

Irrigação Inteligente em Hortas Urbanas: Uma Abordagem Sustentável para o Manejo de Águas Urbanas

Luiz Arthur Malta Pereira

Professor Doutor, UB, Brasil
luiz.pereira@ub.edu.br
ORCID iD 0000-0002-0287-1323

Andréia Luciane Lindner

Doutoranda, UNOPAR, Brasil
andreialuciane@hotmail.com
ORCID iD 0009-0002-1613-6212

Käthery Brennecke

Professora Doutora, UB, Brasil
kathery.brennecke@ub.edu.br
ORCID iD 0000-0001-6758-9532

Marco Antonio de Andrade Belo

Professor Doutor, UB, Brasil
marco.belo@ub.edu.br
ORCID iD 0000-0001-5845-3940

Amanda Prudêncio Lemes

Professora Doutora, UB, Brasil
amanda.lemes@ub.edu.br
ORCID iD 0000-0003-1715-2695

Irrigação Inteligente em Hortas Urbanas: Uma Abordagem Sustentável para o Manejo de Águas Urbanas

RESUMO

Objetivo – Desenvolvimento de um equipamento inteligente e de baixo custo para a irrigação automatizada de hortas urbanas, integrando sensores de umidade do solo e consulta a dados meteorológicos em tempo real para avaliar a previsão de chuvas. Essa integração buscou otimizar o uso da água, reduzir desperdícios e promover maior produtividade e sustentabilidade nos sistemas agrícolas urbanos.

Metodologia - O sistema foi implementado a partir da plataforma ESP8266 integrada a um sensor capacitivo de umidade do solo e a um módulo relé, responsável pelo acionamento automático da irrigação. A programação, realizada em C++, permitiu tanto a leitura dos sensores quanto a consulta a serviços meteorológicos online, possibilitando decidir sobre a necessidade de irrigação com base na previsão de chuva. O protótipo foi projetado com alimentação híbrida, por fonte externa e bateria de lítio de 3,6 V, além de compatibilidade com painéis solares, garantindo autonomia em ambientes urbanos e remotos.

Originalidade/relevância - O projeto se destaca em originalidade ao integrar sensores de umidade do solo com dados meteorológicos online, possibilitando uma irrigação inteligente e eficiente. Sua relevância está no baixo custo, simplicidade de operação e compatibilidade com energia solar, fatores que favorecem o uso sustentável da água em hortas urbanas e em ambientes remotos.

Resultados - O equipamento foi inicialmente testado em ambiente de laboratório, por meio de ensaios do tipo caixa preta, que confirmaram a condição satisfatórias de funcionamento. Em seguida, o sistema seguirá para etapas de validação, com vistas à certificação e à sua viabilização como produto comercial.

Contribuições teóricas/metodológicas - O estudo demonstra a viabilidade de um protótipo de baixo custo que integra IoT, sensores de umidade e dados meteorológicos para irrigação inteligente, oferecendo um modelo replicável e promissor para a agricultura urbana sustentável.

Contribuições sociais e ambientais - O protótipo gera impacto social ao facilitar o acesso à irrigação inteligente de baixo custo e impacto ambiental ao reduzir o desperdício de água e possibilitar o uso de energia solar, fortalecendo a sustentabilidade na agricultura urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação inteligente. Agricultura urbana. Sustentabilidade. Internet das Coisas (IoT)

Smart Irrigation in Urban Gardens: A Sustainable Approach to Urban Water Management

ABSTRACT

Objective – Development of an intelligent and low-cost device for the automated irrigation of urban gardens, integrating soil moisture sensors and real-time weather data to assess rainfall forecasts. This integration aimed to optimize water use, reduce waste, and promote greater productivity and sustainability in urban agricultural systems.

Methodology – The system was implemented using the ESP8266 platform integrated with a capacitive soil moisture sensor and a relay module, responsible for the automatic activation of irrigation. The programming, carried out in C++, allowed both sensor readings and access to online weather services, enabling irrigation decisions based on rainfall forecasts. The prototype was designed with hybrid power supply, through an external source and a 3.6 V lithium battery, in addition to compatibility with solar panels, ensuring autonomy in urban and remote environments.

