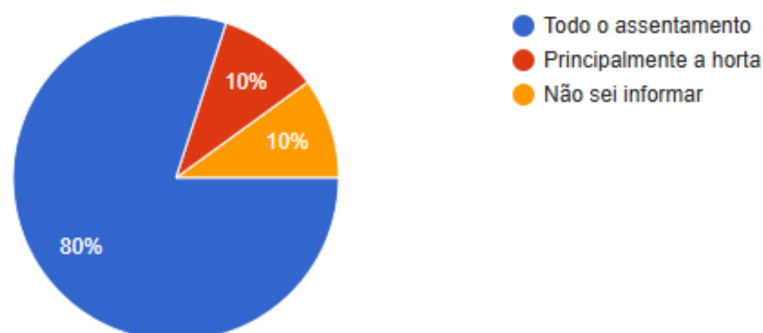
Quais foram os principais problemas enfrentados pela horta?
(pode marcar mais de um)

10 respostas



A escassez de água afetava todo o assentamento ou só a horta?

10 respostas



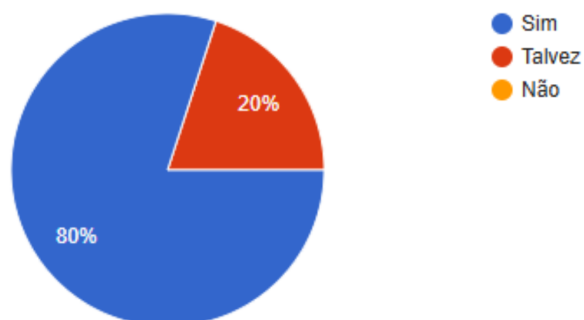
Fonte: Autoria própria (2025)

Os dados da Figura 24 indicam que 80% dos participantes demonstraram interesse direto na implantação de um sistema de irrigação automatizada, enquanto os demais expressaram interesse condicional. Além disso, 90% acreditam que esse sistema ajudaria a reativar a horta, e 60% estariam dispostos a colaborar com o funcionamento do sistema, desde que recebessem treinamento.

Figura 24 – Percepções e interesse dos participantes em relação ao sistema

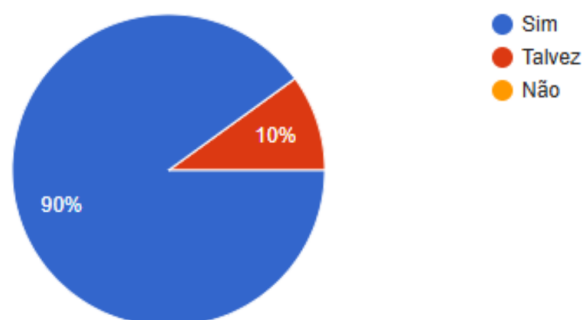
Você se interessaria por um sistema que rega a horta sozinho, baseado na umidade do solo?

10 respostas



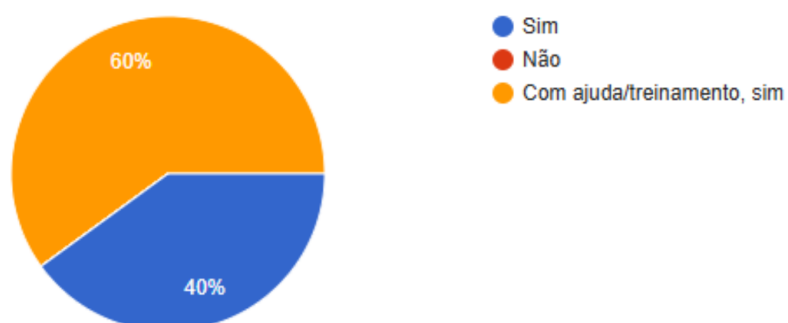
Acha que um sistema assim ajudaria a reativar a horta comunitária?

10 respostas



Você estaria disposto a ajudar a cuidar de um sistema automatizado, mesmo que não entenda muito de tecnologia?

10 respostas



Fonte: Autoria própria (2025)

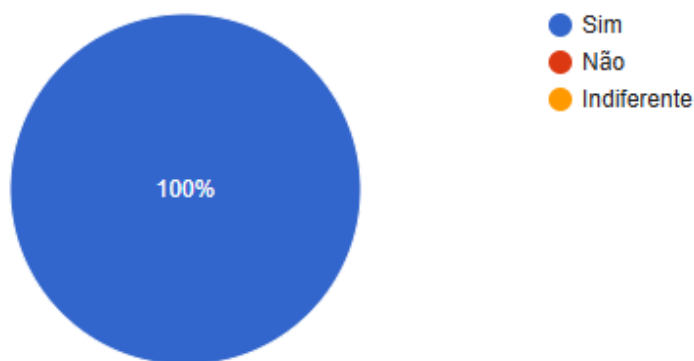
Por fim, a unanimidade quanto ao desejo de reativar a horta comunitária,

apresentada na Figura 25, evidencia o papel social do projeto. Os moradores destacaram a necessidade de apoio técnico, acesso regular à água e incentivo de políticas públicas como fatores essenciais para o sucesso da reativação.

Figura 25 – Desejo de reativação da horta comunitária

Você gostaria que a horta comunitária fosse reativada?

