



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PEDRO II
CURSO ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS**

FABRÍCIO ANDRADE SOUSA

**AGRICULTURA 4.0 APLICADA A PEQUENOS AGRICULTORES: protótipo com
irrigação inteligente, monitoramento ambiental e integração via chatbot**

**PEDRO II
2025**

FABRÍCIO ANDRADE SOUSA

AGRICULTURA 4.0 APLICADA A PEQUENOS AGRICULTORES: protótipo com
irrigação inteligente, monitoramento ambiental e integração via chatbot

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Pedro II.

Orientadora: Prof. Esp. Thiago Abreu de Moura.

PEDRO II

2025

AGRICULTURA 4.0 APLICADA A PEQUENOS AGRICULTORES: protótipo com irrigação inteligente, monitoramento ambiental e integração via chatbot

Fabício Andrade Sousa¹

Thiago Abreu de Moura²

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de horta inteligente voltado para pequenos produtores agrícolas, integrando um sistema de irrigação autônoma com monitoramento ambiental e hídrico, por meio de um *chatbot* e interface *web*. A proposta surge com o intuito de atenuar desafios sofridos por pequenos agricultores, como a escassez de água e a limitação de acesso à tecnologia da agricultura 4.0. O sistema foi elaborado utilizando microcontrolador ESP32 e sensores para mensurar umidade do solo, temperatura, umidade do ar e volume de água utilizada. O controle de irrigação foi automatizado com base na umidade do solo, impedindo o gasto excessivo de água. Os dados foram armazenados no banco de dados Firebase, possibilitando a análise de dados históricos disponibilizados em uma página *web* em forma de gráfico. Os testes realizados demonstraram a eficiência do sistema no controle hídrico, evitando desperdícios e promovendo o uso racional da água. A solução demonstrou ser de baixo custo, funcional e adaptável à realidade de pequenos produtores, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e tecnologicamente acessível.

Palavras-chave: agricultura 4.0; horta inteligente; irrigação automatizada; ESP32; *chatbot*.

ABSTRACT

This work presents the development of a smart garden system aimed at small-scale farmers, integrating an autonomous irrigation system with environmental and water monitoring through a chatbot and web interface. The proposal arises with the purpose of mitigating challenges faced by small farmers, such as water scarcity and limited access to Agriculture 4.0 technologies. The system was built using an ESP32 microcontroller and sensors to measure soil moisture, air temperature, air humidity, and the volume of water used. Irrigation control was automated based on soil moisture levels, preventing excessive water use. Data were stored in a Firebase database, allowing historical analysis through interactive graphs displayed on a web page. The tests demonstrated the system's efficiency in water management, avoiding waste and promoting the rational use of water. The solution proved to be low-cost, functional, and adaptable to the reality of small farmers, contributing to more sustainable and technologically accessible agriculture.

¹ Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí/ Campus Pedro II. E-mail: fabricioandradesousatech@gmail.com.

² Prof. Esp em Banco de Dados. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí/ Campus Angical. E-mail: thiago.moura@ifpi.edu.br

Keywords: agriculture 4.0; smart garden; automated irrigation; ESP32; chatbot.

Data de aprovação: 30/07/2025

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem um grande papel na sociedade brasileira, segundo a Lamas (2023), pesquisador da Embrapa, a agricultura corresponde a cerca de 21% de empregos formais no Brasil compondo, em 2022, 24,8% do PIB brasileiro, além de ter produzido 300 milhões de toneladas de grãos em 2023. Nesse contexto, a agricultura familiar — definida pela predominância da mão de obra e gestão familiar em pequenas propriedades rurais (Brasil, 2006) — correspondeu, conforme dados do último Censo Agropecuário uma parcela de 23% de toda produção agrícola nacional (IBGE, 2019), evidenciando não apenas sua relevância econômica, mas também seu papel estratégico na segurança alimentar, sendo responsável por uma parte substancial da produção de alimentos. Contudo, apesar de sua importante contribuição para o panorama agrícola nacional, os pequenos agricultores enfrentam desafios crescentes no Brasil. Entre eles, destacam-se a escassez de recursos hídricos provocada pela estação seca, culminando no aumento de vulnerabilidade de pequenos produtores (Balasubramanya; Stifel, 2020), os impactos das mudanças climáticas apresentando em um período de estiagem mais duradouro (Marengo *et al.*, 2021) e a importância de integrar inovações que melhorem a produção sem impor custos adicionais ao pequeno agricultor, respeitando suas limitações econômicas e estruturais (Sieber *et al.*, 2018). Nesse contexto, tecnologias inovadoras e acessíveis demonstram um notório potencial para a atenuação desses problemas, promovendo por consequência a inclusão da sustentabilidade na agricultura de pequena escala (Dhillon; Moncur, 2023).

Sobre essas novas tecnologias, destaca-se a agricultura 4.0, que utiliza ferramentas tecnológicas para automação de processos produtivos na agricultura, usando desde dispositivos da Internet das coisas (*IoT*) para coleta de dados até inteligência artificial para tomada de decisão (Liu *et al.*, 2020). No entanto, apesar dessa inovações apresentarem um grande potencial, o acesso ainda é limitado para pequenos agricultores, seja pelo custo elevado ou pela falta de exposição à

tecnologia (Yigezu *et al.*, 2018). Essa lacuna demonstra a carência de uma solução tecnológica acessível voltada para esses pequenos agricultores. Trabalhos como Rana *et al.* (2024), demonstram em estudos a capacidade de construção de um sistema de monitoramento e irrigação inteligente de baixo custo eficiente que atenua tal problema, mas ainda enfrentam a falta de um sistema que indique a quantidade de água gasta periodicamente, além de implementar tecnologias atuais, que podem atuar na experiência do usuário.

Diante deste cenário, esse trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de horta inteligente baixo custo para pequenos agricultores, ampliando os avanços demonstrado pelo estudo de Rana *et al.* (2024), com um foco em disponibilizar para o produtor um sistema de monitoramento ambiental e consumo hídrico aliado com inclusão de um sistema de *chatbot* e interface *web*. Para atingir tal objetivo, foi realizada a escolha e implementação de sensores para o monitoramento de variáveis ambientais, desenvolvimento de sistema de monitoramento integrado com *hardware* e *software*, e a validação do protótipo em ambiente de teste.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma. Na seção 2, é apresentado o referencial teórico, abordando os conceitos fundamentais relacionados à Agricultura 4.0 juntamente com trabalhos relacionados. Na seção 3, é descrito os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do protótipo. Na seção 4, são discutidos os resultados obtidos e as análises realizadas durante a implementação do projeto. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões do estudo e as recomendações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção apresenta o panorama atual da agricultura, os conceitos técnicos envolvidos nas tecnologias utilizadas e uma revisão dos trabalhos realizados, com o objetivo de embasar teoricamente o estudo e evidenciar sua contribuição.

2.1 AGRICULTURA 4.0

O termo agricultura 4.0 emergiu como uma analogia à indústria 4.0 formalizada em 2013 pelo governo alemão no relatório final do *Working Group on*

Industry 4.0 (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013, *apud* Albiero *et al.*, 2020). Contudo, esse conceito foi apenas disseminado globalmente anos depois pelo livro *A Quarta Revolução Industrial*, onde o autor Klaus Schwab não aborda o conceito de Agricultura 4.0 explicitamente, mas explica como a tecnologia da indústria 4.0 impactou o meio agrícola utilizando as inovações da revolução vigente, como *Big Data*, sensores, automação, biotecnologia e entre outros (Schwab, 2019). Tais inovações são apontadas por Liu *et al.* (2020) como pilares fundamentais da Agricultura 4.0.

Nesse contexto, Agricultura 4.0, também chamada de agricultura digital consiste na aplicação de tecnologias avançadas no setor agrícola, como robótica, *Big Data*, Internet das Coisas (*IoT*), sensores, integração de sistemas, Inteligência Artificial, e outras tecnologias, permitindo a coleta e análise de dados em tempo real, otimizando a gestão agrícola (Liu *et al.*, 2020).

Sob essa perspectiva, Agricultura 4.0 foca em uma variedade de informações, como localização, condições climáticas, consumo de recursos, uso de energia, dados econômicos e preços de mercado, sendo coletados por meio de sensores, máquinas automatizadas, drones e satélites, possibilitando uma tomada de decisão mais precisa e eficiente (Klerkx; Jakku; Labarthe, 2019). Sobre esse viés, a agricultura 4.0 pode ser compreendida como a utilização de tecnologias avançadas para atribuir um melhor controle e precisão na produção agrícola, auxiliando na tomada de decisões com base em uma fonte sólida de informações e beneficiando o produtor na redução de custos e recursos naturais (Arvanitis; Symeonaki, 2020).