Originality/relevance – The project stands out for its originality by integrating soil moisture sensors with online meteorological data, enabling intelligent and efficient irrigation. Its relevance lies in its low cost, ease of operation, and compatibility with solar energy—factors that promote sustainable water use in urban gardens and remote environments.

Results – The equipment was initially tested in a laboratory environment through black-box tests, which confirmed satisfactory operating conditions. Subsequently, the system will proceed to validation stages, aiming at certification and its feasibility as a commercial product.

Theoretical/methodological contributions – The study demonstrates the feasibility of a low-cost prototype that integrates IoT, moisture sensors, and meteorological data for smart irrigation, offering a replicable and promising model for sustainable urban agriculture.

Social and environmental contributions – The prototype generates social impact by facilitating access to low-cost smart irrigation and environmental impact by reducing water waste and enabling the use of solar energy, strengthening sustainability in urban agriculture.

KEYWORDS: Smart irrigation. Urban agriculture. Sustainability. Internet of Things (IoT).

Riego Inteligente en Huertos Urbanos: Un Enfoque Sostenible para la Gestión del Agua Urbana

RESUMEN

Objetivo – Desarrollo de un equipo inteligente y de bajo costo para el riego automatizado de huertos urbanos, integrando sensores de humedad del suelo y consulta a datos meteorológicos en tiempo real para evaluar la previsión de lluvias. Esta integración buscó optimizar el uso del agua, reducir desperdicios y promover una mayor productividad y sostenibilidad en los sistemas agrícolas urbanos.

Metodología – El sistema fue implementado a partir de la plataforma ESP8266 integrada a un sensor capacitivo de humedad del suelo y a un módulo relé, responsable por la activación automática del riego. La programación, realizada en C++, permitió tanto la lectura de los sensores como la consulta a servicios meteorológicos en línea, posibilitando decidir sobre la necesidad de riego con base en la previsión de lluvia. El prototipo fue diseñado con alimentación híbrida, mediante fuente externa y batería de litio de 3,6 V, además de compatibilidad con paneles solares, garantizando autonomía en ambientes urbanos y remotos.

Originalidad/relevancia – El proyecto se destaca en originalidad al integrar sensores de humedad del suelo con datos meteorológicos en línea, posibilitando un riego inteligente y eficiente. Su relevancia radica en el bajo costo, la simplicidad de operación y la compatibilidad con energía solar, factores que favorecen el uso sostenible del agua en huertos urbanos y en ambientes remotos.

Resultados – El equipo fue inicialmente probado en ambiente de laboratorio, mediante ensayos de tipo caja negra, que confirmaron condiciones satisfactorias de funcionamiento. Posteriormente, el sistema seguirá hacia etapas de validación, con miras a la certificación y a su viabilización como producto comercial.

Contribuciones teóricas/metodológicas – El estudio demuestra la viabilidad de un prototipo de bajo costo que integra IoT, sensores de humedad y datos meteorológicos para riego inteligente, ofreciendo un modelo replicable y prometedor para la agricultura urbana sostenible.

Contribuciones sociales y ambientales – El prototipo genera impacto social al facilitar el acceso al riego inteligente de bajo costo e impacto ambiental al reducir el desperdicio de agua y posibilitar el uso de energía solar, fortaleciendo la sostenibilidad en la agricultura urbana.

PALABRAS CLAVE: Riego inteligente. Agricultura urbana. Sostenibilidad. Internet de las Cosas (IoT).

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

Apesar do planeta Terra ser coberto por aproximadamente 70% de água, apenas 3% correspondem à água doce, e grande parte desse volume encontra-se inacessível, por estar congelada nas calotas polares (BRK, 2023). Do total disponível, a quantidade de água potável para consumo humano representa apenas 1%, sendo que cerca de 12% dessa fração encontra-se no Brasil (BRASIL, 2024). Entretanto, mesmo com relativa abundância, a escassez de água é um problema global crescente, intensificado por fatores como má gestão dos recursos hídricos, desperdício, desigualdade social e pressão da agricultura intensiva (CETESB, 2023).

No Brasil, sua distribuição é desigual, resultando em situações críticas em regiões como o Nordeste, frequentemente afetadas por estiagens prolongadas. Enquanto o Norte concentra a maior parte das reservas hídricas, principalmente na Bacia Amazônica e no Aquífero Alter do Chão, as regiões Sudeste e Nordeste, mais densamente povoadas, enfrentam escassez recorrente (MONTROYA; FINAMORE, 2020).

