

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO E TOMADA DE DECISÃO INTELIGENTE BASEADO EM RASPBERRY PI APLICADO NA IRRIGAÇÃO

Gabriel José da Ressurreição Barros¹; Selmo Eduardo Rodrigues Júnior²

Resumo

Sistemas de irrigação desempenham um papel fundamental na produtividade agrícola, especialmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Nesse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento e os resultados de um sistema de irrigação inteligente, que utilizou tecnologias como Internet das Coisas (IoT) e modelos de Aprendizado de Máquina, integrados por meio de dispositivos como o Raspberry Pi e o Arduino. A construção e os testes foram realizados em uma área de cultivo no campus do Instituto Federal do Maranhão (IFMA). O protótipo demonstrou ser capaz de otimizar o uso da água por meio de ajustes autônomos, baseados em dados obtidos por sensores de campo e informações meteorológicas. Para o acompanhamento do processo, foi desenvolvida uma interface de monitoramento online, que permitiu a visualização em tempo real dos dados da cultura e das decisões tomadas pelo sistema.

Palavras-chave: Irrigação. Internet das Coisas. Aprendizado de Máquina. Raspberry Pi. Tomada de Decisão.

Financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

¹ Estudante do Curso de Engenharia Elétrica do IFMA do Campus Imperatriz; E-mail: barrosgabriel@acad.ifma.edu.br

² Professor Dr. do Curso de Engenharia Elétrica do IFMA do Campus Imperatriz; E-mail: selmo.junior@ifma.edu.br

1. Introdução

A agricultura desempenha um papel crucial para a segurança alimentar e na construção de empregos formais no Brasil. Em 2022, sua contribuição ao PIB atingiu o marcante patamar de 24,8%, consolidando-se como a âncora de cerca de 48% das exportações nacionais (Lamas, 2023). Essa prosperidade só foi possível graças à ligação entre a agricultura e a tecnologia. Segundo a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), cerca de 67% das propriedades agrícolas no território nacional adotam alguma modalidade tecnológica (CNA Brasil, 2017).

Nesse contexto, a obra 'VISÃO 2030: O FUTURO DA AGRICULTURA BRASILEIRA', publicada pela Embrapa, projetou uma perspectiva visionária para o cenário agrícola até 2030, postulando a materialização de fazendas integralmente autônomas. Essa visão está baseada no rápido crescimento do aprendizado de máquina, em conjunto com a acessibilidade às redes de comunicação, que desempenham um papel de interconexão por meio da Internet das Coisas (IoT). Esse panorama oferece uma visão promissora de uma melhoria no uso da água e um aprimoramento nos sistemas de monitoramento e controle (Oliveira, 2018).

A prática da irrigação e suas tecnologias desempenham um papel incontestável no sucesso de uma plantação. Em regiões semiáridas, a irrigação surge como obrigatória para assegurar o desenvolvimento pleno da colheita, e mesmo em locais de elevada precipitação, ela assume a função de complemento estratégico para manter a quantidade e a qualidade da produção (Testezlaf, 2017). O progresso da evolução irrigatória, em conjunto à automação, mostra-se um campo de potencialidades destinadas a aprimorar a eficiência das plantações, sendo um cenário favorável à incorporação de inovações como a integração de modelos de Aprendizado de Máquina e IoT.

As tendências de pesquisas globais frequentemente se concentram na intersecção entre irrigação e automação. Trabalhos científicos, a exemplo do *artigo "Low Power IoT Electronics in Precision Irrigation: Smart Agricultural Technology"*, escrito por Routis e Roussaki (2023), ressaltam a importância da inteligência artificial e dos sistemas da Internet das Coisas (IoT), centralizando suas análises na esfera específica dos sistemas de irrigação inteligente. O artigo descreve a implementação de um sistema de irrigação embasado na IoT, aproveitando-se de sensores calibrados para monitorar variáveis ambientais, tais como a

