

## SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO PARA GESTÃO HÍDRICA NA AGRICULTURA IRRIGADA

ANGELO TIAGO AZEVEDO<sup>1</sup>, RUBENS DUARTE COELHO<sup>2</sup>, ELIZABETH  
CARNERVISK<sup>3</sup>, IEDO PEROBA DE OLIVEIRA TEODORO<sup>4</sup>, TIMÓTEO  
HERCULINO DA SILVA BARROS<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, azevedo\_angelo@usp.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor titular do Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ / USP

<sup>3</sup> Meteorologista, Doutora em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ / USP

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ / USP

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ / USP

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil.

**RESUMO:** Este estudo aborda a importância da gestão eficiente dos recursos hídricos na agricultura diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e escassez de água. Por meio da integração de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e agricultura de precisão, desenvolveu-se um sistema de suporte à decisão para o manejo da água na agricultura irrigada. O dispositivo, baseado em uma estação meteorológica aprimorada e uma rede de sensores de umidade do solo, permite monitorar em tempo real as condições hídricas e climáticas, fornecendo informações cruciais para otimizar o uso da água e promover práticas agrícolas sustentáveis. Os resultados demonstraram a precisão das medições do sistema, destacando sua eficácia na estimativa da evapotranspiração e umidade do solo. Além disso, a comunicação eficiente de dados garantiu a integridade das informações e a acessibilidade aos usuários. Em conclusão, o dispositivo desenvolvido representa uma ferramenta valiosa para enfrentar os desafios da agricultura moderna, contribuindo para a sustentabilidade e resiliência do setor agrícola frente às mudanças climáticas e escassez de recursos hídricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** agricultura orientada por dados, agricultura de precisão, monitoramento hídrico, tecnologia embarcada, sustentabilidade agrícola

## DECISION SUPPORT SYSTEM FOR WATER MANAGEMENT IN IRRIGATED AGRICULTURE

**ABSTRACT:** This study addresses the importance of efficient water resource management in agriculture amid the challenges posed by climate change and water scarcity. Through the integration of Internet of Things (IoT) technologies and precision agriculture, a decision support system for water management in irrigated agriculture was developed. The device, based on an enhanced weather station and a network of soil moisture sensors, enables real-time monitoring of water and climatic conditions, providing crucial information to optimize water use and promote sustainable agricultural practices. The results demonstrated the accuracy of the system's measurements, highlighting its effectiveness in estimating evapotranspiration and soil moisture. Additionally, efficient data communication ensured the integrity of information and accessibility to users. In conclusion, the developed device represents a valuable tool for addressing the challenges of modern agriculture, contributing to the sustainability and resilience of the agricultural sector in the face of climate change and water scarcity.

**KEYWORDS:** data-driven agriculture, precision agriculture, water monitoring, embedded technology, agricultural sustainability