10 respostas



Fonte: Autoria própria (2025)

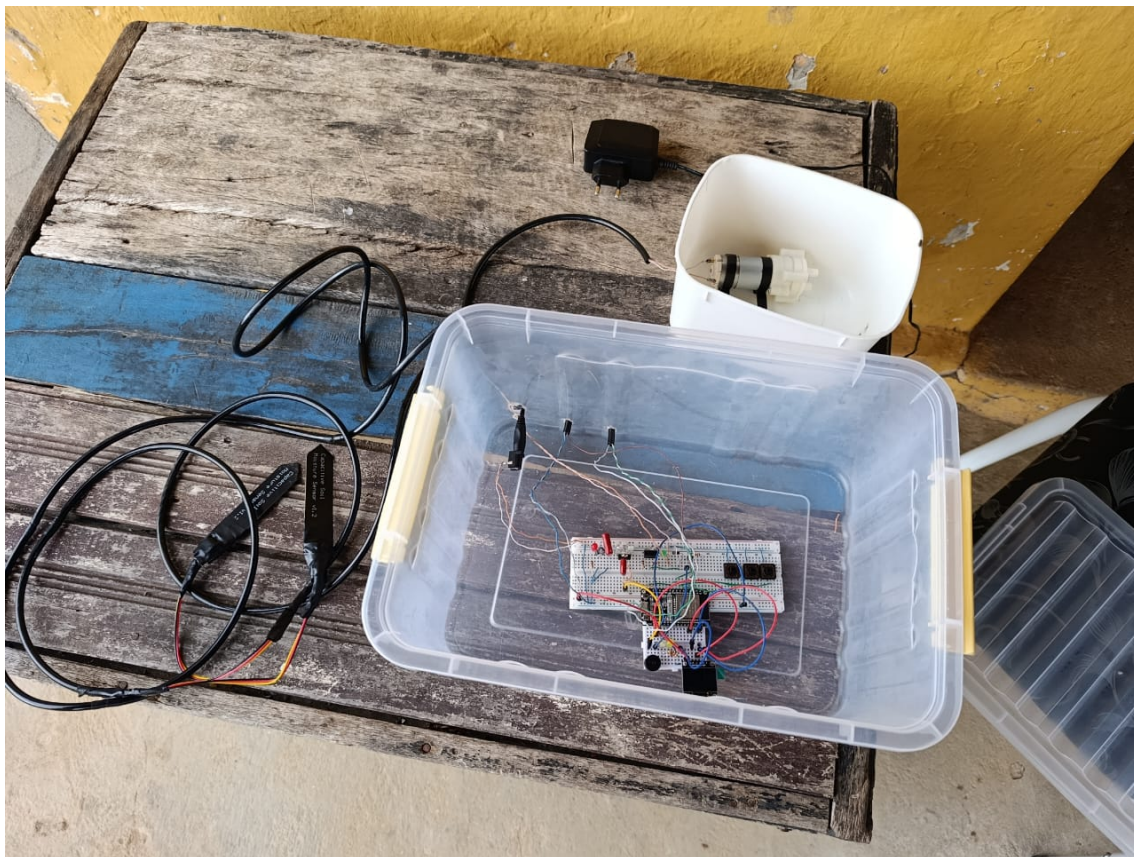
Esses resultados confirmam que a comunidade reconhece o papel das hortas comunitárias para a segurança alimentar e demonstra elevada receptividade à adoção de soluções sustentáveis baseadas em tecnologia. A ampla aceitação do sistema automatizado, somada à disposição dos moradores em colaborar, reforça a importância deste projeto. A reativação da horta, viabilizada por recursos tecnológicos simples e acessíveis, apresenta-se como uma proposta concreta e desejada, com potencial real de impacto social positivo.

3.6 Instalação do protótipo de irrigação automatizada

A instalação do protótipo de irrigação automatizada foi realizada no dia 21 de junho de 2025, às 9h, em um ambiente aberto, com exposição direta à luz solar, na comunidade do Assentamento Bom Jesus, localizada no município de Poço Dantas–PB. A ação contou com a presença dos moradores da comunidade, que acompanharam todo o processo de implantação do sistema, desde o posicionamento dos componentes até a ativação final.

O circuito eletrônico foi inicialmente montado em uma *protoboard*, e alojado em uma caixa plástica transparente, possibilitando a visualização dos dados no *display OLED* e o monitoramento visual por meio dos *LEDs* indicadores. A bomba d'água foi alocada dentro de um recipiente reutilizado, instalado separadamente da caixa de controle, visando proteger os componentes eletrônicos contra umidade e infiltrações. A Figura 26 apresenta a configuração geral do sistema em operação.