umidade do solo, umidade do ar, temperatura e radiação UV. Esses dados, em conjunto com a inteligência artificial, surgem como componentes cruciais para orientar na tomada de decisão, baseando-se em otimizações ajustadas às necessidades das plantas. Num escopo mais direcionado ao desenvolvimento de software, Raouhi et al. (2023) desenvolveram o sistema denominado AIDSII (*An AI-based digital system for intelligent irrigation*). Sistema digital, focado na inteligência artificial, articula-se em camadas que constituem a aplicação, a inteligência e o *hardware*, revelando a complexidade na busca pela irrigação inteligente e eficiente. Diante dos projetos apresentados, há uma oportunidade promissora de aprimorar a autonomia e eficiência desses sistemas ao incorporar a inteligência artificial para sua gestão. Com isso, a proposta desse projeto é desenvolver um sistema de irrigação autônomo em uma área de cultivo em um campus do Instituto Federal do Maranhão.

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver um dispositivo autônomo, utilizando Raspberry Pi em conjunto com modelos de aprendizado de máquina, capaz de gerenciar um sistema de irrigação obtendo dados por sensores acoplados e via internet. Dentre os objetivos específicos, destacam-se: selecionar os sensores e placas de prototipação adequadas ao projeto; criar um sistema de controle para acionar os mecanismos de irrigação de forma autônoma; e desenvolver uma interface de monitoramento online (*dashboard*) para apresentar os dados operacionais do sistema.

2. Metodologia

A metodologia seguiu uma sequência focada no desenvolvimento do núcleo de decisão para depois aplicá-lo ao protótipo físico. As etapas foram: 1) aquisição e tratamento dos dados; 2) modelagem e validação dos modelos de aprendizado de máquina; 3) montagem e integração do *hardware*; e 4) testes do sistema autônomo e desenvolvimento do dashboard.

2.1 Arquitetura do Sistema

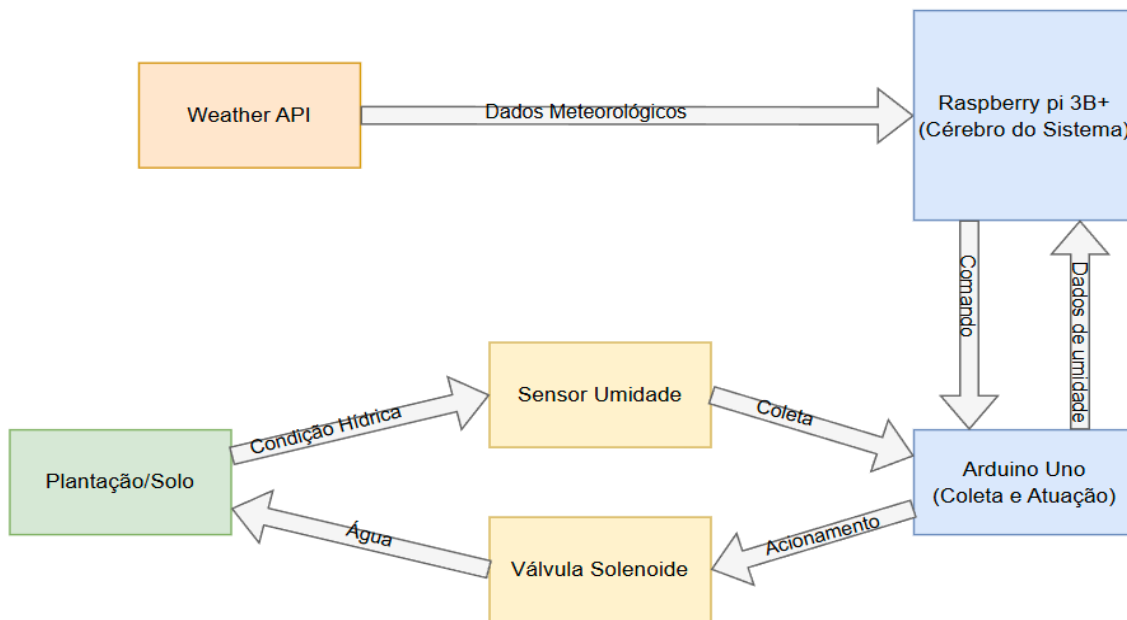
A arquitetura foi projetada como uma solução híbrida, combinando dados de sensores locais com dados meteorológicos externos. O sistema é decomposto nos componentes principais, conforme ilustrado no diagrama de blocos da Figura 1.

