



Nome do projeto: Controle Inteligente de Irrigação

Marcel Felipe Joris Varela, André Luis de Oliveira

¹ Faculdade de Computação e Informática
Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) – São Paulo, SP – Brazil

10408021@mackenzista.com.br

Abstract. *This meta-paper describes the development of an Intelligent Irrigation Control System, using an Internet of Things (IoT)-based solution to optimize water usage in irrigation. The system monitors soil moisture through a sensor that automatically activates a water pump when necessary. Additionally, the data is transmitted to a remote panel, enabling real-time monitoring and control. This approach contributes to the efficient use of water resources, aligning with SDG 6 (Clean Water and Sanitation).*

Resumo. *Este meta-artigo apresenta o desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Controle de Irrigação, utilizando uma solução baseada em Internet das Coisas (IoT) para otimizar o uso da água na irrigação. O sistema monitora a umidade do solo por meio de um sensor, que aciona automaticamente uma bomba d'água quando necessário. Além disso, os dados são transmitidos para um painel remoto, permitindo monitoramento e controle em tempo real. Essa abordagem contribui para o uso eficiente dos recursos hídricos, alinhando-se ao ODS 6 (Água Potável e Saneamento).*

1. Introdução

Com o aumento das mudanças climáticas e a crescente preocupação com a escassez e o desperdício de água, a gestão eficaz dos recursos hídricos se tornou um tema cada vez mais relevante e um pilar essencial para a sustentabilidade global. Ao longo da história, o manejo dos recursos hídricos foi crucial para o desenvolvimento de diversas civilizações, desde as antigas culturas que criaram sistemas de irrigação complexos até os dias atuais, onde a adoção de tecnologias avançadas e sistemas automatizados se mostra fundamental para soluções mais eficazes, especialmente em áreas vulneráveis à escassez de água, onde a disponibilidade desse recurso afeta diretamente a produção agrícola e o bem-estar da população.

Nos últimos anos, a Internet das Coisas (IoT) surgiu como uma inovação transformadora na gestão de recursos naturais, oferecendo ferramentas para monitoramento em tempo real e otimização do uso de água. A IoT, com sua interconexão de dispositivos inteligentes, tem sido aplicada em setores como agricultura de precisão, gerenciamento de redes de água e eficiência energética. Estudos e projetos anteriores, como o uso de sensores para irrigação inteligente e sistemas automatizados para controle de consumo hídrico, mostram o potencial da IoT para revolucionar a gestão da água. Exemplos incluem sistemas de irrigação inteligente que ajustam o fluxo de água com base nas condições do solo.

Neste contexto, este projeto apresenta um sistema de irrigação inteligente e automatizado que utiliza sensores de umidade do solo para monitoramento contínuo e atuadores para controlar uma bomba d'água. A comunicação entre os dispositivos é feita via protocolo MQTT, permitindo transmissão eficiente e remota de dados para um painel de supervisão. Essa abordagem visa otimizar o uso da água, reduzir o desperdício e contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) – Água Potável e Saneamento – ao promover práticas mais sustentáveis na agricultura e gestão hídrica, com impacto positivo na conservação de recursos e economia de água.

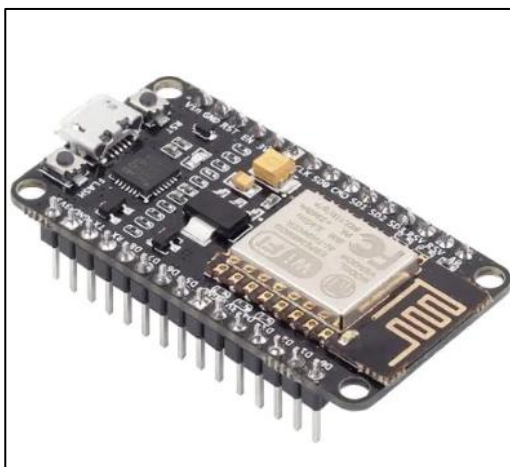
2. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento do sistema de controle inteligente de irrigação baseado em IoT, utilizaremos diversos componentes de hardware e software que são necessários para garantir o correto funcionamento do sistema de monitoramento e automação. Iremos listar abaixo cada componente e descreveremos com detalhes seu funcionamento.

- **Microcontrolador ESP8266 NodeMCU:** É um chip projetado para facilitar a conectividade de dispositivos e a criação de soluções dentro do ecossistema da Internet das Coisas (IoT). Com Wi-Fi integrado, permite comunicação sem fio e é amplamente utilizado devido ao seu baixo custo, facilidade de uso e uma grande comunidade de suporte, sendo ideal para projetos simples e econômicos.

O microcontrolador será responsável por processar os dados do sensor de umidade do solo e enviá-los via MQTT para um servidor ou broker na nuvem. Além disso, ele controlará o atuador (relé) que liga e desliga a bomba de irrigação conforme a umidade do solo. A comunicação com o servidor MQTT possibilita o monitoramento remoto do sistema, utilizando a biblioteca PubSubClient para implementar o protocolo MQTT e transmitir dados de umidade e o estado da bomba para uma plataforma de monitoramento. O ESP8266 requer uma fonte de alimentação de 3,3V a 5V.