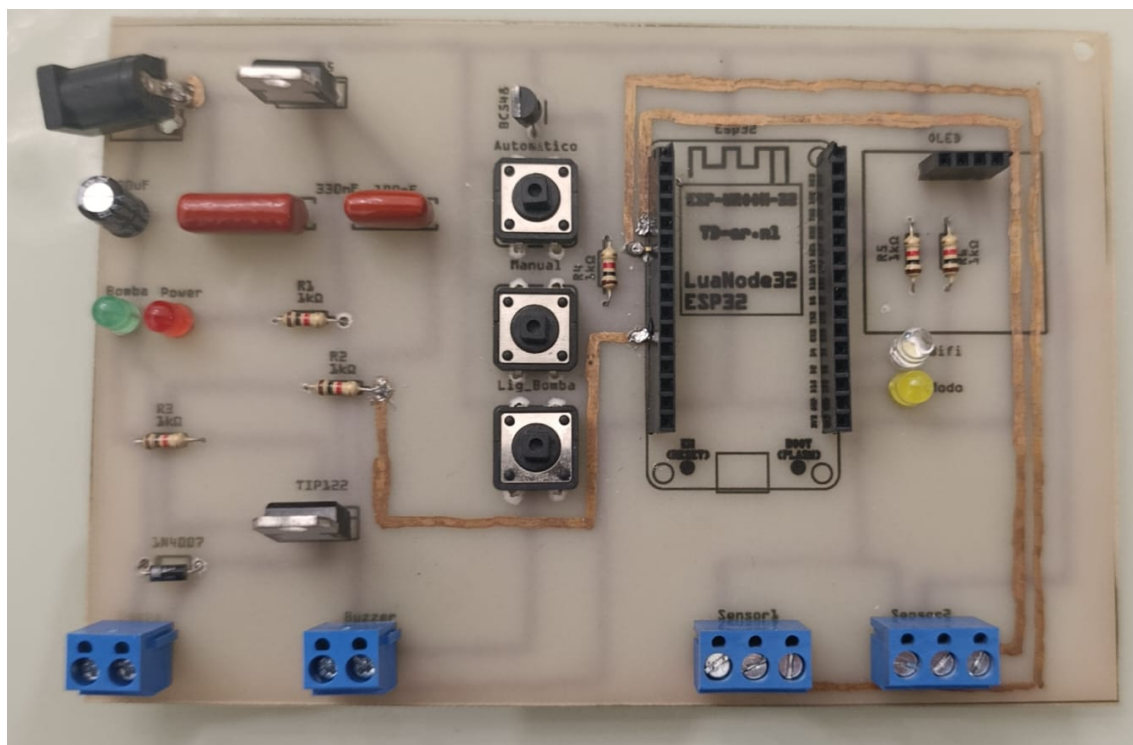
Figura 26 – Circuito montado na *protoboard*



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Após os testes com a *protoboard*, foi confeccionada uma PCI, ilustrada pela Figura 27 que substituiu a montagem inicial, conferindo maior organização, robustez e durabilidade ao protótipo.

Figura 27 – PCI finalizada



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Durante a instalação, foram adotadas medidas de proteção do sistema, como a utilização de mangueiras plásticas flexíveis para encapar os fios dos sensores, reduzindo a exposição à umidade. As conexões elétricas foram isoladas com fita apropriada, proporcionando maior segurança e durabilidade ao funcionamento contínuo do sistema em ambiente externo.

O protótipo foi instalado em duas hortas em que ambas possuem dimensões semelhantes (80 cm por 1,5 m) e foram cultivadas com a mesma variedade e quantidade de hortaliças. O plantio foi realizado com as mesmas espécies vegetais em ambos os canteiros: cebolinha (*Allium fistulosum*) e coentro (*Coriandrum sativum*), garantindo igualdade de condições para análise da eficiência do sistema.

A Figura 28 a seguir mostra o estado inicial da horta, logo após o plantio, antes da instalação do equipamento de automação. Pode-se observar a separação simétrica entre os dois canteiros, preparados com o mesmo substrato e protegidos por tela metálica.

Figura 28 – Hortas separadas para a instalação da irrigação automatizada



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Na Figura 29 demonstra que em uma delas, foi instalado o sistema de irrigação automatizada, composto por gotejadores, sensores de umidade do solo, conduítes e uma interface de controle baseada em microcontrolador, enquanto a outra horta foi mantida com irrigação manual, servindo como grupo controle, com as mesmas condições de solo e cultivo para fins comparativos.

Figura 29 – Hortas separadas para a instalação da irrigação automatizada



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

3.7 Procedimentos experimentais

A fim de garantir a confiabilidade da comparação, o morador responsável pela horta foi orientado a manter seus hábitos tradicionais de irrigação manual apenas na área destinada a esse método, não interferindo na área onde o sistema automatizado foi instalado. Durante o experimento, foram monitorados parâmetros quantitativos, como volume de água utilizado, frequência e duração das irrigações, além de aspectos

qualitativos, incluindo a percepção do usuário quanto à praticidade e eficiência do protótipo.

Para controle e comparação, foram utilizados três baldes durante o experimento: dois com capacidade de 18 litros, cada um contendo 15 litros de água, e um terceiro com capacidade de 5 litros, contendo 1 litro de água, utilizado como controle para medir a taxa de evaporação. Um dos baldes de 18 litros foi conectado ao sistema de irrigação automatizada, enquanto o outro foi reservado para irrigação manual. O balde de 5 litros, posicionado nas mesmas condições ambientais, serviu apenas como parâmetro de evaporação. A disposição física dos baldes e da caixa de controle no ambiente podem ser vistas nas Figuras 30 e 31 .

Figura 30 – Local de instalação



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 31 – Local de instalação



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

O sistema permaneceu em operação até o dia 30 de junho de 2025, às 9h da manhã, totalizando 9 dias completos de coleta de dados.

3.8 Materiais utilizados

Para o desenvolvimento do protótipo de irrigação automatizada, foram utilizados componentes eletrônicos de fácil aquisição e baixo custo. A Tabela 2 apresenta a lista dos materiais, contendo a descrição e a quantidade de cada item.