Além disso, o setor agrícola, responsável por mais de 70% do consumo de água no país, apresenta baixa eficiência hídrica devido ao uso de técnicas de irrigação inadequadas, altas taxas de evaporação e manejo deficiente do solo (PENA, 2024).

A agricultura irrigada exerce papel estratégico na segurança alimentar, especialmente em contextos de clima variável. Estima-se que até 2050 serão necessários 47% a mais de alimentos de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (ATLANTIC COUNCIL, 2024). Nesse cenário, a irrigação assume papel indispensável para elevar a produtividade, reduzir riscos e assegurar estabilidade à produção agrícola. Entretanto, torna-se fundamental aprimorar sua eficiência, de modo a equilibrar custos de produção, disponibilidade hídrica e sustentabilidade (BASSOI, 2021). Diversas técnicas de irrigação podem ser utilizadas, entre elas a aspersão e o gotejamento. A aspersão, embora amplamente utilizada, pode resultar em maiores perdas por evaporação. Já o gotejamento se mostra mais eficiente, pois direciona a água diretamente à zona radicular das plantas, reduzindo o desperdício (SANTORO, 2022; WIKIPÉDIA, 2022). Ainda assim, estudos apontam que mesmo tecnologias modernas são frequentemente aplicadas de forma inadequada, ocasionando desperdícios significativos de água (MANTOVANI et al., 2006; MAROUELLI et al., 2008c). Diante disso, torna-se urgente o desenvolvimento de soluções tecnológicas de baixo custo que integrem sensores de umidade e dados meteorológicos tornam-se fundamentais para automatizar a irrigação, reduzir perdas e ampliar o acesso a práticas agrícolas mais responsáveis.

2 OBJETIVO

Desenvolver um equipamento inteligente e de baixo custo para a irrigação automatizada de hortas urbanas, integrando sensores de umidade do solo e dados meteorológicos em tempo real, a fim de otimizar o uso da água, reduzir desperdícios e promover maior produtividade e sustentabilidade nos sistemas agrícolas urbanos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do protótipo de irrigação inteligente foi realizado em etapas integradas de hardware, software e comunicação, conforme descrito a seguir.

2.1 Plataforma de Processamento

Foi utilizado o ESP8266, microcontrolador de 32 bits desenvolvido pela Espressif Systems, operando a uma frequência de até 80 MHz, com suporte a conectividade Wi-Fi (802.11 b/g/n) e baixo consumo energético. O dispositivo possui ADC de 10 bits (um canal), além de interfaces SPI, I²C, UART e PWM, possibilitando a integração com sensores e atuadores diversos. Tais características tornam o ESP8266 uma solução consolidada em aplicações de Internet das Coisas (IoT), automação e monitoramento remoto (ESPRESSIF, 2025; USINAINFO, 2023).

2.2 Sensor de Umidade do Solo

Para a medição da umidade do solo foi adotado um sensor capacitivo de umidade, que apresenta maior durabilidade em comparação a sensores resistivos, por não estar sujeito à corrosão direta dos eletrodos. O princípio de funcionamento baseia-se na formação de um capacitor a partir de duas placas condutoras. A constante dielétrica do solo varia de acordo com a quantidade de água presente, afetando a capacitância medida pelo sensor. Assim, solos secos apresentam menor capacitância, enquanto solos úmidos elevam significativamente a constante dielétrica e, conseqüentemente, o valor de capacitância (ROBOCORE, 2025).

2.3 Estrutura de Programação

O código foi desenvolvido em linguagem C++, utilizando a IDE Arduino para compilação e gravação no ESP8266. O programa realiza a leitura periódica do sensor de umidade e armazena os valores em variáveis internas para posterior análise. Um algoritmo de decisão foi implementado, avaliando o nível de umidade do solo em conjunto com a previsão meteorológica.

Caso a previsão de precipitação indique chuvas iminentes, o sistema adia a irrigação, caso contrário, o módulo relé é acionado, permitindo a passagem de corrente elétrica para a bomba de irrigação.