Ao transpor esses princípios para o contexto de hortas inteligentes, empregam-se sensores capazes de monitorar umidade do solo, condições climáticas e qualidade do ambiente, conectados a microcontroladores e dispositivos de *IoT* que atuam de forma autônoma, tornando o processo de irrigação mais preciso e promovendo uma gestão hídrica eficiente e sustentável (Abdelmoneim *et al.*, 2025).

2.2 TRABALHOS RELACIONADOS

Com o avanço da aplicação da tecnologia na agricultura, diversos estudos vêm se aprofundando no desenvolvimento de sistemas capazes de auxiliar pequenos agricultores no gerenciamento de sua produção agrícola. Nesse contexto, destaca-se o trabalho de Rana *et al.* (2024), que propôs um sistema de baixo custo

voltado à incorporação de tecnologias às atividades agrícolas, com foco no monitoramento e na irrigação inteligente. O principal objetivo do sistema é otimizar o uso de água nas culturas e reduzir a intervenção manual, tornando o sistema de irrigação autônomo e eficiente. O desenvolvimento do software foi dividido em duas etapas: a primeira consistiu na construção de um sistema embarcado contendo um microcontrolador ESP32, conectado à rede e equipado com dois sensores para a coleta de temperatura, umidade do ar e umidade do solo, além de quatro atuadores, tendo a função de acionar a irrigação e controlar a direção do jato de água. A segunda consistiu na elaboração de um aplicativo móvel para *Android*, que, integrado a um servidor MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), permitiu o controle da irrigação e o monitoramento dos dados ambientais, atendendo aos objetivos propostos pela pesquisa.

Também merece destaque o estudo de John *et al.* (2024) que propuseram a implementação de um sistema de agricultura inteligente utilizando um microcontrolador Arduino e tecnologia de comunicação LoRa. O estudo visou o desenvolvimento de um sistema capaz de otimizar o crescimento e o uso de recursos por meio de um acompanhamento em tempo real de dados ambientais, como já antes mencionadas no estudo de Rana *et al.* (2024), contudo tendo como adição novas variáveis, sendo elas: intensidade luminosa, nível de água e ocorrência de chuvas. A arquitetura do sistema é composta por dois módulos: um transmissor, encarregado pela coleta dos dados através de sensores e envio via LoRa; e um receptor projetado como unidade de controle e atuação, processando dados emitidos pelo transmissor e disparando ações como sombreamento e irrigação de plantas e abastecimento de tanques de água conforme as necessidades apontadas pelos sensores. Os testes realizados pelo estudo demonstraram que o sistema é eficaz na automação de respostas às variações ambientais, apresentando boa performance em termos de alcance de sinal, mesmo em distâncias superiores a 500 metros, o que o torna viável para aplicação em áreas rurais extensas e com conectividade limitada.

Outro trabalho relevante é o de Fauziah *et al.* (2022) que desenvolveram uma infraestrutura baseada em Internet das Coisas, tendo como principal alvo um sistema de jardim inteligente, com capacidade de enviar informações ambientais — como umidade do ar e do solo, além da temperatura do ar e do solo — de um módulo transmissor para um receptor. O sistema utilizou dois microcontroladores

ESP32 e módulos LoRa EBYTE para a comunicação entre os dois pontos. A solução proposta também incluiu uma interface de monitoramento por meio de um aplicativo móvel, permitindo ao usuário acompanhar em tempo real os dados coletados pelos sensores. Para isso, foi utilizado um servidor MQTT, responsável por receber as leituras dos sensores e enviá-las ao dispositivo móvel. Além do monitoramento, o sistema também contou com infraestrutura de irrigação automatizada, que era acionada sempre que a umidade do solo for menor do que o limite pré-estabelecido, promovendo maior eficiência no uso da água.

Ainda no contexto de soluções voltadas à agricultura familiar, Bonruque, Celariano e Souza (2022) projetaram um sistema IoT de baixo custo, com o intuito de auxiliar pequenos e médios agricultores no cultivo de hortaliças. O sistema apresentou em sua estrutura um conjunto de artifícios focados na obtenção de uma plataforma capaz de realizar irrigações automatizadas e monitorar dados ambientais em um aplicativo *Android*, com visualizações em tempo real e gráficos históricos. A aplicação também permite o cadastro de hortas, alertas personalizados e configurações específicas para diferentes culturas. Para a construção do sistema, foram utilizados o microcontrolador ESP8266, com conectividade Wi-Fi nativa; o sensor DHT11, para leitura de umidade e temperatura do ar, o sensor HL-69, para leitura de umidade do solo; e uma ponte H para o acionamento da válvula solenóide. A integração entre automação, conectividade via Wi-Fi e armazenamento em nuvem reforça o potencial do sistema como uma solução escalável e acessível para o gerenciamento eficiente de pequenas hortas.

Os estudos analisados demonstram avanços no uso de tecnologias embarcadas de baixo custo para automação e monitoramento de hortas. Rana *et al.* (2024) e Fauziah *et al.* (2022) integram sensores, controle automático de irrigação, MQTT e aplicativos móveis. John *et al.* (2024) propôs uma solução com comunicação LoRa, voltada a áreas rurais. Bonruque, Celariano e Souza (2022) apresentaram uma alternativa acessível com irrigação automatizada e visualização de dados em aplicativo *Android*. Apesar das contribuições, ainda se observa a ausência de sistemas que monitorem diretamente o volume de água utilizado e ofereçam análise histórica dos dados coletados. Nesse contexto, este trabalho propõe um protótipo de horta inteligente de baixo custo, com irrigação automatizada baseada na umidade do solo, medição do consumo hídrico e visualização por página *web* e *chatbot* no Telegram. A solução integra automação, conectividade e análise

de dados em uma plataforma acessível e voltada à realidade da agricultura familiar. A comparação detalhada dessas soluções pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 – Síntese dos trabalhos relacionados.

Autor / Ano	Título	Descrição da solução
Rana <i>et al.</i> (2024)	IoT-Enabled Water Management: A Low-Cost Framework for Sustainable Irrigation in Agricultural Farms and Home Gardens	Sistema de irrigação automatizada com sensores ambientais, app Android e MQTT.
John <i>et al.</i> (2024)	Smart Farming Implementation using Arduino and LoRa	Uso de LoRa para comunicação entre sensores e atuadores em áreas rurais.
Fauziah <i>et al.</i> (2022)	Prototype of Smart Garden System for Monitoring Horticulture Plants Based on LoRa Technology	Sistema de jardinagem com ESP32, sensores e comunicação via LoRa e MQTT.
Bonruque, Celariano e Souza (2022)	Hortalno: Horta Automatizada de baixo custo com esp8266 para Auxiliar os Produtores Familiares	Plataforma IoT com irrigação automática, app Android e gráficos de dados.
Pesquisa em questão (2025)	Agricultura 4.0 Aplicada a Pequenos Agricultores: Protótipo com Irrigação Inteligente, Monitoramento Ambiental e Integração via <i>Chatbot</i>	Protótipo de horta com ESP32, irrigação automatizada, medição do consumo de água e visualização via <i>chatbot</i> e <i>web</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho adotou uma abordagem de pesquisa aplicada com enfoque quantitativo e método experimental. Seu objetivo foi desenvolver uma solução prática relacionada a gestão de condições ambientais e hídricas em hortas de pequeno porte. A metodologia foi inspirada no estudo de Rana *et al.* (2024), que propôs um sistema de irrigação inteligente baseado em tecnologias de Internet das Coisas (IoT). Da mesma forma que o estudo original, este trabalho realizou o