Figura 1 - Microcontroladores ESP8266

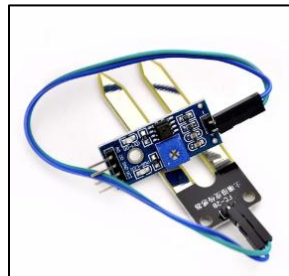


Fonte: MakeHero. Disponível em: <https://www.makehero.com/produto/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-esp-12/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Sensor de Umidade do Solo FC-28:** responsável por medir a quantidade de água presente no solo. O sensor envia informações sobre a umidade para o microcontrolador, que toma decisões sobre o acionamento da bomba de irrigação. O sensor mede a capacitância do solo, que varia conforme a quantidade de água presente. Diferente dos sensores resistivos, que são mais propensos ao desgaste devido à corrosão, os sensores capacitivos são mais duráveis e precisos.

Para seu funcionamento, o sensor de umidade é inserido no solo. Quando a umidade do solo diminui, a capacitância do sensor muda. Ele então envia um sinal analógico proporcional à umidade do solo, que será lido pelo microcontrolador. Com base nessas leituras, o microcontrolador decide se a bomba de irrigação deve ser ativada ou não.

Figura 2 - Sensor de Umidade do Solo FC-28

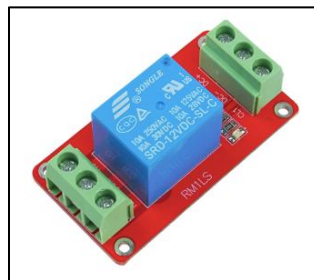


Fonte: Impactocnc. Disponível em: <https://www.impactocnc.com/modulo-sensor-de-umidade-do-solo>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Relé:** Será utilizado para o controle da bomba de irrigação. O relé é um dispositivo eletrônico que funciona como um interruptor, permitindo que o microcontrolador acione dispositivos de maior potência, como uma bomba d'água. Ele pode ser acionado por um sinal de baixa corrente (do microcontrolador) e ativar ou desativar a bomba de irrigação, que normalmente exige uma corrente maior.

O microcontrolador enviará um sinal digital para o relé, que, por sua vez, fechará ou abrirá o circuito que liga a bomba. O relé funciona como intermediário, garantindo que o microcontrolador não seja sobrecarregado pela corrente que a bomba requer. O relé possui contatos NO (Normalmente Aberto), permitindo o controle automático da bomba.

Figura 3 - Relé de 12V

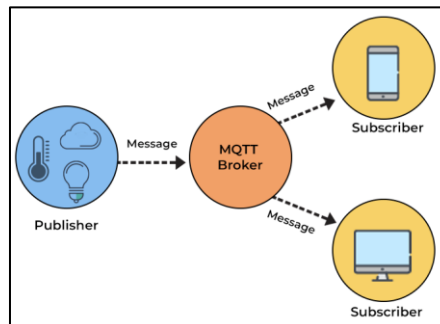


Fonte: UsinaInfo. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/rele-arduino/modulo-rele-12v-1-canal-rm1ls-na101-8582.html>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Protocolo de Comunicação MQTT:** “Message Queuing Telemetry Transport” é um protocolo de comunicação leve e eficiente, utilizado para transferir dados entre dispositivos em uma rede IoT. Ele é amplamente adotado em projetos de automação devido à sua eficiência no uso de banda e sua capacidade de oferecer comunicação em tempo real, mesmo em condições de rede limitadas.

Broker MQTT é um servidor que recebe, armazena e encaminha as mensagens entre os dispositivos. Exemplos de brokers gratuitos incluem Mosquitto, Adafruit e Adafruit IO. O microcontrolador (ESP8266) se conecta ao broker MQTT e publica os dados do sensor de umidade do solo. Esses dados podem ser consumidos por um servidor ou plataforma de monitoramento, que pode fornecer feedback ou alertas em tempo real. Além disso, o MQTT possibilita o controle remoto do estado da bomba de irrigação. A biblioteca PubSubClient para Arduino é amplamente utilizada para implementar o protocolo MQTT com o ESP8266, facilitando a comunicação entre os dispositivos e a plataforma de monitoramento.

Figura 4 - Protocolo de Comunicação MQTT



Fonte: Spice Works. Disponível em: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-mqtt/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Jumpers:** são cabos utilizados para conectar componentes eletrônicos, como sensores, módulos e placas. Existem basicamente três tipos de cabos para jumper, podendo possuir um conector macho em uma extremidade e um fêmea na outra, ter ambas pontas macho ou fêmea. Assim permitindo a ligação entre pinos e portas de forma prática, sem necessidade de solda.

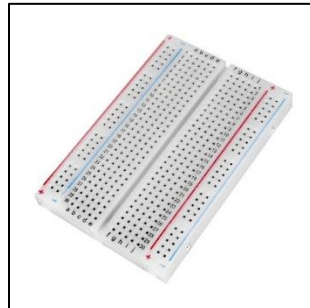
Figura 5 – Jumper Macho-Fêmea



Fonte: Instituto Digital. Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/jumper-macho-femea-20-x-unidades-20cm/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Protoboard:** placa usada para montar e testar circuitos eletrônicos temporariamente, sem precisar soldar os componentes. Ela possui furos conectados internamente que facilitam a ligação entre resistores, sensores, fios e outros dispositivos.

Figura 6 – Protoboard



Fonte: Sumador. Disponível em:

<https://sumador.com/collections/herramientas/products/protoboard-de-400-puntos>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Placa de Alimentação 12V:** fornecerá energia elétrica contínua para alimentar as placas e sensores no protoboard.

Figura 7 – Componente Placa de Alimentação



Fonte: Tecnotronics. Disponível em: <https://www.tecnotronics.com.br/fonte-de-alimentacao-3-3v-5v.html>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Fonte de Alimentação 12V:** fornecerá energia elétrica contínua para alimentar as placas, sensores e também faremos a alimentação direta da bomba de água.