2.4 Integração com API Meteorológica

Para a obtenção da previsão de chuvas, foi criada uma API que realiza requisições a serviços meteorológicos online, utilizando protocolo HTTP. A API retorna dados em formato JSON, contendo informações sobre previsão de precipitação nas horas seguintes. Esse modelo de integração permite ao microcontrolador acessar dados externos de forma segura e padronizada, prática consolidada em sistemas IoT e computação em nuvem (AMAZON, 2025).

3.5 Estrutura de Alimentação

O equipamento foi projetado para alimentação híbrida, combinando, fonte externa de energia e Bateria de Lítio de 3.6 V, garantindo autonomia em caso de falha da rede. É importante

ressaltar que o sistema possui compatibilidade com painéis solares, visando operação sustentável em ambientes urbanos e remotos.

2.5 Etapas de teste

A validação inicial ocorreu em ensaios de laboratório do tipo caixa preta, nos quais foram analisados o tempo de resposta, a estabilidade do sistema e a consistência da tomada de decisão frente às variáveis de umidade e previsão meteorológica. Etapas futura preveem a aplicação do sistema em hortas urbanas experimentais, visando avaliar sua eficácia em condições reais e mensurar a economia de água proporcionada.

3 RESULTADOS

3.1 Desenvolvimento da fase I

Para a construção da Fase I do projeto, que consistiu na obtenção de informações meteorológicas para apoiar a tomada de decisão sobre a irrigação, foi necessário integrar a aplicação a um serviço externo de dados climáticos. Para tal, utilizou-se o WeatherAPI.com, uma plataforma que disponibiliza dados meteorológicos e geográficos por meio de uma API, suportando formatos como JSON e XML (WEATHERAPI, 2025).

O WeatherAPI oferece uma ampla gama de recursos, incluindo dados de clima em tempo real, previsões horárias e diárias de até 14 dias, histórico climático desde 2010, além de informações complementares como qualidade do ar, dados astronômicos, meteorologia marítima e serviços de geolocalização.

Entretanto, a comunicação direta do ESP8266 com a API do WeatherAPI.com mostrou-se inviável devido à necessidade de tratamento dos dados retornados. A API original fornece informações em bloco, sem a formatação adequada para a análise direta pelo microcontrolador.

Apesar de ser uma API, a comunicação direta do equipamento desenvolvido com a API da WeatherAPI.com, seria complexa, uma vez que a API precisa que seja enviada a localização e retorna os dados sem a formatação por hora, desta forma, foi desenvolvida uma API do projeto que recebe os dados da API da WeatherAPI, os separa e processa, para que os dados principais sejam organizados por hora, facilitando a “conversa” do equipamento com a API.

O desenvolvimento da API foi feito em código PHP, que é uma linguagem de programação usada para criar sites e aplicações web dinâmicas. Funciona no servidor e é muito usada com bancos de dados como o MySQL. É simples, flexível e bastante popular. O código da API desenvolvida é apresentado na figura 1.

Figura 1 – Código em PHP da API intermediária para obtenção de dados meteorológicos

```
1 <?php
2 // Definição da URL com a chave de API e coordenadas (latitude, longitude)
3 $apiKey = "16b03a7643f94c3dbd5211917252002";
4 $location = "-21.904,-47.6199";
5 $url = "http://api.weatherapi.com/v1/forecast.json?key=$apiKey&q=$location&days=1&aqi=no&alerts=no";
6
7 // Inicializa a requisição cURL para acessar a API externa
8 $ch = curl_init();
9 curl_setopt($ch, CURLOPT_URL, $url);
10 curl_setopt($ch, CURLOPT_RETURNTRANSFER, true);
11 $response = curl_exec($ch);
12 curl_close($ch);
13
14 // Decodifica a resposta JSON
15 $weatherData = json_decode($response, true);
16
17 // Verifica se os dados foram retornados corretamente
18 if (isset($weatherData['forecast']['forecastday'][0]['hour'])) {
19     $forecast = $weatherData['forecast']['forecastday'][0]['hour'];
20     $hourlyData = [];
21
22     // Organiza os dados por hora
23     foreach ($forecast as $hour) {
24         $time = $hour['time'];
25         $hourlyData[$time] = [
26             'temperature_c' => $hour['temp_c'],
27             'temperature_f' => $hour['temp_f'],
28             'condition' => $hour['condition']['text'],
29             'precipitation_mm' => $hour['precip_mm'],
30             'chance_of_rain' => $hour['chance_of_rain'],
31             'humidity' => $hour['humidity'],
32             'wind_kph' => $hour['wind_kph'],
33             'pressure_mb' => $hour['pressure_mb'],
34         ];
35     }
36
37     // Exibe os dados processados de forma estruturada
38     echo "<pre>";
39     print_r($hourlyData);
40     echo "</pre>";
41 } else {
42     echo "Erro ao obter os dados da API.";
43 }
44 ?>
```