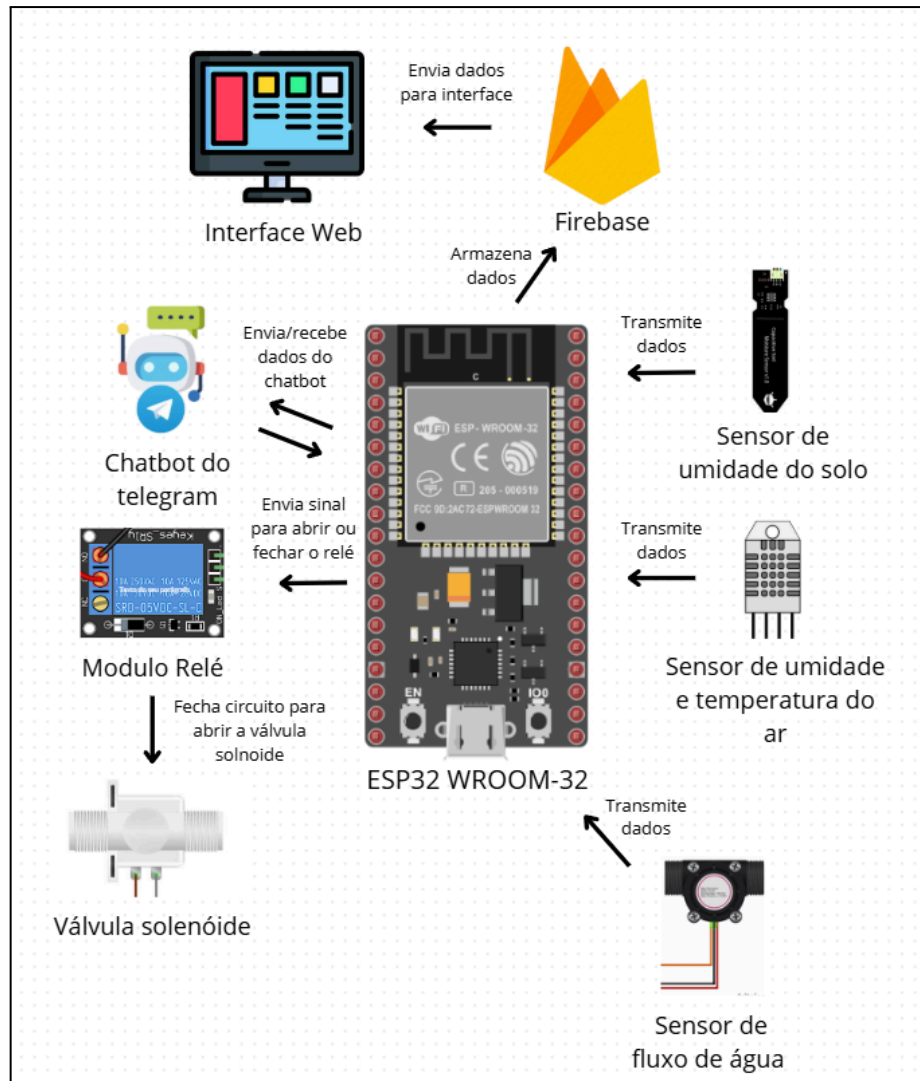
desenvolvimento e a validação prática de um protótipo funcional, o qual foi aplicado em um canteiro de hortaliça localizado em um ambiente externo, exposto a condições climáticas reais. O experimento foi realizado em uma horta residencial, com a coleta de dados realizada diretamente pelos sensores e atuadores integrados ao microcontrolador ESP32, abrangendo informações como umidade do solo, umidade relativa do ar, temperatura e medição hídrica. As variáveis observadas são analisadas de forma objetiva, com base nos dados obtidos durante a implementação.

O modelo metodológico foi efetuado em duas partes, a primeira etapa abrange a montagem do *hardware* e a segunda a realização do desenvolvimento do *software*. Tais etapas foram planejadas para garantir a integração eficiente entre componentes tecnológicos e sua aplicação prática no cenário proposto.

3.1 ESTRUTURA DO PROTÓTIPO E CUSTO DE COMPONENTES

O bloco arquitetônico da visão geral do sistema é apresentado na Figura 1. Ele inclui na sua estrutura um microcontrolador ESP32-WROOM contendo um módulo Wi-Fi, sensor capacitivo de umidade do solo, sensor de umidade e temperatura do ar, sensor de fluxo de água e uma válvula solenóide para o controle de irrigação. Os dados obtidos por meio dos sensores são enviados via internet e monitorados por meio do *chatbot* do Telegram. O ESP32 obtém os dados dos sensores e envia os dados de duas formas, a primeira é realizada por meio de uma ação do usuário no objetivo de monitorar as condições da horta em tempo real, nesse ocasião o ESP32 envia diretamente as informações para *chatbot*, a segunda forma, é realizada para serviço de nuvem, na qual é armazenado dados das condições ambientais colhidos antes e depois de cada irrigação, sendo feita de maneira autônoma e disponibilizadas para o usuário em forma de gráfico. O usuário então poderá monitorar, por meios de mensagens ao *chatbot* e página *web*, tanto informações do ambiente em tempo real quanto informações coletadas durante períodos anteriores.

Figura 1 – Visão geral do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Na parte de controle de irrigação é utilizada uma válvula solenóide ligada através de um módulo relé no microcontrolador possibilitando o acionamento quando a umidade do solo chega em determinado nível. O custo dos componentes utilizados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Custos dos componente

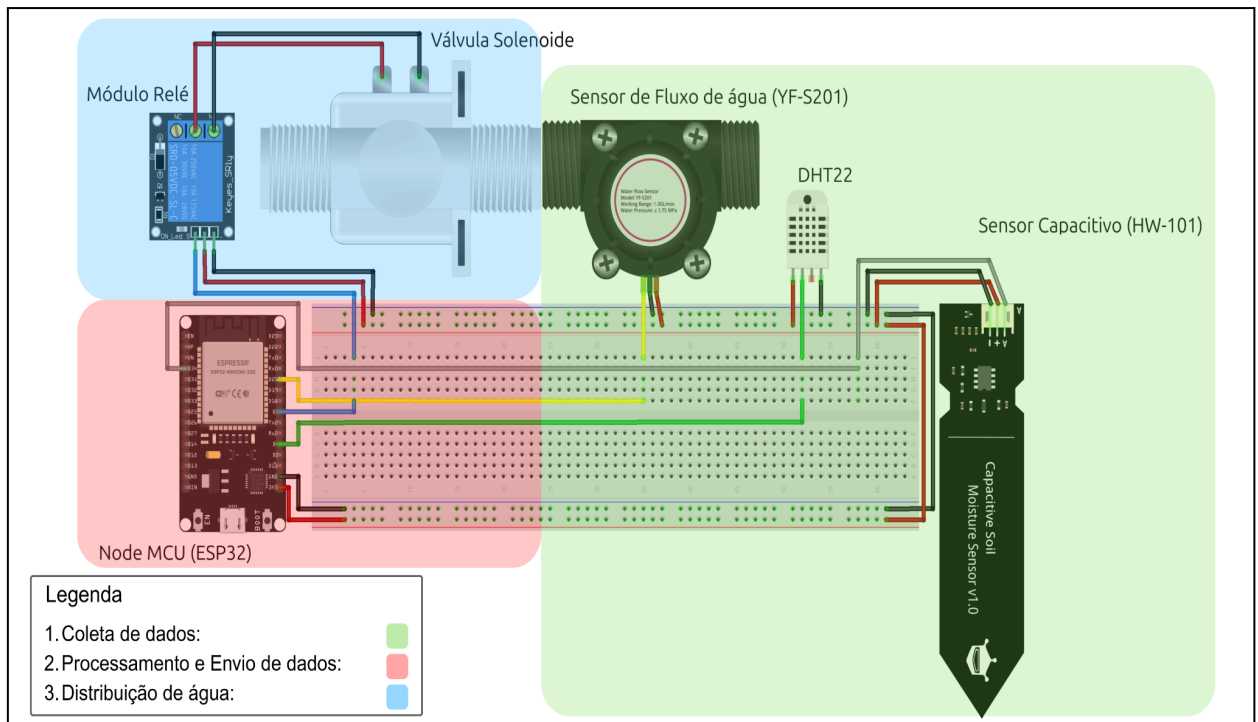
Nome	Modelo	Preço (R\$)
Node MCU	ESP32-WROOM	29,64
Sensor de umidade do solo	HW-101 HW-moisture sensor V1.2	13,58
módulo relé	JQC-3FF-S-Z	15,84
Válvula Solenóide	AQT15SP	13,20
Sensor de fluxo de água	YF-S201	25,17
Sensor de umidade e temperatura do ar	DHT22	13,46

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.2 COMPONENTES E HARDWARE DO SISTEMA

O sistema desenvolvido está dividido em 3 partes de acordo com a função de atuação conforme descrito na Figura 2. A primeira parte é responsável pela coleta de dados, a segunda é encarregada pelo processamento e envio dos dados e a terceira tem a função de realizar a distribuição de água para a horta. Esse sistema envolve em sua composição vários componentes de *hardware* tornando o processo de irrigação autônomo e otimizado para o cultivo de plantas. Aqui está a descrição dos principais componentes de *hardware* utilizados para a realização do sistema.