Tabela 2 – Materiais utilizados no projeto

Item	Descrição	Quantidade	Valor (R\$)
1	Microcontrolador <i>ESP32 (ESP-WROOM-32)</i>	1	23,88
2	<i>Display OLED 0,96"</i> (I2C - 128x64 <i>pixels</i>)	1	25,90
3	Sensores capacitivos de umidade do solo	2	26,62
4	Bomba d'água 12V	1	29,00
5	Diodo 1N4007	1	0,35
6	Transistor TIP122	1	3,78
7	Transistor BC548	1	0,65
8	<i>Buzzer</i> ativo 5V	1	2,70
9	Resistores de 1K	6	1,67
10	LED 5mm	4	0,80
11	Regulador de tensão 7805	1	2,25
12	Capacitores eletrolíticos e poliéster	3	5,02
13	Fonte de alimentação 12V	1	19,90
14	<i>Push-button</i>	3	3,00
15	Kit irrigação de jardim	1	33,50
16	Placa de fenolite face dupla	1	6,75
17	Conector Borne 3 canais	2	3,18
18	Conector Borne 2 canais	2	2,98
Total			R\$191,93

Fonte: Autoria própria (2025)

Observa-se na Tabela 3 que o sistema desenvolvido neste trabalho apresenta um custo competitivo em relação às soluções comerciais e kits *DIY* disponíveis no mercado. Com valor total de R\$191,93, o sistema configura-se como uma solução completa, integrando automação por sensores e controle remoto via aplicativo móvel, funcionalidades essenciais para a irrigação eficiente.

Tabela 3 – Comparativo de custos entre sistemas de irrigação automatizada

Sistema	Tipo	Custo (R\$)
Este projeto	Solução completa	191,93
Kit irrigação com Arduino (Essência Brasileira) ¹	DIY com válvula	164,30
Kit compatível Arduino (RS Robótica) ²	Educacional DIY	232,75
Kit básico com bomba e sensor (Amazon) ³	DIY básico	142,87
Temporizador digital (Magazine Luiza) ⁴	Comercial simples	162,81
Controlador Wi-Fi (Gardentoy) ⁵	Comercial com app	765,33

Fonte: Autoria própria (2025)

Embora alguns *kits DIY* básicos e temporizadores digitais apresentem preços ligeiramente inferiores, tais soluções frequentemente carecem de recursos avançados e integração remota. Por outro lado, sistemas comerciais completos com conectividade *Wi-Fi* e aplicativos dedicados costumam apresentar custos significativamente mais ele-

vados, chegando a ultrapassar quatro vezes o valor do sistema proposto. Portanto, o sistema desenvolvido combina funcionalidades completas e avançadas com um custo acessível, tornando-se uma alternativa viável e eficiente para a automação de irrigação em hortas comunitárias de baixo custo.

Além disso, muitos componentes podem ser reaproveitados de dispositivos eletrônicos antigos ou projetos anteriores, como capacitores, resistores, transistores (exemplo: *TIP122*), reguladores de tensão, conectores e fios. Dessa forma, o investimento necessário pode ser ainda menor, sendo preciso adquirir apenas os componentes específicos, tais como o microcontrolador *ESP32*, sensores de umidade, bomba d'água e *kit* de irrigação.

Vale destacar que o *kit* de irrigação pode ser substituído por uma solução mais simples e econômica, como uma mangueira comum perfurada em pontos estratégicos para a distribuição da água. Essa alternativa pode ser adequada, dependendo do tamanho e da organização da horta, tornando o sistema ainda mais acessível para comunidades com recursos financeiros limitados.

4 RESULTADOS OBTIDOS

A implementação do protótipo de irrigação automatizada na horta comunitária do Assentamento Bom Jesus permitiu a obtenção de resultados preliminares relevantes do ponto de vista técnico, ambiental e social, indicando a viabilidade da solução proposta e seus potenciais benefícios práticos para comunidades rurais de baixa renda.

4.1 Economia de tempo e esforço físico

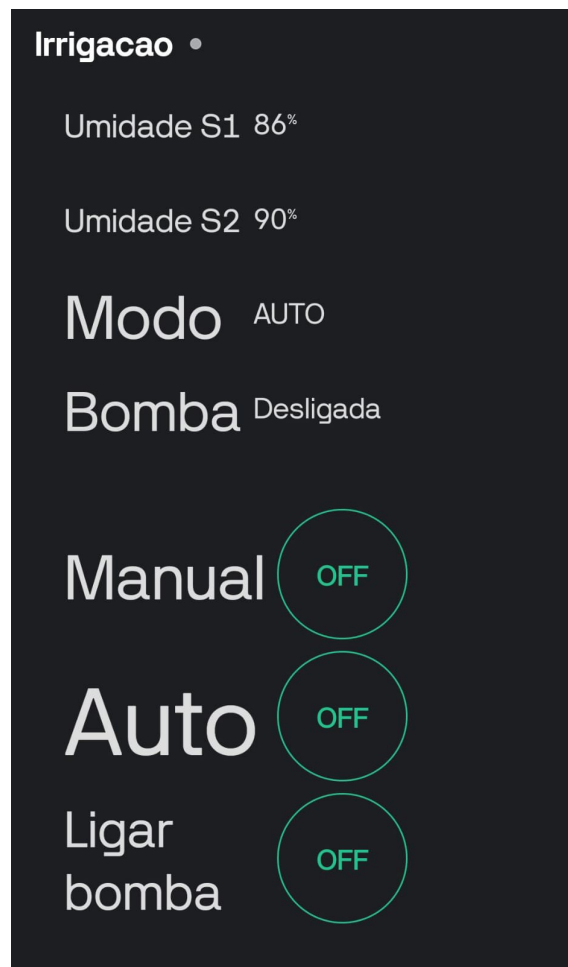
Outro resultado preliminar relevante foi a redução do tempo e do esforço físico dedicados à irrigação. Antes da automação, os moradores precisavam se deslocar até a horta uma ou duas vezes por dia para molhar os canteiros, utilizando baldes ou manejando mangueiras conectadas a uma bomba manual.