Entre os parâmetros retornados estão: temperatura, umidade, velocidade do vento, pressão atmosférica, condição do céu e, principalmente, a probabilidade de precipitação (*chance_of_rain*). O objetivo foi garantir que a API pudesse entregar dados estruturados e confiáveis para embasar a tomada de decisão em tempo real.

O retorno da API é estruturado em formato de *array* associativo, no qual cada chave representa um horário específico, e o valor associado é um conjunto de variáveis climáticas relevantes. No exemplo apresentado, todas as horas do dia 28/03/2025 indicam 0% de chance de chuva, com variações nas condições do tempo entre céu limpo, parcialmente nublado e ensolarado (figura2).

Figura 2 – Retorno da API desenvolvida para o dia 28/03/2025 em Descalvado - SP

```
Array
(
    [2025-03-28 00:00] => Array
        (
            [temperature_c] => 22.5
            [temperature_f] => 72.6
            [condition] => Clear
            [precipitation_mm] => 0
            [chance_of_rain] => 0
            [humidity] => 73
            [wind_kph] => 6.8
            [pressure_mb] => 1012
        )

    [2025-03-28 01:00] => Array
        (
            [temperature_c] => 22.1
            [temperature_f] => 71.8
            [condition] => Partly Cloudy
            [precipitation_mm] => 0
            [chance_of_rain] => 0
            [humidity] => 75
            [wind_kph] => 6.8
            [pressure_mb] => 1012
        )

    [2025-03-28 02:00] => Array
        (
            [temperature_c] => 21.9
            [temperature_f] => 71.4
            [condition] => Partly Cloudy
            [precipitation_mm] => 0
            [chance_of_rain] => 0
            [humidity] => 76
            [wind_kph] => 6.5
            [pressure_mb] => 1012
        )
)
```

Com o objetivo de otimizar a comunicação com o módulo ESP8266, foi desenvolvida uma segunda API, dedicada exclusivamente ao fornecimento da previsão de ocorrência de chuvas para as quatro horas subsequentes no município de Descalvado - SP. Essa abordagem simplifica a programação do ESP8266, uma vez que concentra o processamento em uma única informação essencial. O código de integração correspondente é apresentado na Figura 3.

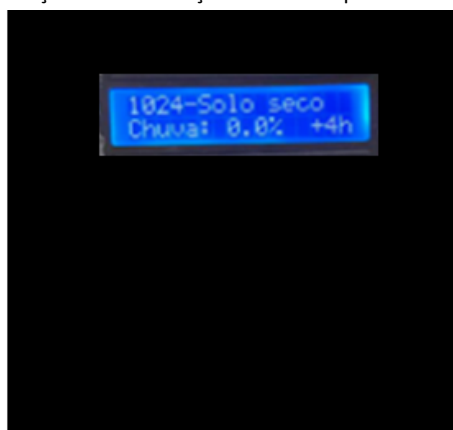
Figura 3 – Código da API desenvolvida para retornar a previsão de ocorrência de chuvas nas próximas quatro horas em Descalvado - SP, otimizando a comunicação com o microcontrolador ESP8266.

```
1 <?php
2
3 date_default_timezone_set('America/Sao_Paulo'); // Ajuste conforme necessário
4
5 $apiKey = "16b03a7643f94c3dbd5211917252002";
6 $location = "-21.904,-47.6199";
7 $url = "http://api.weatherapi.com/v1/forecast.json?key=$apiKey&q=$location&days=1&aqi=no&alerts=no";
8
9 $ch = curl_init();
10 curl_setopt($ch, CURLOPT_URL, $url);
11 curl_setopt($ch, CURLOPT_RETURNTRANSFER, true);
12
13 $response = curl_exec($ch);
14 curl_close($ch);
15
16 $weatherData = json_decode($response, true);
17
18 if (isset($weatherData['forecast']['forecastday'][0]['hour'])) {
19     $forecast = $weatherData['forecast']['forecastday'][0]['hour'];
20
21     $currentTime = time();
22     $chanceSum = 0;
23     $count = 0;
24
25     foreach ($forecast as $hour) {
26         $forecastTime = strtotime($hour['time']);
27
28         if ($forecastTime >= $currentTime) {
29             $chanceSum += $hour['chance_of_rain'];
30             $count++;
31         }
32
33         if ($count >= 4) break;
34     }
35
36     $media = $chanceSum / $count;
37     echo round($media, 2);
38 } else {
39     echo "Erro ao obter os dados da API.";
40 }
41
42 ?>
```