Figura 2 – Circuito de Componentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

- **Sensor de umidade do solo (HW-101 HW-moisture sensor V1.2):** Este é um sensor analógico que tem a função de medir os níveis de umidade do solo por detecção capacitiva, por não apresentar uma área metálica exposta como sensores resistivos, apresenta menor desgaste, o que contribui para uma vida útil mais longa. O sensor também conta com um chip regulador de voltagem integrado, o que possibilita um ambiente de trabalho de voltagem ampla que abrange de 3,3V até 5,5V sendo ideal para MCUs de baixa voltagem e é colocado perto da raiz da planta para checar sua umidade (SHS, 2015).
- **Sensor de umidade e temperatura do ar (DHT22):** O DHT22 é um sensor de umidade e temperatura do ar emitindo um sinal digital calibrado. Utilizando uma maneira exclusiva de coleta de sinal e detecção de umidade, garantindo sua confiabilidade e estabilidade. Dentro de suas características ele possui tamanho pequeno, baixo consumo e uma distância de transmissão de 20 metros com a utilização de fios (Aosong Electronics, [2015]).
- **Node MCU (ESP32-WROOM):** O ESP32-WROOM é um poderoso microcontrolador que utiliza na sua composição um módulo *Wi-Fi* e *bluetooth* integrado sendo utilizado para diversas aplicações, desde rede de sensores

de baixa potência até tarefas mais exigentes. O ESP32 tem o poder de integrar uma grande variedade de periféricos, como sensores de toque capacitivos, interface de cartão SD, Ethernet e entre outros. Por causa da integração com módulo *Wi-Fi* a conexão desse dispositivo com a internet se dá de maneira direta através de roteadores *Wi-Fi*, proporcionando maiores possibilidades de uso do microcontrolador (Espressif, 2025).

- **Sensor de fluxo de água (YF-S201):** Composto por um corpo e válvula de plástico, rotor de fluxo de água e sensor *Hall*, o YF-S201 é ideal para medir a quantidade hídrica de uma tubulação, emitindo um sinal de pulso a medida que a velocidade de taxa de fluxo de água aumenta (FSZESE, [2017?]).
- **Válvula solenóide (AQT15SP):** Este componente é responsável pelo controle de água da irrigação. Em estado normalmente fechado, a válvula realiza seu movimento de abertura quando uma corrente de 220V é aplicada em seu circuito. Este modelo apresenta possibilidade de trabalhar em temperaturas de 1 a 75°C (AQUA TECH TRADING CORP, 2014)
- **Módulo relé (JQC-3FF-S-Z):** O Relé é um dispositivo utilizado para controle de corrente e pode ser integrado facilmente com o ESP32, quando uma corrente é aplicada à porta integrada ao microcontrolador o dispositivo permite a passagem de corrente na extremidade que conecta a rede elétrica, esse modelo suporta 250 VAC de corrente elétrica e 5V na porta VCC ligada ao microcontrolador (TONGLING, 2015).

3.3 SOFTWARE DO SISTEMA

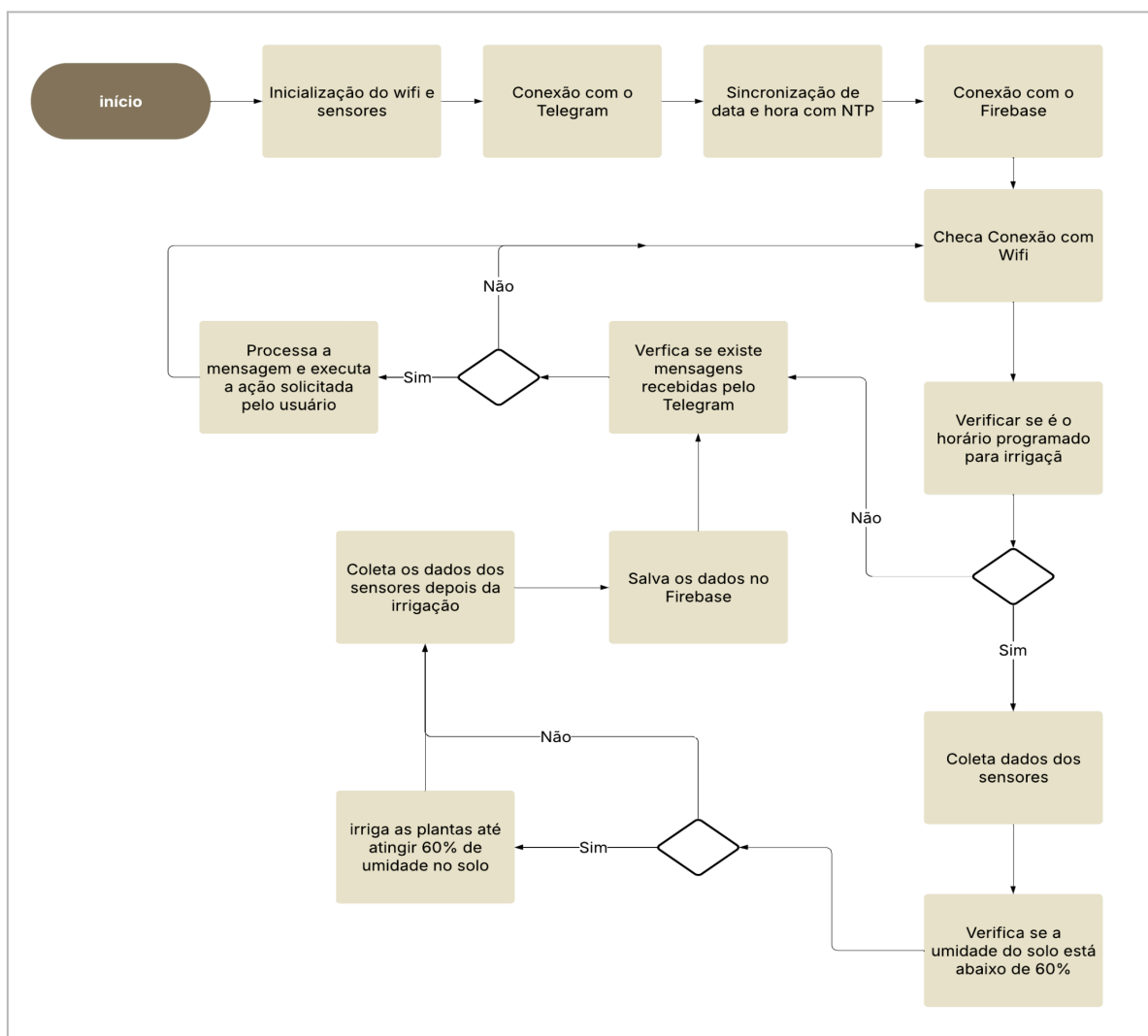
O projeto desenvolvido neste trabalho possui duas partes principais de *software*: o desenvolvimento embarcado no microcontrolador ESP32, baseado em uma arquitetura de Internet das Coisas (IoT), e a construção de uma aplicação *web* para visualização e análise dos dados coletados. A solução embarcada é responsável pela aquisição e processamento de dados ambientais provenientes de sensores de umidade do solo, temperatura e umidade do ar, além da medição do volume de água utilizado na irrigação. Também compete a esse módulo o controle automático do mecanismo de irrigação.

Para o desenvolvimento do código, foi utilizada a IDE Arduino (Arduino, 2025), com o auxílio de bibliotecas específicas para conexão Wi-Fi, comunicação via

Telegram, leitura de sensores e integração com o Firebase, serviço em nuvem para o armazenamento de dados (FIREBASE, 2025).

A Figura 3 ilustra o fluxograma da operação do sistema embarcado. Inicialmente, o ESP32 estabelece conexão com a rede Wi-Fi e interage com três serviços distintos, utilizando bibliotecas específicas: o servidor Firebase, utilizado para armazenamento de dados, por meio da biblioteca *Firebase Client* (Suwatchai, 2025); o serviço de mensagens Telegram, acessado por meio da biblioteca *Universal Telegram Bot* (Lough, 2020); e o servidor NTP (pool.ntp.org), consultado com o auxílio da biblioteca *Time* (Espressif Systems, 2016) para obtenção da data e hora atual. Após a inicialização, o sistema entra em um laço contínuo de execução.