- Unidade Central de Processamento (Raspberry Pi 3B+): Atua como o "cérebro" do sistema, responsável por requisitar dados meteorológicos, receber informações do solo,

executar os modelos de aprendizado de máquina e enviar os comandos de irrigação.

- Módulo de Aquisição e Atuação (Arduino Uno): Coleta os dados dos sensores de umidade do solo e aciona a válvula solenoide sob o comando do Raspberry Pi.
- Sensores e Atuador: Sensores de umidade posicionados na zona radicular da planta e uma válvula solenoide que controla o fluxo de água para a irrigação.
- Comunicação: Um link de rádio-telemetria para a comunicação sem fio entre o Raspberry Pi e o Arduino.

Figura 1: Diagrama de blocos da arquitetura do sistema



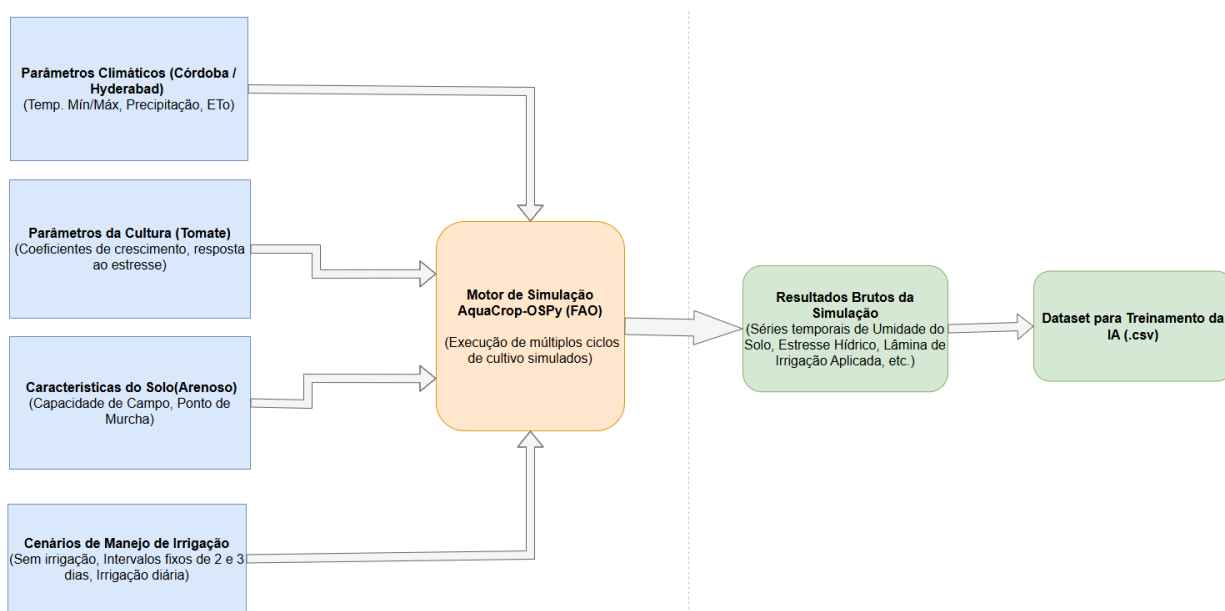
Fonte: Autoria Própria (2025).

2.2 Desenvolvimento dos Modelos de Aprendizado de Máquina

O sistema foi construído sobre uma arquitetura de três modelos baseados no algoritmo *Random Forest*. Para superar o desafio da coleta de dados de longo prazo, utilizou-se o *software* AquaCrop-OSPy, uma versão em Python do modelo de simulação de produtividade da água agrícola desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a

Agricultura (FAO) (Foster; Brozzi; Pereira, 2021) com ele foi possível simular múltiplos ciclos de cultivo de tomate em dois climas distintos (Córdoba, Espanha, e Hyderabad, Índia), gerando o banco de dados para o treinamento, o fluxograma dessa geração de dados é apresentado na Figura 2. Cada modelo foi treinado para uma função específica: um modelo de classificação para a decisão primária de irrigar ou não, e dois modelos de regressão para prever a umidade futura do solo e a lâmina de água necessária.