Embora muitos ainda realizem esse trajeto a pé, uma parcela significativa da comunidade passou a utilizar motocicletas para chegar ao local, seja por praticidade, distância ou limitações físicas. O método anterior exigia deslocamentos frequentes, ao menos uma vez ao dia, exclusivamente para realizar a irrigação manual.

Com a implantação do sistema automatizado, espera-se que esses deslocamentos sejam consideravelmente reduzidos, o que pode gerar economia de combustível para os usuários de motocicletas, além de contribuir, ainda que modestamente, para a redução de emissões de gases poluentes. Esse aspecto é especialmente relevante em contextos de baixa renda, nos quais os gastos com gasolina representam uma parcela significativa do orçamento familiar.

A adoção do sistema possibilita que a irrigação ocorra de forma autônoma, controlada por sensores e, quando necessário, acionada remotamente por meio do aplicativo Blynk (Figura 32), uma plataforma voltada para projetos de Internet das Coisas (IoT). A interface foi personalizada de acordo com as necessidades do projeto, priorizando simplicidade visual e acessibilidade, considerando que o sistema será operado por moradores de comunidades rurais com baixa familiaridade com tecnologia.

Figura 32 – Monitoramento pelo aplicativo



Fonte: Autoria própria (2025)

O *layout* foi configurado com fundo escuro e texto claro, melhorando a legibilidade em ambientes externos. As informações principais, como os valores de umidade dos sensores, o modo de operação e o estado da bomba, foram destacadas com fontes ampliadas. Já os botões de controle foram organizados de forma vertical, com formato circular, tamanho grande e texto visível (*ON/OFF*), facilitando a interação por toque.

Essa personalização da interface permitiu adaptar o *Blynk* ao contexto social e tecnológico do projeto, tornando o uso do aplicativo mais intuitivo e adequado à realidade dos usuários das hortas comunitárias.

Na tela do aplicativo, é possível visualizar duas leituras de umidade do solo (S1 e S2), que indicam valores de 86% e 90% — níveis considerados ideais para a maioria das hortaliças. A leitura é realizada por dois sensores posicionados em diferentes pontos da horta, aumentando a confiabilidade do monitoramento.

Abaixo dos indicadores, há um botão que mostra o estado da bomba de irrigação (ligada ou desligada). No caso exibido na imagem, o sistema está operando no

modo automático, com a bomba desligada, pois o solo já se encontra suficientemente úmido.

Além disso, o usuário pode alternar o modo de operação entre manual e automático, conforme sua conveniência. Esse recurso é especialmente útil em situações nas quais seja necessário antecipar a irrigação ou realizar testes no sistema.

Esse monitoramento remoto proporciona um ganho significativo em praticidade, possibilitando que moradores que não possam comparecer diariamente à horta acompanhem o estado do solo e do sistema de irrigação diretamente pelo celular, de qualquer local com acesso à internet.

4.2 Redução no Consumo de Água

Após nove dias de execução do experimento, foram coletados dados quantitativos e qualitativos relacionados ao consumo de água e ao desempenho dos sistemas de irrigação manual e automatizado aplicados na horta comunitária.

No sistema de irrigação manual, dos 15 litros inicialmente disponibilizados para irrigação diária, restaram 1,2 litros ao final do período. Já no sistema automatizado, o volume remanescente foi significativamente maior, totalizando 10,125 litros. Para quantificar a perda de água por evaporação, utilizou-se um recipiente de controle contendo 1 litro de água, que apresentou uma evaporação de 13 mL ao final do experimento. Considerando essa taxa, a evaporação proporcional para os baldes de 15 litros foi estimada em aproximadamente 0,195 litros.

Descontando-se essa evaporação, os volumes efetivamente utilizados para irrigação foram calculados da seguinte forma:

$$Evaporação = 13, mL \times 15 = 195, mL = 0,195, L \quad (4.1)$$

- Irrigação manual:

$$15, L - 1,2, L - 0,195, L = 13,605, L \quad (4.2)$$

- Irrigação automatizada:

$$15, L - 10,125, L - 0,195, L = 4,68, L \quad (4.3)$$

Com base nesses valores, a economia de água observada no sistema automatizado, em comparação ao método manual, foi de aproximadamente:

$$Economia = \left(\frac{13,605 - 4,68}{13,605} \right) \times 100 \approx 65,59\% \quad (4.4)$$

Essa adequação do uso da água ao estado real do solo indica uma irrigação mais eficiente e racional, potencialmente resultando em menor desperdício e maior

disponibilidade hídrica ao longo do tempo. Tal economia é especialmente importante em regiões semiáridas como o sertão paraibano, onde a escassez hídrica compromete diretamente a segurança alimentar e a sustentabilidade das práticas agrícolas.

4.3 Maior regularidade e produtividade na irrigação

Outro impacto esperado é a maior regularidade na irrigação, com benefícios diretos sobre o desenvolvimento das hortaliças. A automação elimina a dependência de horários fixos ou da disponibilidade dos moradores, o que antes causava variações no horário e no volume de água aplicado. Isso tende a garantir maior uniformidade no crescimento das plantas, refletindo-se em colheitas mais consistentes e na redução de perdas por estresse hídrico.

O sistema automatizado aciona a irrigação somente quando os sensores de umidade do solo indicam níveis abaixo do limite pré-estabelecido. Esses sensores (Figura 33) foram posicionados estrategicamente em pontos opostos da área cultivada para garantir uma leitura representativa da umidade em toda a horta, permitindo uma tomada de decisão precisa e autônoma.