5.2 Desenvolvimento da fase II

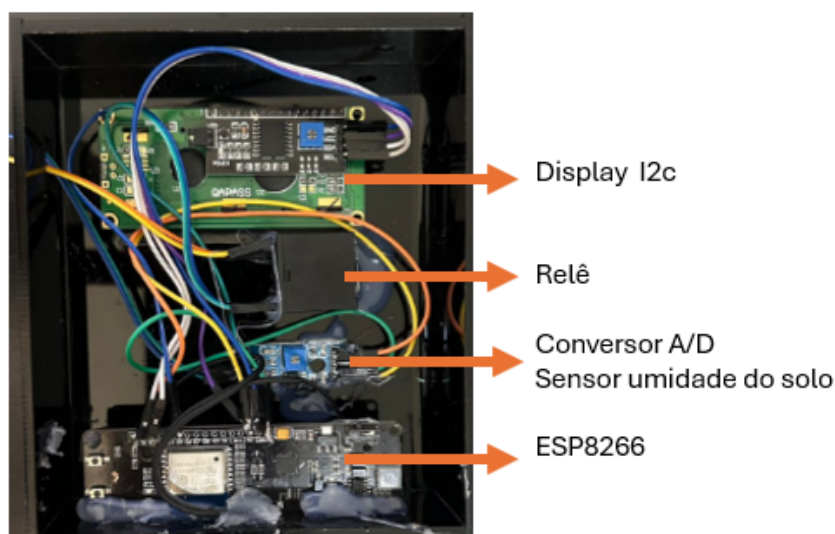
O protótipo foi instalado em uma caixa de acrílico, na qual foi realizado um orifício para a fixação de um display I2C. Esse componente possibilita ao usuário o acompanhamento, em tempo real, das informações geradas pelo sistema, incluindo a probabilidade de ocorrência de chuvas (%) nas quatro horas subsequentes para o município de Descalvado - SP. A Figura 4 mostra o equipamento em operação.

Figura 4 – Vista frontal do equipamento desenvolvido, destacando o display I2C instalado na caixa de acrílico para exibição das informações coletadas pelo sistema.



Na parte interior da caixa de acrílico, foram acondicionados o ESP8266, com suporte para bateria de lítio 3.6V, sensor de umidade de solo capacitivo e relê de acionamento da minibomba. Para a fixação dos componentes no interior da caixa, foi utilizada cola quente (silicone), garantindo estabilidade e posicionamento adequado dos elementos do sistema. A figura 5 apresenta a parte interna do equipamento desenvolvido.

Figura 5 – Vista interna do equipamento desenvolvido, evidenciando a disposição dos componentes eletrônicos e a fixação realizada com cola quente (silicone) para garantir estabilidade durante o funcionamento.