Figura 8 – Componente Fonte de Alimentação



Fonte: Instituto Digital. Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/fonte-12v-2a-bivolt/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Bomba de Água 12V:** pequeno dispositivo utilizado para movimentar líquidos em projetos eletrônicos. Funciona com uma fonte de 12V e pode ser controlada por placas como o Arduino, geralmente com o auxílio de um transistor ou relé, sendo ideal para sistemas de irrigação automática ou fontes artesanais.

Figura 9 – Mini Bomba de Água 12V



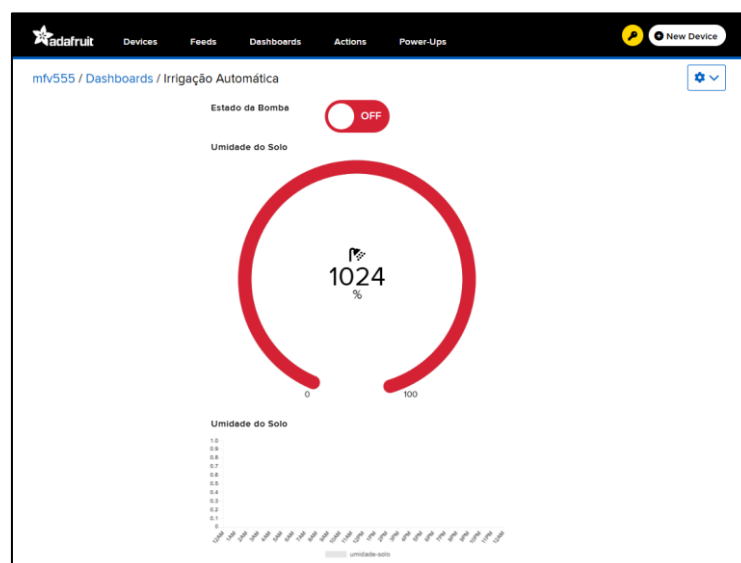
Fonte: Usina Info. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/bombinha-de-agua-e-ar/mini-bomba-de-agua-para-arduino-12v-rs385-2lmin-2814.html>. Acesso em: 15 mar. 2025.

- **Software de Monitoramento:** a plataforma de monitoramento, onde os dados do sensor e o status da bomba de irrigação serão exibidos, pode ser desenvolvida com diversas ferramentas, dependendo das necessidades do projeto. Para este caso, utilizaremos a plataforma Adafruit.

Adafruit é uma plataforma baseada em nuvem que permite coletar e visualizar dados em tempo real. Ela é compatível com o protocolo MQTT, facilitando a integração com o microcontrolador ESP8266. A plataforma recebe os dados do microcontrolador via MQTT e exibe informações como a umidade do solo e o status da bomba de irrigação.

Além de exibir dados, o Adafruit também permite configurar alertas baseados nas leituras do sensor e possibilita o controle remoto da bomba de irrigação, proporcionando um sistema de monitoramento eficiente e acessível.

Figura 10 – Dashboard Adafruit



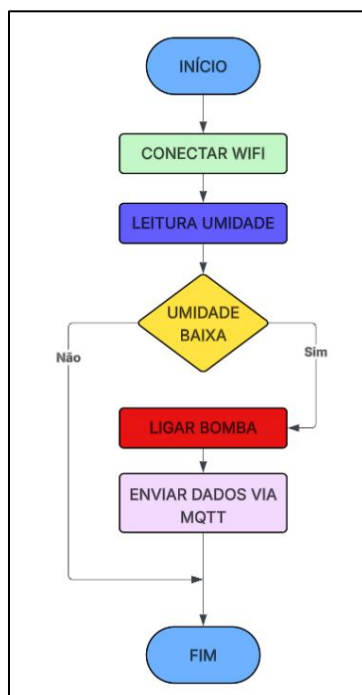
Fonte: O autor. Disponível em: <https://io.adafruit.com/mfv555/dashboards/irrigacao-automatica>. Acesso em: 15 mar. 2025.

O protótipo de irrigação automatizada funciona em ciclo contínuo e é composto por hardware físico integrado a um software embarcado desenvolvido na IDE Arduino C++, utilizando as bibliotecas Adafruit MQTT e WiFi. O NodeMCU ESP8266 se conecta a uma rede Wi-Fi local e ao broker MQTT da Adafruit IO, publicando e subscrevendo feeds de dados que representam a umidade do solo e o estado da bomba.

A cada 3 segundos, o microcontrolador realiza a leitura do sensor FC-28 conectado ao pino analógico A0. O valor lido é convertido em porcentagem de umidade e enviado para o feed "umidade-solo" no Adafruit IO. Ao mesmo tempo, o ESP8266 verifica se há comandos recebidos no feed "estado-bomba". Se o valor recebido for "1", a bomba é ativada (nível lógico LOW no pino D1); se for "0", a bomba é desligada (nível lógico HIGH).

O software implementa uma lógica de controle baseada em leitura contínua de sensores e atuação sob demanda via internet, promovendo uma irrigação eficiente e remota. O código completo do protótipo está disponível no GitHub, evidenciando a estrutura principal de conexão Wi-Fi, inicialização MQTT, leitura do sensor, envio de dados e verificação de comandos.