Figura 33 – Localização dos sensores



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

O sistema permaneceu em operação até o dia 30 de junho de 2025, às 9h da manhã, totalizando nove dias completos de coleta de dados. Ao término do experimento, realizou-se uma avaliação visual das hortas, conforme ilustrado nas Figuras 34 e 35. Apesar das diferenças nos métodos de irrigação, automatizada e manual,

não foram observadas diferenças significativas no crescimento das plantas entre os dois canteiros, indicando desenvolvimento semelhante ao longo do período avaliado.

Figura 34 – Horta com sistema de irrigação automatizada



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 35 – Horta com sistema de irrigação manual



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Entretanto, em relação ao crescimento das plantas, especialmente do coentro (*Coriandrum sativum*), não foram observadas diferenças significativas entre as duas hortas, indicando que ambas as formas de irrigação proporcionaram desenvolvimento similar durante o período avaliado. Contudo, foi constatado que a exposição

direta e prolongada ao sol intenso prejudicou o crescimento do coentro, espécie que requer sombreamento parcial nos estágios iniciais para que as mudas possam brotar adequadamente. A ausência de uma tela de sombreamento durante o experimento resultou em crescimento reduzido em ambos os canteiros, evidenciando a necessidade de adaptação do sistema para incluir essa proteção em futuras implementações.

4.4 Apropriação tecnológica e potencial de replicação

A utilização de componentes de baixo custo e fácil acesso, como o *ESP32* e sensores básicos de umidade, mostrou-se adequada à realidade da comunidade. Durante o projeto, os moradores foram envolvidos em atividades de demonstração e capacitação, o que favoreceu a compreensão e aceitação do sistema. Isso reforça o potencial de replicação da solução em outras hortas comunitárias da região, especialmente aquelas que compartilham o mesmo perfil socioeconômico e ambiental.

Durante o experimento, identificou-se uma distribuição irregular da água em algumas regiões da horta irrigada automaticamente, causada pela angulação inadequada dos aspersores. Para minimizar esse problema, foram realizados ajustes manuais nos equipamentos ao longo do processo. Apesar dessa limitação, o sistema demonstrou elevada autonomia e eficiência no uso da água, prevenindo desperdícios e evitando o encharcamento do solo.

4.5 Limitações tecnológicas observadas

Durante o desenvolvimento e testes do protótipo, foram identificadas algumas limitações tecnológicas relevantes para sua aplicação prática. Uma das principais é a necessidade de disponibilidade de energia elétrica estável nas proximidades da horta para o funcionamento dos equipamentos, o que pode restringir a implantação em áreas rurais isoladas.

Além disso, o monitoramento remoto via aplicativo depende da existência de sinal de internet confiável. Em locais com cobertura limitada ou instável, a comunicação entre sensores, microcontrolador e dispositivo móvel pode ser prejudicada, comprometendo o acompanhamento em tempo real do sistema.

Outra limitação importante refere-se à ausência de sensores de temperatura do solo e do ar, o que poderia resultar em irrigação durante horários de temperatura muito elevada, causando choques térmicos nas plantas e prejudicando seu desenvolvimento. Recomenda-se, portanto, a inclusão desses sensores no sistema para que a irrigação possa ser ajustada de acordo com as condições térmicas ambientais, evitando estresses nas culturas e promovendo maior eficiência e sustentabilidade no uso da água.

Essas limitações indicam a necessidade de futuras adaptações, como o uso de fontes alternativas de energia (ex. painéis solares) e métodos de comunicação

que não dependam exclusivamente de redes móveis (ex. *Zigbee*), visando ampliar a aplicabilidade do sistema em diferentes contextos rurais.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como finalidade desenvolver e testar um protótipo de irrigação automatizada de baixo custo, com foco em hortas comunitárias localizadas em áreas rurais. A proposta surgiu diante de dois grandes desafios enfrentados por pequenos agricultores do semiárido nordestino: a escassez hídrica e a falta de acesso a tecnologias simples, acessíveis e eficientes.

O sistema criado utilizou o microcontrolador *ESP32*, sensores de umidade do solo, uma bomba d'água e a plataforma *Blynk* para controle remoto. O protótipo demonstrou ser tecnicamente viável, fácil de implementar e com custo inferior a R\$ 200,00. Em testes práticos, o consumo de água foi reduzido em aproximadamente 65,6% em comparação à irrigação manual, mostrando um ganho significativo na eficiência do uso dos recursos hídricos.

A validação do sistema foi realizada no Assentamento Bom Jesus, no município de Poço Dantas–PB, local onde existiu, entre 2009 e 2013, uma horta comunitária ativa e importante para a segurança alimentar e a complementação da renda de dezenas de famílias. Atualmente, a maioria dos moradores depende de programas sociais para subsistência e possui acesso limitado à tecnologia. Por isso, soluções simples e de baixo custo têm um papel transformador nesse tipo de realidade.

Durante a aplicação do questionário às famílias da comunidade, foi possível constatar não apenas o interesse em tecnologias como a apresentada neste trabalho, mas também o desejo coletivo de retomar a horta desativada. Os dados obtidos reforçam o valor social da proposta, ao mesmo tempo que revelam uma comunidade disposta a colaborar, aprender e adaptar novas práticas agrícolas que possam melhorar sua qualidade de vida.

Embora o sistema tenha apresentado bons resultados, observou-se a necessidade de ajustes, especialmente na distribuição dos aspersores para garantir melhor cobertura da irrigação. Essas melhorias são simples e viáveis, e já indicam caminhos para o avanço do projeto.