Figura 3 – Fluxograma do sistema embarcado



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Nesse laço, o primeiro passo é verificar a conectividade com a rede Wi-Fi. Em seguida, é feita a checagem do horário atual, comparando-o com os períodos de irrigação configurados (07h00, 12h00 e 17h00). Caso não esteja dentro de um desses horários, o sistema verifica a existência de mensagens recebidas via Telegram e as processa conforme o conteúdo, permitindo o monitoramento em tempo real.

Quando o sistema identifica que o horário atual coincide com um dos períodos de irrigação, ele realiza a leitura de todos os sensores. A irrigação é então ativada caso a umidade do solo esteja abaixo de 60%, que é uma umidade ideal para a maioria das culturas (Cherlinka, 2022), sendo interrompida automaticamente quando esse valor for superado. Ao final da irrigação, novas medições ambientais são realizadas, incluindo a quantidade total de água utilizada, obtida pelo sensor de fluxo. Todos os dados são então registrados no servidor do Firebase, encerrando o ciclo de irrigação. O código-fonte completo está disponível no github³ para eventuais consultas.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Essa seção apresenta os resultados atingidos a partir da implementação do protótipo detalhado na seção de metodologia, o teste ocorreu entre os dias 10 de abril e 8 de maio de 2025. O sistema, em questão, foi projetado para coletar, armazenar e exibir dados ambientais, incluindo consumo hídrico. Com isso, foi possível realizar a análise desses dados e verificar o comportamento do protótipo, expondo o funcionamento de irrigação, coleta, envio e exibição de dados durante o tempo de teste. A seguir são expostos os resultados obtidos pela aplicação do experimento.

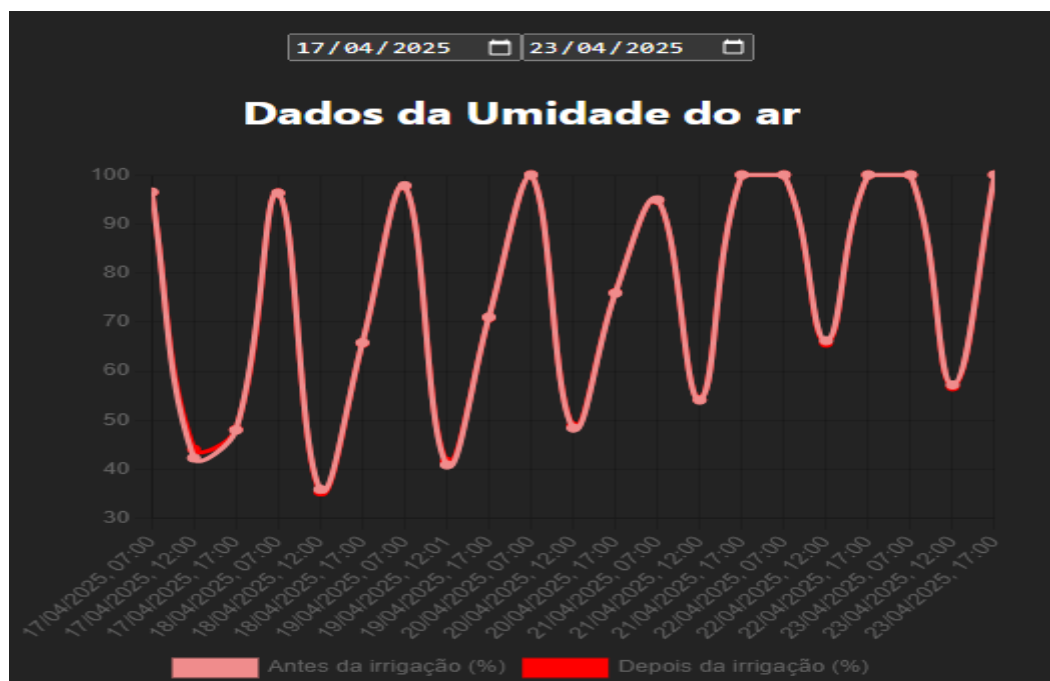
4.1 VISUALIZAÇÃO INTERATIVA E COMUNICAÇÃO COM O USUÁRIO

A interface da página web desenvolvida tem como principal função a visualização dos dados armazenados no *Firebase*. Ela acessa periodicamente o banco de dados e apresenta os valores em gráficos interativos, divididos em quatro categorias: umidade do ar, temperatura do ar, umidade do solo e volume de água

³ Disponível em: <https://github.com/andradejs/horta_inteligente_pequenos_agricultores>.

utilizado. Com exceção da medição de água, os gráficos mostram os valores coletados antes e depois de cada irrigação, possibilitando comparações. A aplicação disponibiliza, também, filtro dos dados por data, sendo uma boa ferramenta para uma visualização mais detalhada e personalizada ao usuário. Na Figura 4 é mostrado a visualização dos dados de umidade do ar com filtros aplicados para uma semana. Com essas funcionalidades o acompanhamento das condições expostas à horta se torna mais acessível, podendo servir como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão sobre o cultivo de uma certa espécie de planta ou eventual problema que afete a plantação. A interface *web*⁴ pode ser acessada na internet para eventuais consultas.

Figura 4 – Interface Web



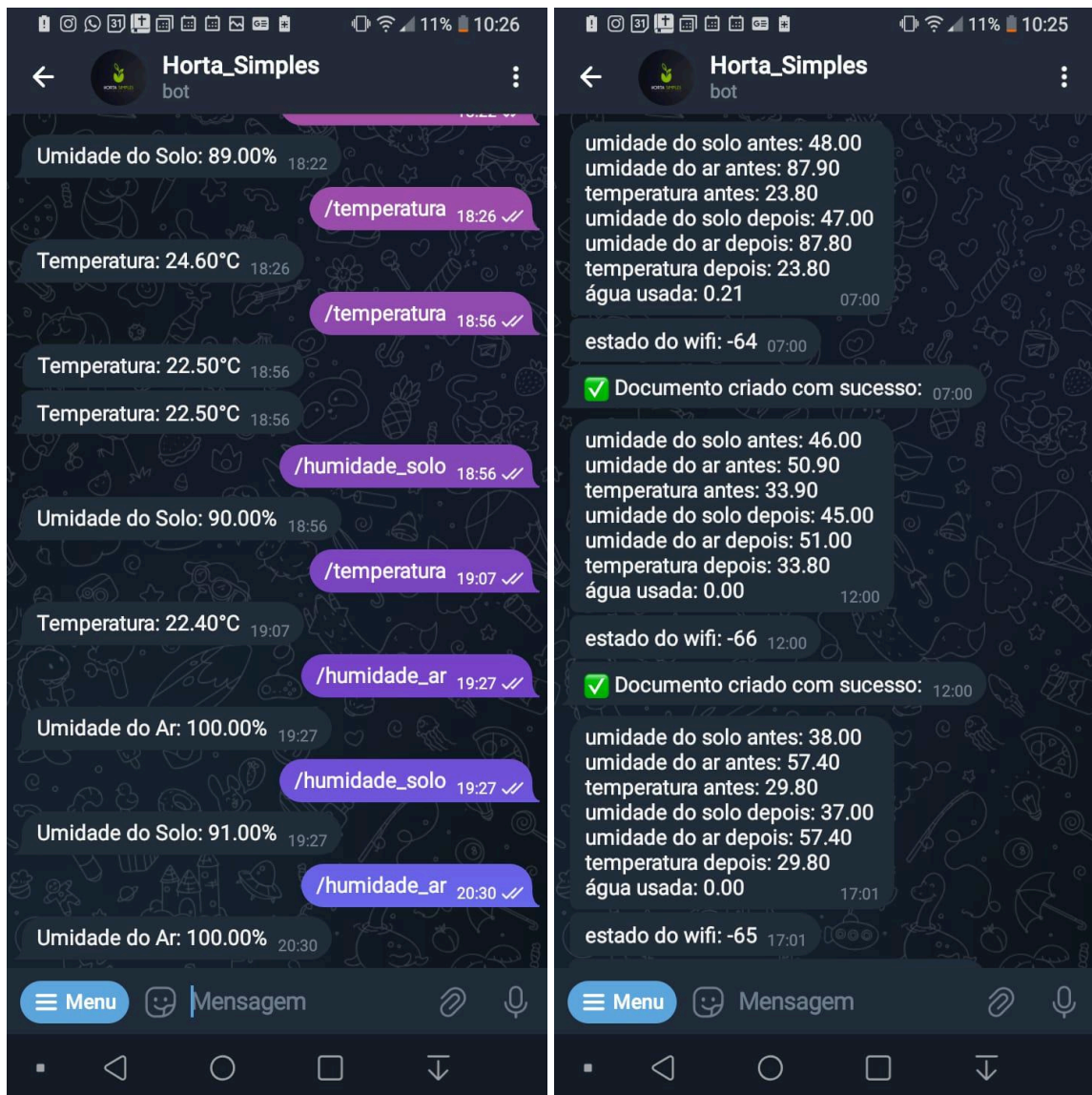
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Além da interface web, o sistema contou com um sistema de *chatbot*, que foi desenvolvido com o objetivo de facilitar a interação entre o usuário com o sistema. Por meio do *chatbot*, o agricultor tem a possibilidade de obter informações rápidas sobre o estado atual da horta, informando sobre as condições de umidade do ar, temperatura e umidade do solo. Outra ação importante realizada pelo aplicativo foi a emissão de avisos logo após cada irrigação, a qual informava todos os dados