Figura 11 – Fluxograma de Funcionamento

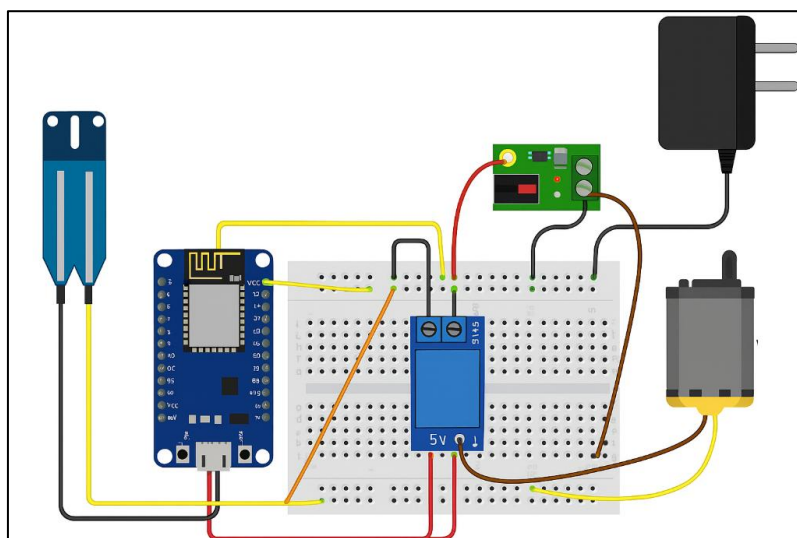


Fonte: O autor

Esses componentes de hardware e software formam o sistema de controle inteligente de irrigação baseado em IoT. O projeto integra sensores de umidade, microcontroladores, atuadores e comunicação via MQTT para criar uma solução automatizada e eficiente. O uso da plataforma Adafruit para monitoramento e controle remoto garante flexibilidade e escalabilidade ao sistema, permitindo a visualização e interação em tempo real. Dessa forma, o sistema não só otimiza o uso de recursos hídricos, mas também está alinhado aos objetivos de sustentabilidade do ODS 6, contribuindo para a gestão responsável da água e o acesso universal a recursos hídricos de qualidade.

- Modelo de Montagem:

Figura 12 – Modelo de Montagem



Fonte: O autor

Este protótipo de irrigação automatizada, baseado em Internet das Coisas (IoT), opera de forma autônoma e inteligente, sendo capaz de coletar informações do ambiente em tempo real, processar esses dados localmente e acionar atuadores conforme a necessidade de irrigação. Além disso, o sistema transmite informações para uma plataforma online via protocolo MQTT, permitindo o monitoramento remoto e contínuo do estado do solo. Abaixo, descrevemos cada etapa de funcionamento:

1. Leitura da Umidade do Solo

A medição da umidade do solo é feita por meio do sensor FC-28, que atua como um resistor variável: sua resistência muda conforme o teor de água presente no solo. Quando o solo está úmido, a condutividade elétrica é alta e o valor lido pelo sensor é menor; já em solos secos, ocorre o inverso. O sinal analógico gerado é enviado ao pino A0 do microcontrolador ESP8266, que interpreta valores de 0 a 1023. Segundo Fritzen (2020), sensores de umidade como o FC-28 são ideais para aplicações de monitoramento por apresentarem resposta rápida e baixo custo. Abaixo, uma tabela adaptada com base em Costa (2021) resume as faixas de umidade e as ações do sistema:

Valor Analógico (0-1023)	Condição do Solo	Ação do Sistema
0 – 300	Muito úmido	Bomba desligada
301 – 400	Úmido (ideal)	Bomba desligada
401 – 600	Seco	Bomba ligada
601 – 1023	Muito seco	Bomba ligada (mais tempo)

Fonte: Adaptado de COSTA (2021).

2. Processamento e Tomada de Decisão (Lógica de Controle)

Com os dados recebidos do sensor, o ESP8266 realiza a leitura e, se o valor estiver acima de um limite programado (exemplo: 400), o sistema entende que o solo está seco. Nessa condição, o relé é ativado, ligando automaticamente a bomba de água. Caso o valor esteja abaixo desse limite, a bomba permanece desligada. De acordo com Szewczyk e Vázquez (2019), esse tipo de automação permite minimizar o desperdício de água e é altamente escalável para soluções de agricultura inteligente.

O microcontrolador realiza esse processo em ciclos programados, como a cada 5 segundos, garantindo que a irrigação só ocorra quando realmente necessária.

3. Acionamento do Atuador (Relé e Bomba de Água)

O relé de 3V atua como uma chave eletrônica controlada pelo microcontrolador. Ele é conectado ao pino D1 (GPIO5) do ESP8266 e recebe sinais digitais para ativar ou desativar a bomba:

- Sinal LOW: fecha o circuito e a bomba de 12V é ligada.
- Sinal HIGH: abre o circuito, desligando a bomba.

O controle por relé é uma técnica consolidada para acionamento de cargas em sistemas embarcados, como demonstram Souza e Batista (2022) em seus estudos sobre automação residencial.

A bomba de água, ao ser acionada, irriga o solo até que os valores de umidade ultrapassem o limite determinado, interrompendo automaticamente o processo.

4. Comunicação com a Internet via MQTT

O ESP8266 conecta-se à internet via Wi-Fi e utiliza o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para enviar dados ao serviço Adafruit. Esse protocolo, leve e eficiente, é ideal para sistemas embarcados com baixa capacidade de processamento (Hunkeler et al., 2008).

Os dados enviados incluem:

- Valor atual da umidade do solo
- Status da bomba (ligada ou desligada)

Na interface do Adafruit, o usuário pode visualizar gráficos em tempo real, acessar o histórico das medições e, opcionalmente, controlar a bomba manualmente por um botão virtual no dashboard.