Como continuidade deste trabalho, propõe-se o aperfeiçoamento do protótipo por meio da integração de novos recursos, como energia solar, mais sensores e um aplicativo próprio que permita coletar dados climáticos em tempo real. Mais do que avanços técnicos, esses aprimoramentos buscam aumentar a autonomia do sistema e sua aplicabilidade em diferentes comunidades rurais.

Por fim, reforça-se o compromisso com a ampliação deste estudo, com o objetivo de tornar o protótipo uma ferramenta ainda mais eficaz e acessível. A expectativa é de que, futuramente, ele possa ser utilizado como apoio na reativação da horta comunitária do Assentamento Bom Jesus, contribuindo para a segurança alimentar, a economia e a valorização do trabalho das famílias agricultoras da região.

REFERÊNCIAS

- ABDELMONEIM, A. A. et al. Calibration of low cost capacitive soil moisture sensors for irrigation management applications. **Sensors**, v. 25, n. 2, p. 343, 2025.
- AGAPITO, Luiz A. Agricultura inteligente: revisão literária sobre a tendência global e evolução no centro-oeste brasileiro. **Revista Tecnologia & Gestão Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 45–60, 2021.
- ALLEN, Richard G et al. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome, 1998.
- ANDRADE, F. S.; SOUZA, L. R. Calibração de sensores de umidade do solo para agricultura de precisão. **Ciência Rural**, v. 51, n. 4, p. e20200678, 2021.
- ARAÚJO, Vinícius Alves et al. Agricultura urbana e segurança alimentar: estudo de caso da horta comunitária da cohab em lavras/mg. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, 2016.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- BATALHA, M. A.; KIEHL, J. C. Fundamentos de irrigação agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 65–73, 2002.
- BERNARDO, Sayonara; SOARES, Alex S.; MANTOVANI, Everardo C. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019.
- BESKOW, Carlos. **Hidráulica aplicada à irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2021.
- Blynk. **Blynk — Internet of Things platform for mobile apps**. 2022. <<https://blynk.io/>>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- CABRERA, Lucía et al. Agricultura urbana agroecológica: produção e contribuições alimentares de três hortas comunitárias. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 19, n. 4, 2021.
- CARVALHO, J. P.; PEREIRA, M. R. Tipos e funcionamento de sensores de umidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 3, p. 455–463, 2018.
- CARVALHO, R. P.; SOUZA, M. L.; MENDES, T. A. Aplicações de sistemas embarcados na agricultura: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 9, n. 2, p. 45–55, 2022.
- CHOWDHURY, S. et al. Comparative analysis and calibration of low cost resistive and capacitive soil moisture sensor. **ArXiv**, 2022.
- COSTA, R. S. et al. Irrigação automatizada: eficiência e sustentabilidade no uso da água. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 2, p. 183–193, 2021.
- CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3rd. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DANTAS; SOUZA; VALE. Contribuição da agricultura familiar para a segurança alimentar e nutricional: evidências a partir da diversidade de alimentos de origem vegetal. **Segurança Alimentar e Nutricional**, 2024.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for Predicting Crop Water Requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 1977.

Espressif. **ESP32 technical reference manual**. Shanghai, 2020.

FREITAS, M. C.; DIAS, S. M. F. Hortas urbanas comunitárias: produção, alimentação e convivência. **Cadernos Metr pole**, v. 21, n. 44, p. 511–530, 2019.

FROTA, Kênia Ferreira et al. Agricultura urbana e sua contribuição para segurança alimentar no brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 4, 2024.

GARCIA, L. F.; OLIVEIRA, M. S.; NASCIMENTO, R. T. Development of a smart irrigation system using esp32 and blynk platform. **International Journal of Advanced Computer Science**, v. 12, n. 3, p. 412–417, 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6th. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, T. A. et al. Políticas públicas e agricultura urbana: desafios para a institucionalização de hortas comunitárias. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 95–110, 2021.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego: Academic Press, 1998.

HRISKO, J. **Capacitive Soil Moisture Sensor Theory, Calibration and Testing**. 2020. Maker Portal LLC.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017: Resultados Preliminares**. 2017. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017.html>>.

JACOBI, P. R.; CEZAR, A. D.; FRANCO, M. C. Agricultura urbana e sustentabilidade: experiências na cidade de são paulo. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 18, n. 2, p. 248–265, 2016.

KELLER, J.; BLIESNER, R. **Sprinkler and Drip Irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

KUMAR, V.; LAL, S. Iot based smart agriculture monitoring system. **International Journal of Computer Applications**, v. 173, n. 9, p. 20–27, 2021.

LIMA, M. J. et al. Desafios da irrigação manual em pequenas propriedades. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, n. 1, p. 89–95, 2018.

MACHADO, T. R.; SILVA, A. S. Métodos de irrigação: eficiência e aplicabilidade. **Ciência Agrônômica**, v. 51, n. 2, p. 121–129, 2020.

MANTOVANI, Everardo C.; BERNARDO, Sayonara; PALARETTI, Luiz F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.

MARTINS, D. R.; SOUZA, E. F. Integração do esp32 com a plataforma blynk para monitoramento remoto. **Revista de Engenharia de Sistemas**, v. 7, n. 3, p. 55–62, 2023.

MENDES, R. A.; LOPES, F. R. Análise comparativa entre sensores resistivos e capacitivos de umidade do solo. **Engenharia Agrônômica**, v. 37, n. 2, p. 221–229, 2017.

MOTTA, D. M.; PINTO, L. H. Gestão sustentável da água na agricultura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, p. e21, 2020.