Figura 2: Fluxograma do processo de geração de dados dos modelos de aprendizado de máquina.



Fonte: Autoria Própria (2025).

2.3 Montagem do Protótipo

A montagem do protótipo físico buscou integrar os componentes de *hardware* de forma funcional, organizada e protegida, simulando uma aplicação de campo autônoma e em pequena escala. Os principais componentes empregados foram:

- Unidade Central: Raspberry Pi 3B+
- Módulo de Controle: Arduino Uno
- Sensores de Umidade: 4 unidades do Sensor Capacitivo YL-69
- Atuador: Válvula Solenoide 12V e Módulo Relé 5V
- Comunicação: Kit de Rádio Telemetria 3DR 915MHz
- Gerenciamento de Tempo: Módulo RTC (Real-Time Clock)

Para a integração dos componentes, o Módulo RTC foi programado para manter o Arduino em estado de baixo consumo (*deep sleep*), ativando-o apenas no horário definido para as leituras, visando otimizar a autonomia energética. A válvula solenoide foi alimentada por uma fonte independente para isolar o circuito de alta corrente do microcontrolador. Por fim, os sensores de umidade foram inseridos no solo a uma profundidade de 10 cm, e os componentes eletrônicos foram abrigados em uma caixa de proteção IP65 para garantir resistência às intempéries.

2.4 Dashboard de Monitoramento

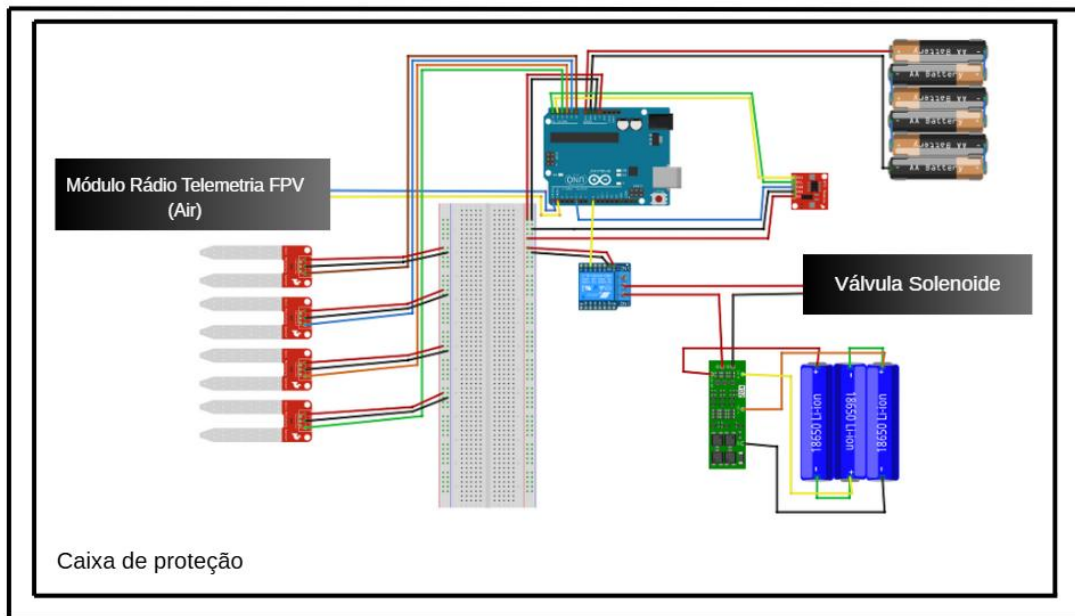
Para a visualização remota dos dados, foi desenvolvido um dashboard em Node-RED. A plataforma foi escolhida por ser baseada em fluxos e rodar diretamente no Raspberry Pi. Foram criados fluxos para receber os dados de umidade do Arduino, os dados meteorológicos da API e as decisões dos modelos, exibindo-os em uma interface gráfica com medidores, gráficos e indicadores de status (Santos, 2017).