O módulo escolhido para comunicação no projeto foi o NodeMCU ESP8266, um microcontrolador com conectividade Wi-Fi integrada. Esse dispositivo opera de forma autônoma e realiza a comunicação com a Internet sem depender de um computador intermediário. O ESP8266 foi programado com a IDE Arduino, utilizando a biblioteca PubSubClient, amplamente compatível com o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).

A integração com o broker MQTT foi feita diretamente por meio de conexão Wi-Fi, eliminando a necessidade de interfaces USB-seriais ou o uso do protocolo Firmata, comum em projetos com Arduino UNO. No ESP8266, as mensagens são tratadas nativamente via código-fonte, que publica (envia) dados e também assina (recebe) tópicos MQTT. O protocolo MQTT é ideal para aplicações de IoT por ser leve, eficiente e adequado para dispositivos com recursos limitados.

Durante a execução, o microcontrolador:

- Lê os dados do sensor FC-28 (umidade do solo) e publica os valores no tópico MQTT correspondente (umidade-solo);
- Recebe comandos de controle da bomba via um segundo tópico (estado-bomba), permitindo acionamento manual remoto via painel;
- Publica o estado da bomba para feedback do sistema;
- Executa reconexões automáticas com o broker em caso de queda de sinal.

Essa abordagem garante baixa latência, alta confiabilidade e menor dependência de componentes externos, tornando o sistema eficiente, simples e escalável.

5. Loop de Monitoramento

O sistema opera em loop contínuo, realizando as seguintes etapas:

1. Leitura do sensor FC-28
2. Processamento da leitura
3. Acionamento (ou não) da bomba
4. Envio dos dados via MQTT
5. Espera de tempo programado e reinício do ciclo

Essa lógica garante o funcionamento totalmente autônomo do sistema, promovendo eficiência hídrica, confiabilidade e monitoramento remoto, sendo uma solução ideal para hortas domésticas, cultivos urbanos e pequenas propriedades rurais.

3. Resultados

Durante os testes práticos, o protótipo apresentou funcionamento coerente com os objetivos estabelecidos. O sensor de umidade demonstrou boa sensibilidade às mudanças de umidade do solo. A bomba foi acionada corretamente sempre que o solo estava seco e permaneceu desligada quando o nível de umidade era considerado adequado.

O LED indicador do relé foi usado para confirmação visual do acionamento. A comunicação com o Adafruit IO foi estável, permitindo o monitoramento, e o envio e recebimento de comandos em tempo real.

Foram realizados testes com diferentes níveis de umidade do solo para verificar a resposta do sistema em situações variadas. Ao simular solo seco, o valor da leitura analógica ultrapassava o limite definido de umidade, acionando automaticamente o relé

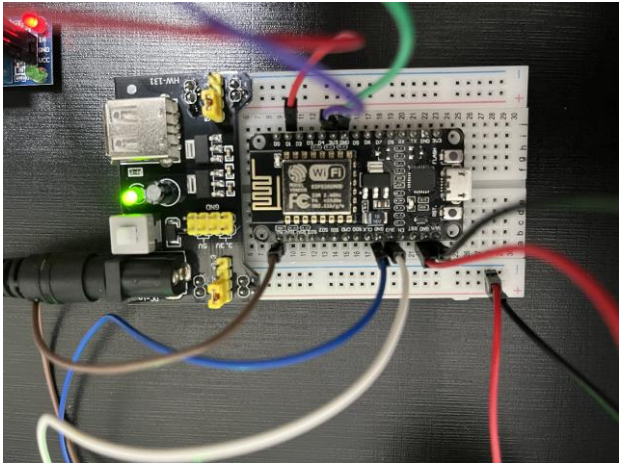
e ligando a bomba. Em solo úmido, o sistema corretamente mantinha a bomba desligada. A resposta foi rápida e eficaz em todas as tentativas.

Além disso, o botão de controle manual configurado no painel Adafruit IO funcionou conforme esperado, permitindo que o usuário ativasse ou desativasse a bomba remotamente, independentemente do estado do sensor. Isso demonstra a flexibilidade e o controle do sistema.

Esses resultados indicam que o protótipo atingiu com sucesso os objetivos propostos, comprovando a viabilidade técnica da solução para ambientes de pequeno porte que demandam automação na irrigação.

Imagens do protótipo foram capturadas e inseridas abaixo:

Figura 13 – Protótipo do sistema de irrigação automatizada



Fonte: O autor

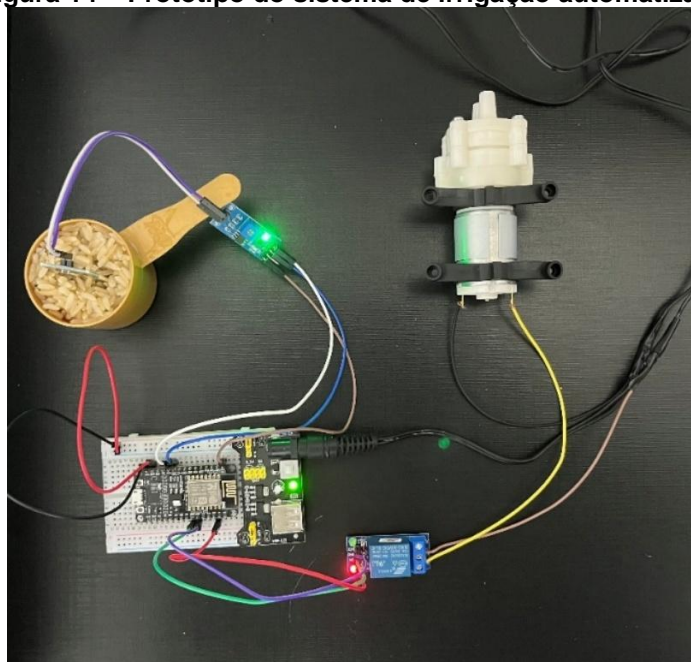
Na Figura 12, é possível observar o protoboard com a placa de fonte de alimentação de 12V, que realiza a conversão e distribuição da energia em 3V ou 5V para a placa ESP8266. Na placa ESP8266, estão conectados os pinos dos componentes sensor de umidade do solo e do módulo relé. As pinagens utilizadas foram:

ESP8266	RELÉ
3V3	VCC
GND	GND
D1	NI

ESP8266	FC-28
3V3	VCC
GND	GND
A0	AO

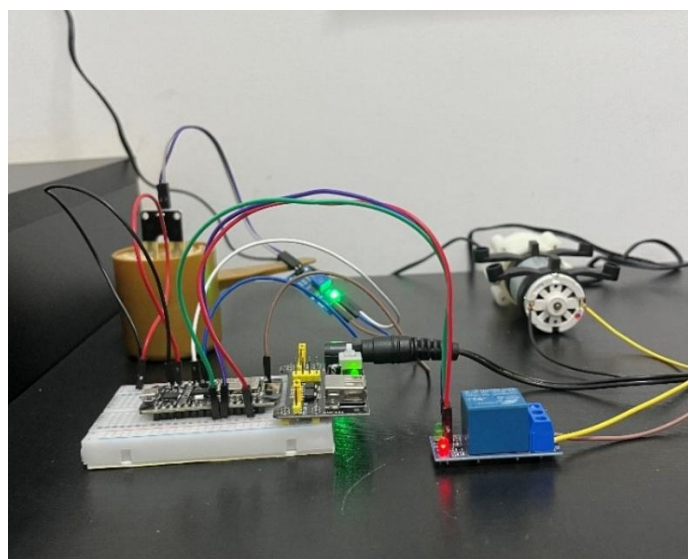
Fonte: O autor.

Figura 14 – Protótipo do sistema de irrigação automatizada



Fonte: O autor

Figura 15 – Protótipo do sistema de irrigação automatizada



Fonte: O autor

Nas Figuras 13 e 14, temos o protótipo completo, onde é possível visualizar o protoboard com as placas ESP8266 e de alimentação de 12V, o relé de 3V, o sensor de umidade do solo FC-28 inserido em um recipiente com arroz molhado para simular a umidade, além da bomba de água conectada ao sistema.

A conexão da bomba de água foi realizada utilizando o relé e a fonte de 12V da seguinte forma:

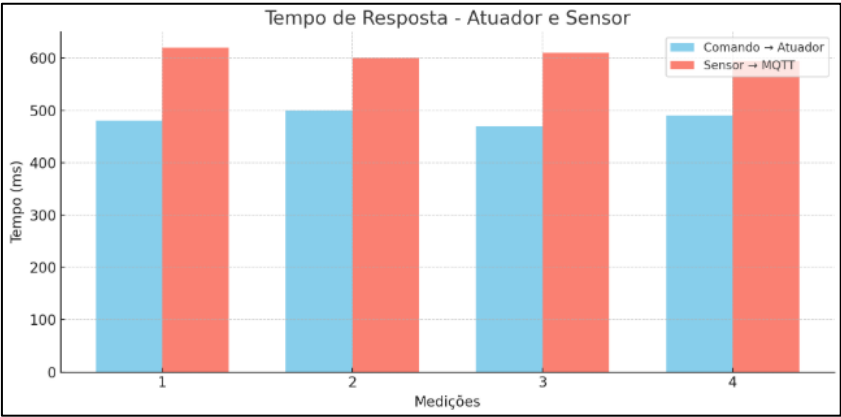
- O fio negativo da bomba foi conectado diretamente ao terminal negativo da fonte de 12V.

- O fio positivo da bomba foi ligado à porta NO (Normally Open) do relé.
- A porta COM (Common) do relé foi conectada ao terminal positivo da fonte de 12V.

O gráfico a seguir apresenta visualmente os tempos medidos entre:

- O envio de comandos via Adafruit IO e o acionamento do atuador (bomba);
- A detecção do sensor de umidade e o envio dos dados para a plataforma MQTT.