NAGAHAGE, E. A. A. D. et al. Calibration and validation of a low cost capacitive moisture sensor to integrate the automated soil moisture monitoring system. **Agriculture**, v. 9, p. 141, 2019.

NUNES, Wanderson da Silva et al. Águas para a agricultura familiar: uma análise dos programas públicos de abastecimento no jequitinhonha mineiro. **Revista Campo-Território**, v. 18, n. 1, p. 1–30, 2023.

OLIVEIRA, A. P.; COSTA, J. F. Benefícios da automação em sistemas de irrigação. **Tecnologia Rural**, v. 35, n. 4, p. 1102–1110, 2020.

OLIVEIRA, Carla M.; SANTOS, Felipe R. Aplicação da plataforma blynk em sistemas de irrigação automatizados: Estudo de caso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 234–245, 2022.

Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Agenda 2030**. Nova Iorque: [s.n.], 2015.

PEREIRA, Gilroy P.; CHAARI, Mohamed Z.; DAROGE, Fawwad. Iot-enabled smart drip irrigation system using esp32. **IoT**, v. 4, n. 3, p. 221–243, 2023.

PEREIRA, S. R.; ALMEIDA, C. A. Aplicação de microcontroladores na automação agrícola. **Revista Eletrônica de Engenharia**, v. 8, n. 1, p. 22–30, 2017.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: Poço Dantas (PB)**. 2020. <<http://www.atlasbrasil.org.br>>. Acesso em: 22 jul. 2025.

RAJU, V. S.; PATIL, M.; KUMAR, N. Iot-based automated irrigation monitoring system using esp32 and blynk. In: **Proceedings of the International Conference on Smart Technologies**. [S.l.]: IEEE, 2020.

RODRIGUES, M. S.; MARTINS, A. L. Tecnologias de automação para pequenas propriedades rurais. **Revista Brasileira de Agricultura Familiar**, v. 10, n. 2, p. 67–76, 2022.

SANTOS, Elizângela Aparecida dos; ANDRADE, Álvaro Antônio Xavier de; CUNHA, Dênis Antônio da. Mudanças climáticas e vulnerabilidade na agricultura familiar da região rio doce, minas gerais. **Geosul**, Florianópolis, v. 37, n. 81, p. 229–251, jan./abr. 2022. Acesso em: 26 jul. 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2177-5230.2022.e76585>>.

SANTOS, L. F.; GONÇALVES, M. C. Automação em irrigação: conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 33–41, 2019.

SENAR. **Irrigação: gestão e manejo**. Brasília, DF: SENAR, 2017.

SILVA, M. A.; LOPES, F. M.; MACHADO, B. R. Sistema de irrigação automatizado com sensores de umidade e iot. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 35–42, 2021.

SILVA, Maicon Gonzaga da et al. Desafios e oportunidades para a irrigação na agricultura familiar. **Revista Labor & Desenvolvimento**, Universidade Federal Fluminense (UFF), p. 1–15, 2023.

SMITH, John; LEE, Amanda. Security challenges and solutions in iot platforms for agriculture. **International Journal of Agricultural Technology**, v. 17, n. 4, p. 789–805, 2021.

WIDIANTO, Mochammad Haldi et al. Implementation mobile smart farming monitoring system with low-cost platform using blynk. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, v. 100, n. 9, p. 2723–2734, 2023.

ZHANG, Q. et al. Architecture and challenges of iot-based smart agriculture. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 5, p. 1236–1248, 2019.

APÊNDICE

Objetivo: Coletar informações de moradores sobre o uso anterior da horta comunitária e avaliar a viabilidade de soluções tecnológicas, como um sistema automatizado de irrigação.

1. Identificação

- 1.1 Morador: _____

2. Participação na Horta Comunitária

- 2.1 Você participava da horta comunitária antes da desativação?

() Sim () Não

- 2.2 Com que frequência você participava?

() Diariamente () Algumas vezes por semana

() Raramente () Não participava

- 2.3 Quais produtos eram cultivados na horta?

- 2.4 A horta contribuía com a alimentação da sua família?

() Sim () Parcialmente () Não () Não participava

3. Problemas Enfrentados

- 3.1 Quais foram os principais problemas enfrentados pela horta? (Pode marcar mais de um)

Falta de água [] Falta de mão de obra

Solo ruim [] Falta de recursos financeiros

Falta de apoio técnico

Outros: _____

- 3.2 A escassez de água afetava todo o assentamento ou só a horta?

() Todo o assentamento () Principalmente a horta () Não sei informar

- 3.3 Houve tentativas de manter a horta mesmo com a falta de água? Quais?

4. Percepções sobre Tecnologias

- 4.1 Você já ouviu falar sobre irrigação automatizada?
☐ Sim ☐ Não
- 4.2 Você se interessaria por um sistema que rega a horta sozinho, baseado na umidade do solo?
☐ Sim ☐ Talvez ☐ Não
- 4.3 Acha que um sistema assim ajudaria a reativar a horta comunitária?
☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei
- 4.4 Você estaria disposto a ajudar a cuidar de um sistema automatizado, mesmo que não entenda muito de tecnologia?
☐ Sim ☐ Não ☐ Com ajuda/treinamento, sim

5. Expectativas Futuras

- 5.1 Você gostaria que a horta comunitária fosse reativada?
☐ Sim ☐ Não ☐ Indiferente
- 5.2 Que tipo de apoio você acha mais necessário para isso acontecer?

- 5.3 Qual sua opinião sobre o uso de tecnologias simples e sustentáveis para melhorar a produção agrícola na comunidade?