3. Resultados e discussão

3.1 Implementação do Protótipo Físico

A construção e implementação do protótipo de hardware foi um dos principais resultados práticos do projeto. O protótipo demonstrou alta resistência às condições de campo, operando de forma contínua e totalmente autônoma, com seus componentes eletrônicos protegidos. A implementação técnica do sistema é detalhada no esquema elétrico do módulo de campo (Figura 3), criado na plataforma Fritzing, que ilustra as conexões entre o Arduino e os demais componentes. A comunicação sem fio entre a unidade central (Raspberry Pi) e o módulo de campo (Arduino) se mostrou bem-sucedida e estável a uma distância de aproximadamente 20 metros.

Figura 3: Esquema elétrico do módulo de campo.



fritzing

Fonte: Autoria Própria (2025).

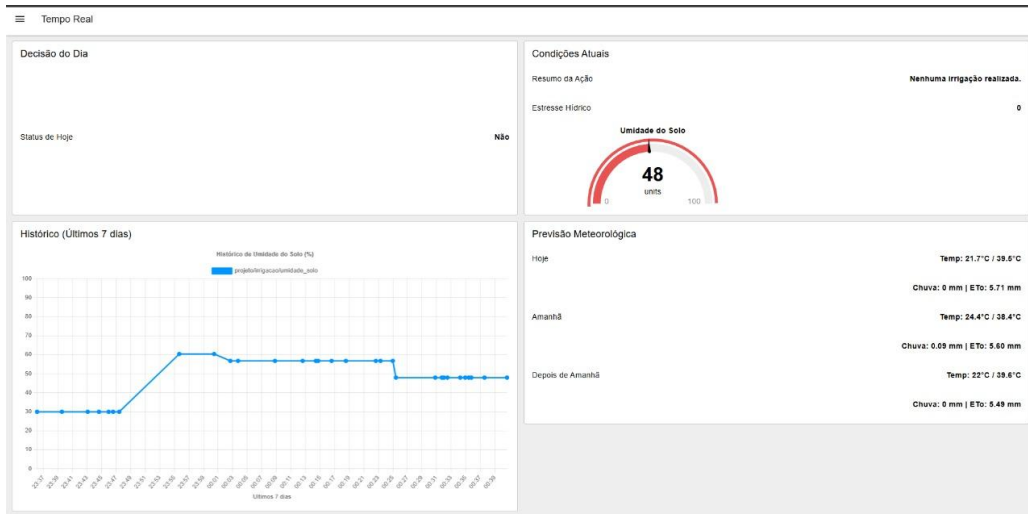
3.2 Desempenho dos Modelos de Aprendizado de Máquina

A validação quantitativa dos modelos demonstrou boa performance. O modelo de regressão para previsão da umidade do solo alcançou um Coeficiente de Determinação (R^2) de 0,97. O modelo de regressão para o cálculo da lâmina de água apresentou um R^2 de 0,898. Por fim, o modelo de classificação, responsável pela decisão primária de "irrigar ou não", atingiu uma acurácia de 98,44%.

3.3 Dashboard de Monitoramento Remoto

Para facilitar a interação do usuário, foi desenvolvido um *dashboard* funcional em Node-RED. Durante os testes, o dashboard funcionou como uma central de monitoramento, com os dados sendo atualizados a cada ciclo. A interface provou ser eficaz para fornecer uma visão completa e instantânea da operação, exibindo a decisão do dia, as condições da cultura e o histórico de irrigação dos últimos sete dias. A Figura 4 ilustra a interface de monitoramento em tempo real.