Figura 16 – Gráfico Tempo de Resposta

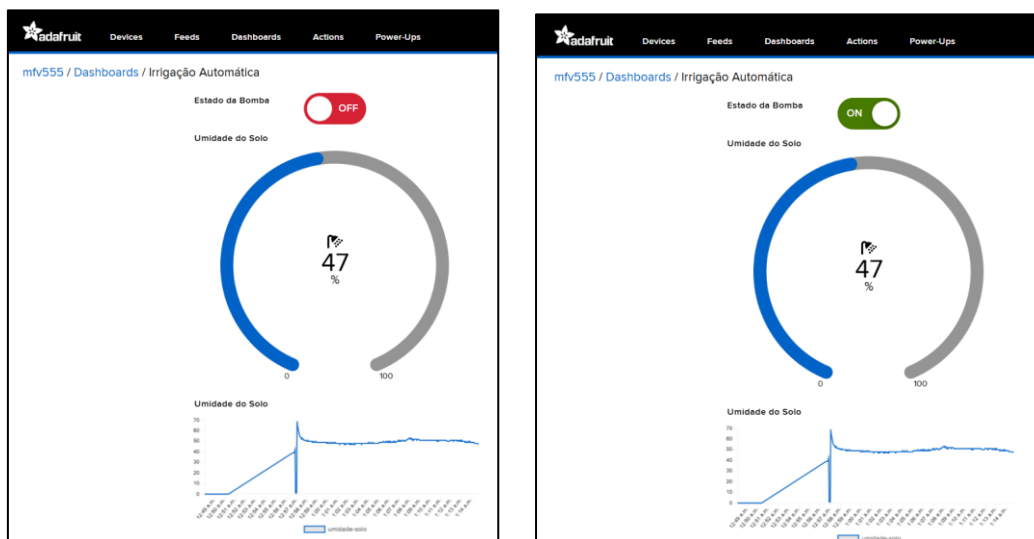


Fonte: O autor

Número Medida	Sensor / Atuador	Tempo de Resposta
1	Comando → Atuador	480 ms
2	Comando → Atuador	500 ms
3	Comando → Atuador	470 ms
4	Comando → Atuador	490 ms
5	Sensor → MQTT	620 ms
6	Sensor → MQTT	600 ms
7	Sensor → MQTT	610 ms
8	Sensor → MQTT	595 ms

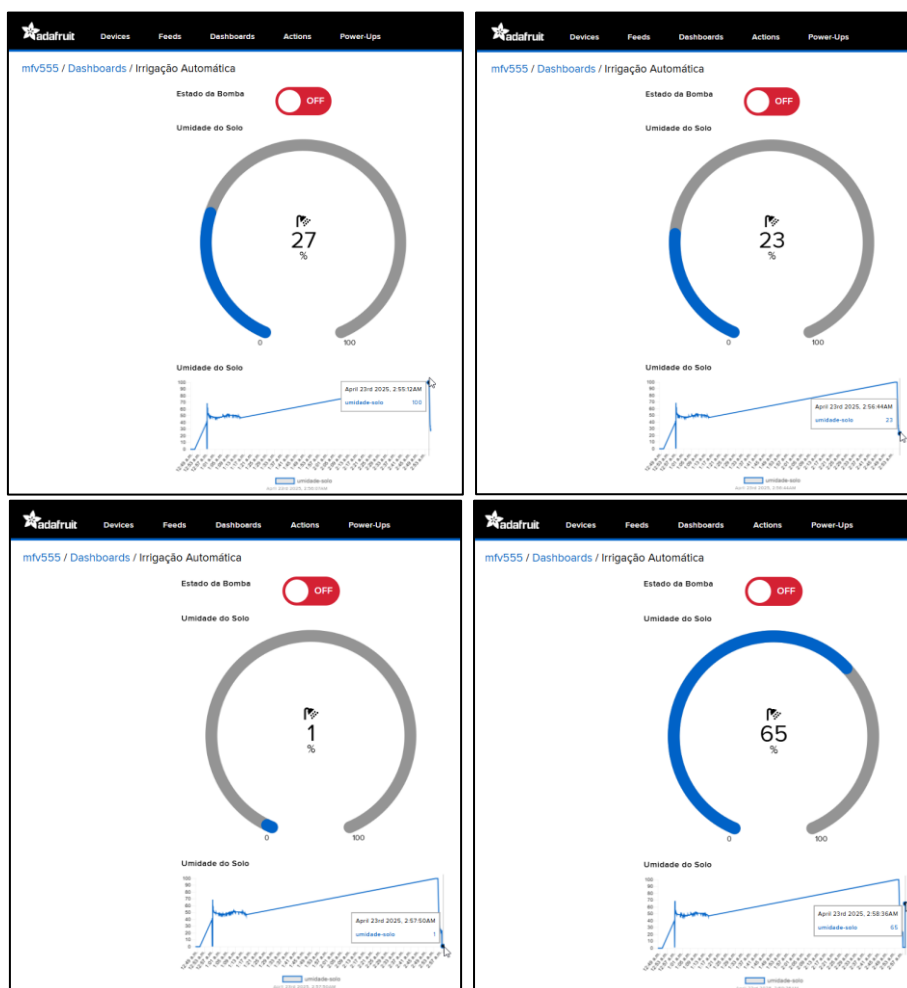
Fonte: O autor

Figura 17 – Ativa / Desativa Bomba de Água



Fonte: O autor

Figura 18 – Testes de Alterções de Umidade do Solo



Fonte: O autor

Abaixo estão disponíveis os links para o repositório no GitHub e para o vídeo no YouTube, contendo:

- O código-fonte desenvolvido, enviado à placa controladora ESP8266.
- O documento UPLOAD_CODE.pdf, que detalha passo a passo o processo de instalação, configuração e uso do software Arduino IDE para a conexão do computador com a placa ESP8266 e o upload do código.
- Um vídeo de demonstração, disponível no YouTube, apresentando o funcionamento do projeto em tempo real.

Repositório GitHub: https://github.com/mfv555/mackenzie_IoT/

Acesso Público ao Dashboard (somente visualização, necessário logon para acesso ao botão da bomba de água): <https://io.adafruit.com/mfv555/dashboards/irrigacao-automatica>

Youtube Explicação Completa: <https://youtu.be/poPbFmNqH7g?si=O-TKc3CJUSVS4W3d>

Youtube Execução Resumida:

https://youtu.be/A63t4eRRoJI?si=nV7ez_1G8yGZC59K

4. Conclusões

O projeto atendeu aos objetivos propostos, desenvolvendo um sistema de irrigação automatizada que utiliza sensores e atuadores integrados a uma plataforma de monitoramento remoto via protocolo MQTT. A comunicação entre o ESP8266 e o Adafruit IO funcionou de maneira eficiente, permitindo a supervisão em tempo real e o controle da bomba de irrigação com base em leituras de umidade do solo.