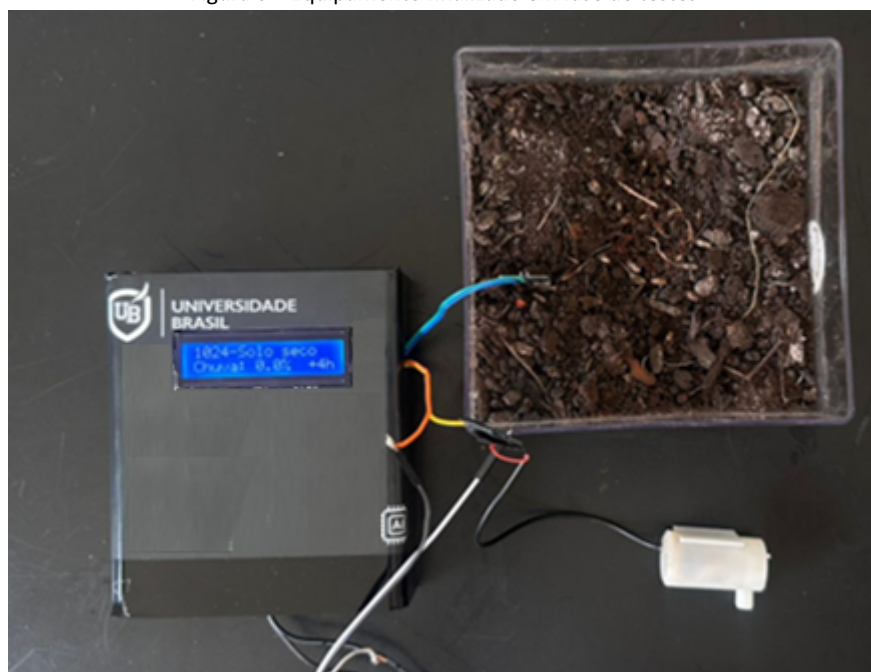
O equipamento foi testado em laboratório por meio do teste de caixa preta, o qual consiste em analisar as funcionalidades do sistema a partir das entradas e saídas observáveis, sem considerar a estrutura interna do código-fonte ou a lógica de programação. Esse tipo de teste permite verificar se o equipamento responde corretamente aos estímulos esperados em diferentes condições de operação.

Para a realização dos testes, foi acessado um site meteorológico em um computador, e as informações exibidas no display do equipamento demonstraram compatibilidade com os dados fornecidos pelo serviço meteorológico em todos os ensaios realizados.

Utilizando terra vegetal disposta em uma caixa de acrílico, o sensor de umidade do solo foi inserido para realizar a medição da umidade. Em um período não fixado, adicionou-se água gradualmente com o objetivo de verificar a resposta do sensor. Durante o processo, observou-se que o display apresentou sequencialmente as mensagens: 'Solo seco', 'Umidade moderada' e 'Solo úmido', confirmando a sensibilidade do sistema quanto a umidade presente no solo. É importante ressaltar que o equipamento também mostra um número de referência quanto a umidade, porém, esses dados serão explorados quando o equipamento for submetido a validação.

Cumprе ressaltar que os testes realizados em laboratório não serão apresentados neste artigo, uma vez que a etapa de testes, calibração e validação serão conduzidas em momento posterior. Este projeto teve como foco principal o desenvolvimento das APIs e a confecção do equipamento, cuja conclusão foi obtida com êxito. O equipamento finalizado, atualmente em fase de testes, é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Equipamento finalizado em fase de testes



No display do equipamento, é possível visualizar o número 1024, que corresponde ao valor lido pelo sensor de umidade do solo, seguido da mensagem "Solo seco". Na segunda linha, é exibida a percentual de chuva prevista para as próximas 4 horas. Ressalta-se que, sempre que

o solo se encontrava seco e o equipamento não detectava previsão de chuva, o relé era acionado, ligando a minibomba.

6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do equipamento de irrigação Inteligente para irrigação sustentável para hortas urbanas demonstrou viabilidade técnica e funcional, atendendo o objetivo de integrar o monitoramento de umidade do solo com a consulta a previsões meteorológicas em tempo real.

A implementação das APIs específicas possibilitou a comunicação eficiente com serviços de previsão do tempo, favorecendo a tomada de decisão quanto ao acionamento do sistema de irrigação, evitando desperdícios e promovendo o uso racional da água.

O protótipo foi concluído com êxito, apresentando respostas consistentes nos testes preliminares em laboratório, evidenciando a detecção da umidade do solo e a compatibilidade dos dados coletados com fontes meteorológicas confiáveis. Contudo, etapas de calibração, validação e testes em campo ainda serão necessárias para ajustar parâmetros de operação, aferir desempenho em condições reais e certificar o equipamento para uso comercial.

Considera-se que a tecnologia proposta tem potencial para contribuir de forma significativa com a sustentabilidade hídrica na agricultura, sobretudo em pequenas e médias propriedades, por aliar automação, baixo custo e simplicidade operacional. A continuidade deste trabalho deverá focar na validação de longo prazo e na exploração de soluções complementares, como integração com energia solar e ampliação de funcionalidades.