Figura 4: Interface do dashboard de monitoramento em tempo real

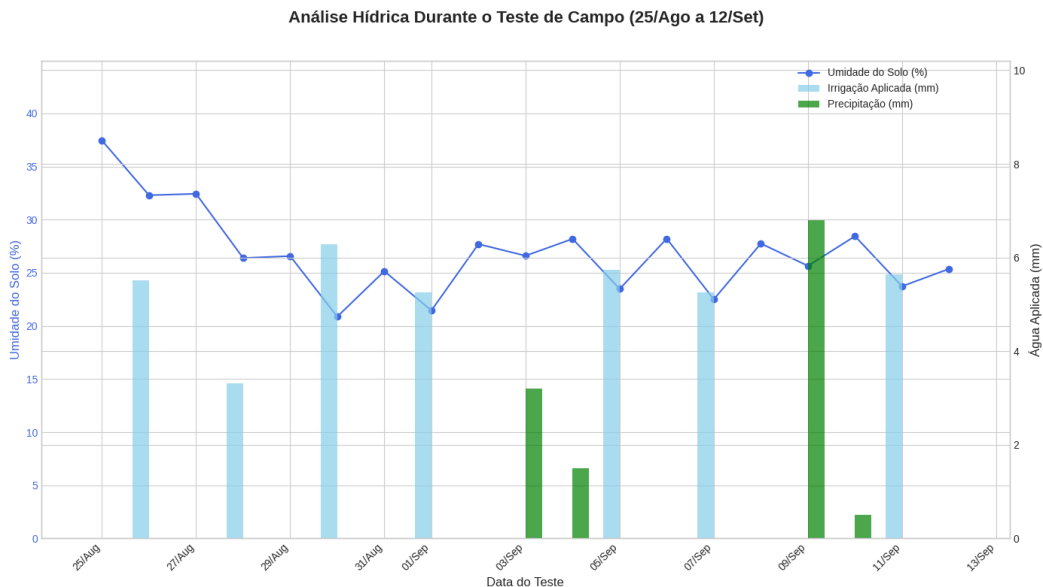


Fonte: Autoria Própria (2025).

3.4 Testes de Operação Autônoma

O principal resultado foi a validação do sistema em um teste de campo de 19 dias, onde seu comportamento inteligente foi demonstrado (Figura 5). O sistema acionou a irrigação de forma autônoma em dias secos para evitar o estresse hídrico e suspendeu a irrigação em dias chuvosos, otimizando o uso da água. A Figura 6 mostra o protótipo em operação durante esta fase de testes.

Figura 5: Histórico de umidade do solo e acionamentos de irrigação durante o teste de campo.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 6: Protótipo em operação no canteiro de teste com a cultura de tomate.



Fonte: Autoria Própria (2025).

4. Conclusões

Este projeto apresenta o desenvolvimento de um sistema de irrigação inteligente e autônomo, e os resultados obtidos permitem concluir que a meta principal é alcançada. A operação do protótipo durante o teste de campo de 19 dias é a principal evidência da validação prática do projeto. A principal contribuição deste trabalho é demonstrar a viabilidade da aplicação de modelos de aprendizado de máquina, treinados com dados de simulação, para o manejo hídrico na agricultura de precisão. O projeto mostra que é possível construir, com componentes acessíveis, um sistema capaz de otimizar o uso da água e tomar decisões inteligentes, atendendo às necessidades de uma agricultura mais tecnológica e sustentável.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Campus Imperatriz, pela infraestrutura disponibilizada. Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro e institucional do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação

(PIBIT) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão (FAPEMA).

Referências

CNA Brasil. **A internet das coisas (IoT) chegou no agronegócio**. 2017.

FOSTER, T.; BROZZI, R.; PEREIRA, L. S. Aquacrop-osp: *Bridging the gap between research and practice in crop-water modelling*. **Agricultural Water Management**, v. 252, p. 106937, 2021.

LAMAS, F. **Artigo - a evolução da agricultura do Brasil**. 2023.

OLIVEIRA, R. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa, 2018.

RAOUHI, E. M. et al. *Aidsii: An ai-based digital system for intelligent irrigation*. **Software Impacts**, v. 17, p. 77-89, sep 2023.

ROUTIS, G.; ROUSSAKI, I. *Low power iot electronics in precision irrigation*. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, p. 1-17, oct 2023.

SANTOS, S. **Getting Started with Node-RED Dashboard on Raspberry Pi**. 2017.

<<https://randomnerdtutorials.com/getting-started-node-red-dashboard/>>. Acesso em: 31 ago. 2025.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017.