Durante a implementação, alguns problemas foram enfrentados, como a leitura incorreta do sensor de umidade (valores constantes de 1023), que foi solucionado ao verificar o uso correto do pino analógico (AO) e o ajuste da alimentação. Outro desafio significativo foi o acionamento da bomba de água utilizando o relé com uma fonte externa de 12V. Inicialmente, a bomba não ligava mesmo com o relé acionando corretamente (LED aceso). Após análise do esquema de ligação, identificou-se que o fio da bomba estava conectado ao terminal NC (Normally Closed), o que impedia a passagem da corrente elétrica quando o relé era ativado. A solução foi realocar a conexão da bomba para o terminal NO (Normally Open) e garantir que o terminal COM recebesse corretamente o positivo da fonte externa de 12V. Com essa correção, o circuito passou a funcionar como esperado, permitindo o acionamento adequado da bomba.

Entre as principais vantagens do projeto estão a simplicidade de montagem, o baixo custo dos componentes, a possibilidade de controle remoto e o uso eficiente de recursos hídricos. O sistema também é escalável e pode ser adaptado para hortas maiores ou ambientes agrícolas.

Como desvantagens, destaca-se a limitação do número de sensores e atuadores diretamente suportados pelo ESP8266, além da dependência da conexão com a internet para funcionamento pleno do sistema em modo remoto.

Para futuras melhorias, recomenda-se:

- A inclusão de sensores adicionais (temperatura, luminosidade, nível de reservatório);
- A implementação de uma interface web local como alternativa ao painel Adafruit IO;
- O uso de uma estrutura mais robusta para proteção do circuito contra umidade e intempéries;
- A criação de um sistema de alimentação com energia solar, aumentando a autonomia do sistema.

Essas melhorias ampliariam a confiabilidade, sustentabilidade e aplicabilidade do sistema em diferentes contextos.

5. Referências

COSTA, Bruno R. Automação de irrigação com Arduino e sensores de umidade do solo. São Paulo: NovaTech, 2021.

FRITZEN, Daniel. Sensores ambientais com Arduino: práticas e aplicações. Curitiba: TechPress, 2020.

HUNKELER, Urs; TRAMER, Hong Linh; GUBSER, Christian. MQTT-S: A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks. 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware – COMSWARE 2008.

SOUZA, Tiago L.; BATISTA, Mariane G. Automação residencial com ESP8266 e relés: da teoria à prática. Belo Horizonte: Casa do Código, 2022.

SZEWCZYK, Robert; VÁZQUEZ, Manuel A. Sistemas de irrigação inteligentes: sensores, microcontroladores e IoT na agricultura. Madrid: AgroTech Publications, 2019.

ARDUINO. Documentação de projetos. Disponível em: <<https://www.hackster.io/arduino/projects>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

ESPRESSIF. Microcontroladores - ESP8266. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

INSTRUCTABLES. Tutoriais de sistemas de automação e controle. Disponível em: <<https://www.instructables.com/>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). ODS 6. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

IOT DESIGN PRO. Tutoriais de sistemas de automação e controle. Disponível em: <<https://www.iotdesignpro.com/>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

MAKERHERO. Relé de 12V. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/guia/componentes-eletronicos/rele/>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MQTT. Protocolo de Comunicação MQTT. Disponível em: <<https://mqtt.org/>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS 6. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

ODS BRASIL. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=6>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

PROJETOS RASPBERRY PI. Tutoriais de sistemas de automação e controle. Disponível em: <<https://projects.raspberrypi.org/>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

QUADRADINHO, Matheus Souza de Carvalho. Estudo e aplicação do sensor FC-28 em sistemas de irrigação. Universidade Federal do Ceará – UFC Quixadá. Disponível em: <<https://www.quixada.ufc.br/wp-content/uploads/2017/03/2016-1-ES-MATHEUS-SOUZA-DE-CARVALHO.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SPICEWORKS. What is MQTT. Disponível em: <<https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-mqtt/>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

TECNOTRONICS. Fonte de Alimentação 3.3V/5V. Disponível em: <<https://www.tecnotronics.com.br/fonte-de-alimentacao-3-3v-5v.html>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SUMADOR. Protoboard 400 pontos. Disponível em: <<https://sumador.com/collections/herramientas/products/protoboard-de-400-pontos>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

INSTITUTO DIGITAL. Jumpers Macho-Fêmea. Disponível em: <<https://www.institutodigital.com.br/produto/jumper-macho-femea-20-x-unidades-20cm/>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

USINAINFO. Microcontrolador ESP8266. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/esp8266-610>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

USINAINFO. Mini Bomba de Água 12V. Disponível em:
<<https://www.usinainfo.com.br/bombinha-de-agua-e-ar/mini-bomba-de-agua-para-arduino-12v-rs385-2lmin-2814.html>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

AUTOCORÉ ROBÓTICA. Sensor de Umidade FC-28. Disponível em:
<<https://autocorerobotica.blog.br/aprenda-utilizar-o-sensor-de-umidade-de-solo-com-o-arduino/>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

FRITZING. Software de modelagem. Disponível em: <<https://fritzing.org/>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

ADAFruit. Getting started with Adafruit IO. Disponível em:
<<https://learn.adafruit.com/adafruit-io/getting-started>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

DIGIKEY. Projeto com Adafruit IO para Smart Home. Disponível em:
<<https://www.digikey.com/en/maker/projects/adafruit.io-smart-home/31153302d626482baa4c71bcc814dc97>>. Acesso em: 15 mar. 2025.