⁴Disponível em: < <https://hortainteligente.netlify.app/>>

obtidos do sistema. Essa funcionalidade ajuda o agricultor na identificação de falhas e acompanhamento do estado da planta, informando sobre o não acionamento da irrigação, problema no armazenamento de dados e variáveis atuais coletadas pelos sensores. Na Figura 5 é mostrado capturas de telas contendo o funcionamento do *chatbot*, demonstrando a interação com o usuário e as respostas automáticas fornecidas pelo sistema.

Figura 5 – Capturas de tela do chatbot

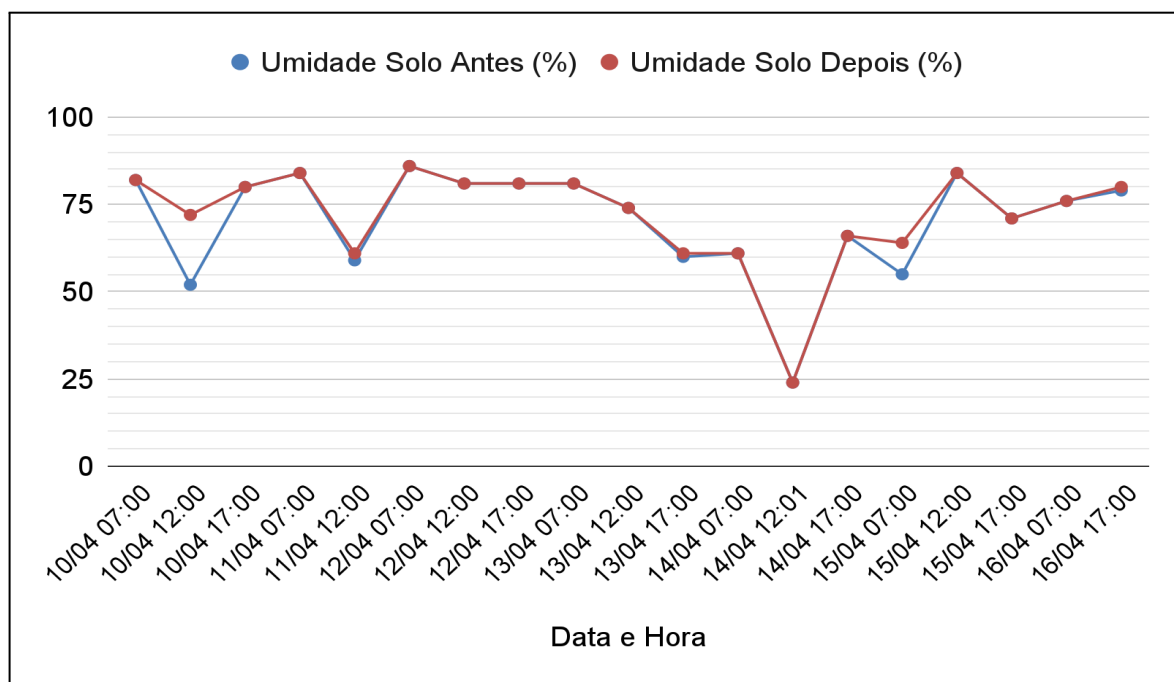


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.2 VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Durante o período de testes, a umidade do solo foi coletada continuamente por meio de um sensor capacitivo, realizando três medições por dia, sempre antes e depois de cada irrigação. Esse monitoramento foi capaz de registrar várias mudanças de umidade, possibilitando uma análise detalhada dos dados coletados e a obtenção dos seguintes resultados: os valores, em uma média geral, tiveram 67% de umidade, sendo considerada uma faixa ideal para o cultivo de hortaliças. Os valores registrados pelo sensor apontam uma umidade mínima de 12% e uma máxima de 100%, equivalente, respectivamente, a estados de antes e depois da irrigação. Em várias ocasiões, foi registrado aumentos significativos entre as medições de “antes” e “depois” da irrigação, demonstrando o funcionamento do sistema de irrigação automático. Um exemplo dessas ocasiões pode ser observado no dia 10/04/2025 que, às 12h, a umidade aumentou de 52% para 72%, com um consumo de 1,28 litros de água, atestando o acionamento da válvula solenóide quando a umidade estava abaixo de 60%. O gráfico 1 apresenta os dados referente à primeira semana de testes, ocorrida no período entre os dias 10 a 16 de abril de 2025, apontando as variações da porcentagem de água no solo.

Gráfico 1 – Umidade do solo 1º semana (10 a 16 de abril de 2025)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

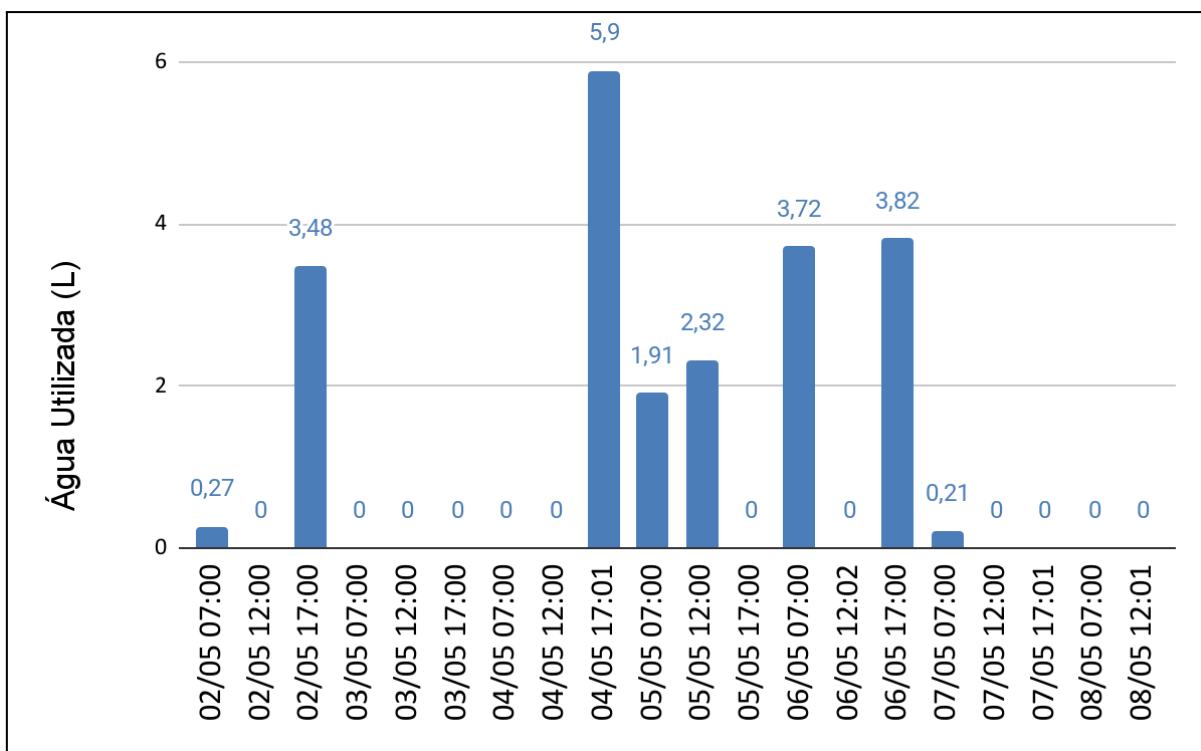
4.3 VOLUME DE ÁGUA UTILIZADA

O volume de água utilizado durante o experimento foi registrado por meio de um fluxômetro conectado ao sistema, o qual obteve a quantidade de água gasta em cada ciclo de irrigação. Ao longo do tempo de testes, o sistema aplicou um total de aproximadamente 40,7 litros de água, distribuídos de forma seletiva ao longo dos dias. Os dados coletados também apontam que a válvula foi acionada apenas quando os valores de umidade do solo estavam abaixo do limite definido, o que evitou o desperdício. Em dias que apresentavam umidade adequada, não houve acionamento na irrigação.