7. REFERÊNCIAS

AMAZON WEB SERVICES. **O que é uma API (interface de programação de aplicações)**. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/api/>. Acesso em: 28 mar. 2025.

ATLANTIC COUNCIL. **Brazil 2050: A vision for global food security**. 2024. Disponível em: https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/issue-brief/brazil-2050-a-vision-for-global-food-security/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 2 ago. 2025.

BASSOI, Luís Henrique. **Irrigação no Brasil: necessidade e opção estratégica**. Embrapa Instrumentação, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62692713/artigo-irrigacao-no-brasil-necessidade-e-opcao-estrategica>. Acesso em: 01 abr. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs). **Consumo consciente da água é base para um futuro sustentável**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/consumo-consciente-da-agua-e-base-para-um-futuro-sustentavel>. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRK. **Saneamento em pauta: afinal, por que fazer um consumo consciente de água é importante?** Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/consumo-consciente-de-agua/>. Acesso em: 09 maio 2023.

CETESB. **O problema da escassez de água no mundo**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>. Acesso em: 09 maio 2023.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 datasheet**. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 01 abr. 2025.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 318 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação na cultura de hortaliças: princípios e práticas**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008c. p. 45-76.

MONTOYA, Marco Antonio; FINAMORE, Eduardo Belisário. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. **Revista Brasileira de Economia**, v. 74, n. 4, p. 441–464, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/rbe/a/X8MbHF7Mm7HpcqxNmYfZkpF/>. Acesso em: 02 abr. 2025.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Desperdício de água**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/desperdicio-agua.htm>. Acesso em: 10 maio 2024.

ROBOCORE. **Leitura da umidade do solo**. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/leitura-umidade-solo>. Acesso em: 01 abr. 2025.

SANTORO, M. **Agricultura irrigada: o que é, principais métodos e vantagens**. Aegro, 2022. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/agricultura-irrigada/>. Acesso em: 11 maio 2023.

TODA MATERIA. **Desperdício de água**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/desperdicio-de-agua/>. Acesso em: 10 maio 2023.

USINAINFO. **O que é o ESP32?** Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/esp32-611#:~:text=O%20ESP32%20%C3%A9%20um%20microcontrolador%20desenvolvido%20pela%20empresa%20chinesa%20Espressif>. Acesso em: 10 jun. 2023.

WEATHERAPI. **Weather API – dados meteorológicos**. Disponível em: <https://www.weatherapi.com/>. Acesso em: 01 abr. 2025.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. **Irrigação**. Flórida: Wikimedia Foundation, 2022. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Irriga%C3%A7%C3%A3o&oldid=64245285>. Acesso em: 22 ago. 2022.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Concepção e Design do Estudo: Todos os autores participaram conjuntamente da concepção da pesquisa, definição dos objetivos e delineamento metodológico.

Curadoria de Dados: Todos os autores contribuíram na organização, verificação e validação dos dados obtidos.

Análise Formal: Todos os autores participaram da análise dos dados, aplicando os métodos estabelecidos.

Aquisição de Financiamento: Todos os autores contribuíram de forma igualitária na obtenção de recursos para o desenvolvimento do estudo.

Investigação: Todos os autores participaram da investigação e dos testes experimentais. Contudo, vale salientar que o desenvolvimento do equipamento foi realizado especificamente pelo primeiro autor.

Metodologia: Todos os autores atuaram no desenvolvimento e ajustes das metodologias aplicadas.

Redação – Rascunho Inicial: Todos os autores contribuíram conjuntamente para a elaboração da primeira versão do manuscrito.

Redação – Revisão Crítica: Todos os autores participaram da revisão crítica, promovendo melhorias na clareza, coerência e conteúdo científico.

Revisão e Edição Final: Todos os autores contribuíram para a revisão final e adequação do manuscrito às normas da revista.

Supervisão: Todos os autores exerceram de forma colaborativa a supervisão das etapas do estudo, assegurando a qualidade científica e técnica do trabalho.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Eu, Luiz Arthur Malta Pereira, declaro que o manuscrito intitulado "Irrigação Inteligente em Hortas Urbanas: Uma Abordagem Sustentável para o Manejo de Águas Urbanas":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho.
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-