Na primeira semana, o sistema aplicou um total de 3,08 litros de água, com acionamentos pontuais, ocorridos nos dias 10, 11 e 15 de abril e utilizando 1.28, 0.29 e 1.51 litros de água, respectivamente. O maior volume de água isolado ocorreu em 19/04, utilizando 8.04 litros, associado a níveis mais baixos de umidade e maior demanda hídrica.

Na última semana do experimento, os dados coletados relataram uma continuidade do funcionamento seletivo do sistema, apresentando irrigações com 3.48 litros em 02/05, 5.9 litros em 04/05 e 3,82 litros no dia 06/05. Essas variações nos valores de medidas estão diretamente relacionadas às condições climáticas e às mudanças na umidade do solo. Todos os dados hídricos registrados na última semana podem ser visualizados (Gráfico 2).

Além da análise por semana, foi feita uma avaliação geral do desempenho do sistema ao longo de todo o experimento, considerando o total de medições registradas e a das irrigações. Durante o experimento, foram detectadas 16 com consumo de água, das quais 7 foram eficazes, ou seja, aumentaram a umidade do solo quando ela estava em um estado abaixo de 60%. As outras 9 não tiveram efeito significativo na umidade. Além disso, o sistema identificou 13 falhas, em que houve tentativa de irrigação, mas sem consumo de água. Por outro lado, nenhuma irrigação foi feita quando a umidade estava acima de 60%, o que mostra que o controle automático funcionou corretamente, liberando água somente quando foi necessário.

Gráfico 2 – Água utilizada na semana do dia 02 ao dia 08 de maio

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.4 TEMPERATURA AMBIENTE: ANÁLISE SEMANAL E MENSAL

A temperatura do ar foi monitorada continuamente ao longo do experimento por meio do sensor DHT22, onde as medições eram sempre feitas a cada irrigação obtendo um histórico diário de dados da temperatura do ambiente. Apesar dessa variável não ter sido usada para acionamento da irrigação, sua coleta é importante para compreensão do comportamento climático e avaliar seu impacto indireto na evaporação da água do solo onde foram realizados os testes.

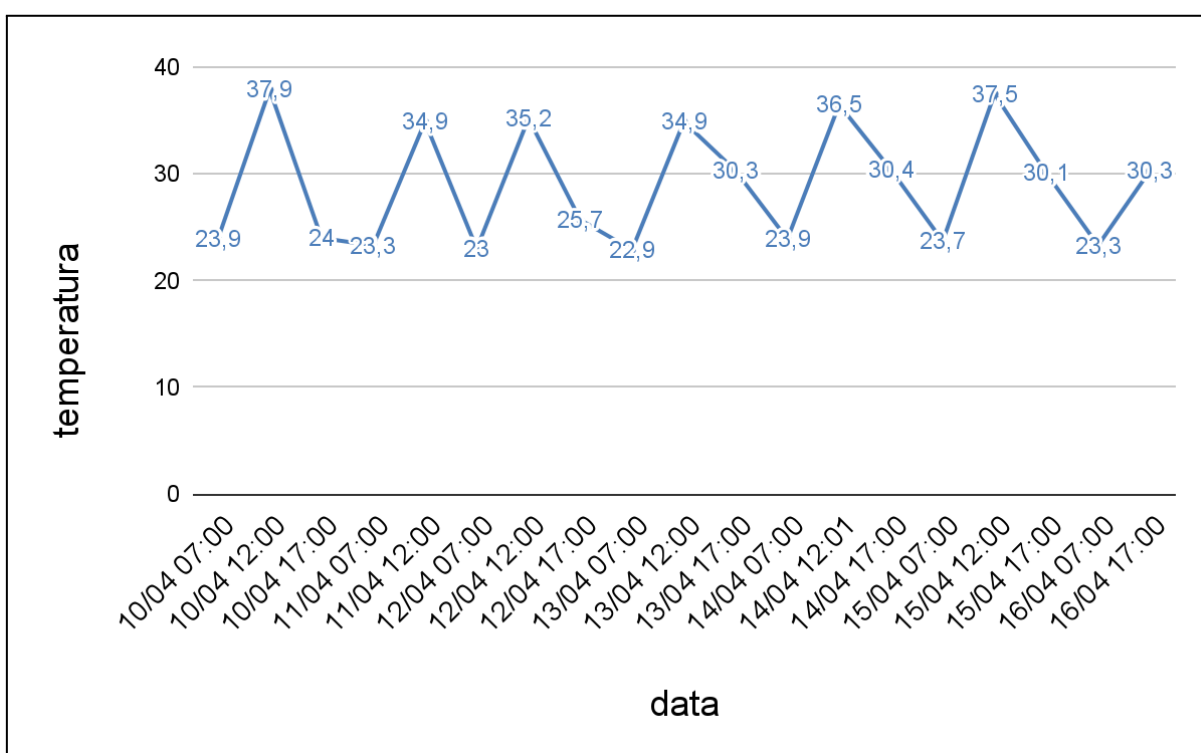
Para melhor ilustração dessa influência, foram analisados os dados de temperatura registrados em diferentes períodos do experimento, com ênfase na última semana e no intervalo completo de um mês.

Na semana inicial do experimento, realizada nos dias 10 a 16 de abril de 2025 e mostrada no Gráfico 3, as temperaturas obtiveram uma variação entre 22,9 °C e 37,9 °C, com médias diárias variando de 26,8°C a 30,43 °C. Os dados de temperatura que tiveram um valor muito elevado foram registrados durante o período da tarde, o que pode apontar para uma maior evaporação da água, ocasionando intervenções pontuais na liberação de água. Já nos períodos da manhã, os sensores

detectaram temperaturas mais amenas, corroborando para uma maior estabilidade hídrica.

Com relação ao período total de testes (10 de abril a 8 de maio de 2025), as temperaturas tiveram mínimas apresentando 22°C e, em alguns momentos, máximas ultrapassando 41°C. Essas máximas foram detectadas juntamente com um maior consumo de água, apontando uma possível conexão entre aumento da temperatura e redução da umidade do solo.

Gráfico 3 – Temperatura da primeira semana do experimento (10 a 16 de abril)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Por fim, o sistema de coleta de temperatura se mostrou promissor na sua atuação apresentando dados relevantes da região onde a horta inteligente foi implementada. Complementando com dados obtidos por outros sensores, as temperaturas encontradas foram capazes de apontar momentos onde o estado do solo apresentava pouca umidade, temperatura alta e consumo de água elevado, indicando uma possível evaporação de água em situações com temperatura elevada. Além disso, os dados térmicos permanecem acessíveis ao agricultor por meio da interface do sistema, permitindo uma compreensão mais ampla do microclima local e facilitando a tomada de decisões no cultivo.

5 CONCLUSÃO

O estudo em questão buscou como objetivo o desenvolvimento de um sistema de horta inteligente direcionado para pequenos produtores, relacionado à irrigação autônoma com monitoramento hídrico e ambiental, aliado a uma interface *web* e *chatbot* como meio de interação entre o agricultor e o sistema. O teste do protótipo realizado entre o mês de abril e maio de 2025 demonstrou uma boa atuação na coleta, transmissão e armazenamento de dados, além de efetuar um controle hídrico razoável, não realizando irrigações fora do intervalo de umidade do solo previamente definido. A interface *web* e o serviço de *chatbot* também mostraram uma atuação eficaz, permitindo ao agricultor um monitoramento mais acessível e simplificado, seja em tempo real ou análise histórica, para tomada de decisões e manejos eficientes.

Apesar desses pontos positivos, algumas limitações foram observadas. Em certas ocasiões o sistema registrou falhas de irrigação, em que houve tentativa de acionamento sem liberação efetiva de água, o que aponta a necessidade de aprimoramento no controle da válvula e verificação do fluxo. Para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da infraestrutura do sistema, incluindo a personalização de parâmetros como horários de irrigação e limites de umidade do solo, tornando o protótipo mais flexível e personalizado para uma variedade de culturas. Outra questão que pode ser abordada é a implantação de um controle de irrigação pautada em previsões meteorológicas, adicionando como condição de irrigação a possibilidade de chuva. Tais aprimoramentos podem tornar a solução mais robusta e eficaz no apoio ao pequeno produtor.

REFERÊNCIAS

ABDELMONEIM, Ahmed A. *et al.* Comparative analysis of soil moisture- and weather-based irrigation scheduling for drip-irrigated lettuce using low-cost Internet of Things capacitive sensors. **Sensors**, v. 25, n. 5, art. 1568, 2025. DOI: 10.3390/s25051568. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/5/1568>. Acesso em: 23 out. 2025.

ALBIERO, Daniel *et al.* Agriculture 4.0: a terminological introduction. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. spe, p. e20207737, 2020. DOI: 10.5935/1806-6690.20200083. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200083>. Acesso em: 23 out. 2025.

AOSONG ELECTRONICS. **Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)**. China, [2015]. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/assets/f/7/d/9/c/DHT22.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

AQUA TECH TRADING CORP. **Aqua Tech Solenoid Valves.pdf**. [S. l.], 29/01/2014. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/view/26721098/aqua-tech-solenoid-valvespdf> . Acesso em: 23 out. 2025.

ARDUINO. **Arduino IDE**. Versão 2.3.6 [S. l.]: Arduino. 2025. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/software/ide/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ARVANITIS, Konstantinos G.; SYMEONAKI, Eleni G. Agriculture 4.0: The role of innovative smart technologies towards sustainable farm management. **The Open Agriculture Journal**, v. 14, p. 130-135, 2020. DOI:10.2174/1874331502014010130. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874331520000405>. Acesso em: 23 out. 2025.

BALASUBRAMANYA, Soumya; STIFEL, David. Viewpoint: Water, agriculture & poverty in an era of climate change: Why do we know so little?. **Food Policy**, v. 93, p. 101905, 2020. DOI: 10.1016/j.foodpol.2020.101905. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919220301093>. Acesso em: 14 jul. 2025.

BONRUQUE, Erick; CELARINO, André; SOUZA, Odair Moreira de. Hortalno: Horta Automatizada de baixo custo com esp8266 para Auxiliar os Produtores Familiares. *In*: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE SOFTWARE LIVRE E TECNOLOGIAS ABERTAS (LATINOWARE), 19., 2022, Evento Híbrido. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022. p. 161–164. DOI: 10.5753/latinoware.2022.228064. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/latinoware/article/view/22987>. Acesso em: 23 out. 2025.

BRASIL. **Lei nº 11326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília: Diário Oficial da União, 24 jul. 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm . Acesso em: 23 out. 2025.

CHERLINKA, Vasyl. Umidade do Solo: Nível Ótimo E Controle De Déficit. [S. l.]: EOS Data Analytics, 14 out. 2022. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo>. Acesso em: 23 out. 2025.

DHILLON, Rajveer; MONCUR, Qianna. Small-scale farming: A review of challenges and potential opportunities offered by technological advancements. **Sustainability**, v. 15, n. 21, p. 15478, 2023. DOI: 10.3390/su152115478. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su152115478>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ESPRESSIF. **ESP32-WROOM-32**: Datasheet. 3.6. [S. l.], 8 ago. 2025. Disponível em: https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf . Acesso em: 23 out. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. **Timer**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/api/timer.html>. Acesso em: 23 out. 2025..

FAUZIAH, Sartika Triwahyu *et al.* Prototype of smart garden system for monitoring horticulture plants based on LoRa technology. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS AND TELEMATICS (ICWT), 8., 2022, Yogyakarta. **Anais [...]**. Yogyakarta: IEEE, 2022. p. 1–5. DOI: 10.1109/ICWT55831.2022.9935369. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9935369>. Acesso em: 23 out. 2025.

FIREBASE. **Cloud Firestore**. [S. l.], 23 out. 2025. Disponível em: <https://firebase.google.com/docs/firestore?hl=pt-br> . Acesso em: 23 out. 2025.

FOSHAN SHUNDE ZHONGJIANG ENERGY SAVING ELECTRONICS. **YF-S201 black flow sensor**. [S. l.], [2017?]. Disponível em: <https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/828/C898+datasheet.pdf>. Acesso em: 23 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agro 2017**: população ocupada nos estabelecimentos agropecuários cai 8,8%. [S. l.], 25 out. 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25789-censo-agro-2017-populacao-ocupada-nos-estabelecimentos-agropecuarios-cai-8-8> . Acesso em: 23 out. 2025.

JOHN, Mathew *et al.* Smart farming implementation using Arduino and LoRa. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR INTERNET OF THINGS (AIIoT), 3., 2024. Vellore. **Anais [...]**. Vellore: IEEE, 2024. p. 1–6. DOI: 10.1109/AIIoT58432.2024.10574584. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10574584>. Acesso em: 23 out. 2025.

KLERKX, Laurens; JAKKU, Emma; LABARTHE, Pierre. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90–91, p. 100315, 2019. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521419301769>. Acesso em: 14 jul. 2025.

LAMAS, Fernando Mendes. **A evolução da agricultura do Brasil**. Brasília: Embrapa, 5 jul. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81665485/artigo--a-evolucao-da-agricultura-do-brasi> . Acesso em: 23 out. 2025.

LIU, Ye *et al.* From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 17, n. 6, p. 4322–4334, 2021. DOI: 10.1109/TII.2020.3003910. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9122412> . Acesso em: 14 jul. 2025.

LOUGH, Brian. **Universal Arduino Telegram Bot**. 1.3.0. [S. l.], 8 nov. 2020. Disponível em: <https://github.com/witnessmenow/Universal-Arduino-Telegram-Bot>. Acesso em: 23 out. 2025.

MARENGO, Jose A. *et al.* Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. e17, 2022. DOI: 10.1002/cli2.17. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cli2.17>. Acesso em: 14 jul. 2025.

RANA, Md Zweel *et al.* IoT-enabled water management: a low-cost framework for sustainable irrigation in agricultural farms and home gardens. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTING, COMMUNICATION, ELECTRICAL, AND SMART SYSTEMS (iCACCESS)*, 2024. Dhaka. **Anais [...]**. Dhaka: IEEE, 2024. p. 1–5. DOI: 10.1109/iCACCESS61735.2024.10499567. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/iCACCESS61735.2024.10499567>. Acesso em: 14 jul. 2025.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. 1. ed. rev. Brasil: Edipro, 2016.

SHENZHEN HAIWANG SENSOR. **HW-101 HW-moisture sensor V1.2 Specification**. [S. l.], 21 out. 2015. Disponível em: <https://www.datocms-assets.com/28969/1662716326-hw-101-hw-moisture-sensor-v1-0.pdf> . Acesso em: 23 out. 2025.

SIEBER, Stefan *et al.* Trans-SEC's food security research in Tanzania: from constraints to adoption for out- and upscaling of agricultural innovations. **Food Security**, v. 10, n. 4, p. 775–783, 2018. DOI: 10.1007/s12571-018-0822-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12571-018-0822-3>. Acesso em: 14 jul. 2025.

SUWATCHAI, Mobizt K. **FirestoreClient**. 2.2.2. [S. l.], 24 mar. 2024. Disponível em: <https://github.com/mobizt/FirebaseClient>. Acesso em: 23 out. 2025.

TONGLING. **JQC-3FF-H-Z**. [S. l.], 12 maio 2015. Disponível em: <https://denkovi.com/Documents/JQC-3FF-S-Z.pdf> . Acesso em: 23 out. 2025.

YIGEZU, Yigezu Atnafe *et al.* Enhancing adoption of agricultural technologies requiring high initial investment among smallholders. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 134, p. 199–206, 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.06.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162517315391>. Acesso em: 14 jul. 2025.