**INTRODUÇÃO:** A crescente demanda por alimentos em um contexto de mudanças climáticas e pressões ambientais ressalta a importância crítica da gestão eficiente dos recursos hídricos na agricultura. A escassez de água é uma realidade cada vez mais premente, amplificada por padrões de uso insustentáveis e pela variabilidade climática. Nesse cenário desafiador, a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes torna-se imperativa. Agricultura de precisão e Internet das Coisas (IoT) emergem como pilares fundamentais na transformação do setor agrícola, possibilitando uma abordagem mais inteligente e informada para o manejo dos recursos hídricos (JIMÉNEZ; CÁRDENAS; JIMÉNEZ, 2022). Ao integrar redes de sensores de umidade e estações meteorológicas automáticas, torna-se possível monitorar em tempo real a umidade do solo, as condições climáticas e as necessidades hídricas das culturas. Essa abordagem *data-driven* não apenas melhora a eficiência de uso da água, mas também contribui para a mitigação da escassez hídrica e para a redução da pegada hídrica da agricultura (ROUTIS; ROUSSAKI, 2023). Ao fornecer informações precisas e atualizadas, os sistemas de suporte à decisão oferecem aos agricultores a capacidade de otimizar o uso da água, reduzir desperdícios e aumentar a produtividade de maneira sustentável. No presente artigo, exploramos a integração de tecnologias *IoT* e agricultura de precisão para o desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão para manejo da água na agricultura irrigada. Analisamos como essa abordagem pode contribuir para enfrentar os desafios relacionados à escassez hídrica, melhorar a eficiência de uso da água e promover práticas agrícolas mais sustentáveis.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O protótipo desenvolvido neste estudo baseia-se na proposta de uma estação meteorológica descrita por Azevedo (2021), aprimorando significativamente o controle e processamento dos dados. O sistema, centrado em um controlador de última geração, destaca-se pelo microcontrolador ESP8266, gerenciando operações cruciais. A rotina de leitura abrange todas as variáveis meteorológicas relevantes, registradas a cada 10 segundos para capturar variações instantâneas (AZEVEDO, 2021). A cada 10 minutos, os valores médios e extremos são extraídos e armazenados em um banco de dados online. Além da coleta de dados, o sistema realiza a estimativa da evapotranspiração utilizando o método de Penman-Monteith, uma técnica reconhecida pela sua precisão na estimativa das perdas de água do solo devido à evaporação e transpiração das plantas. Essa estimativa é realizada em intervalos horários, fornecendo informações valiosas para o manejo hídrico eficiente em tempo real. Complementarmente, o sistema realiza a estimativa da umidade volumétrica do solo, empregando a rede de sensores capacitivos SoilWatch, distribuídos estrategicamente para monitoramento contínuo em diferentes pontos da área irrigada (RAMACHANDRAN *et al.*, 2022). Os dados são interpolados em escala horária e disponibilizados ao usuário por meio de uma plataforma integrada ao aplicativo Telegram, facilitando a tomada de decisões. Isso permite que os agricultores tenham acesso imediato às informações sobre as condições hídricas do solo e do ambiente, possibilitando ajustes rápidos no manejo da irrigação para otimizar o crescimento das culturas e garantir o uso eficiente dos recursos hídricos (ROY *et al.*, 2021). Para a avaliação da estabilidade e acurácia de resposta da estação, realizou-se a instalação do sistema em um ambiente monitorado por uma estação meteorológica profissional, permitindo a comparação direta dos dados coletados pelo protótipo com os dados de referência. Durante os experimentos, os dados foram analisados independentemente (por variável) e em conjunto com os dados da estação profissional, utilizando métricas como evapotranspiração em escalas horárias e diárias, com sua resposta apresentada na figura 1 – A. Adicionalmente, o sensor capacitivo foi calibrado usando o método gravimétrico, correlacionando suas leituras com a umidade do solo real. A análise do funcionamento geral do dispositivo envolveu a avaliação da eficácia da comunicação em tempo real para o envio de dados aos usuários, visando auxiliar no manejo da irrigação. Para isso, o sistema foi submetido a testes em campo, onde os dados coletados foram transmitidos em tempo real por meio da plataforma integrada ao Telegram.

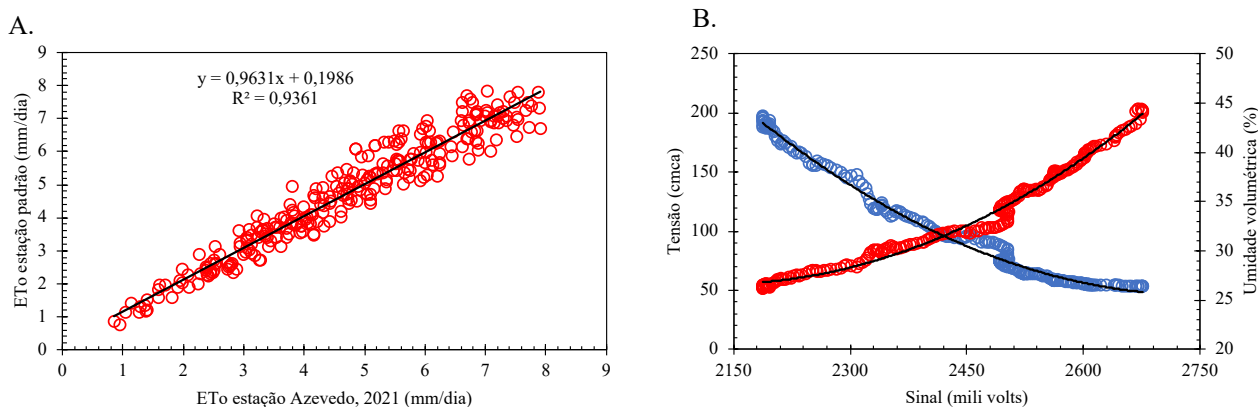


FIGURA 1. A – Correlação entre evapotranspiração estimada com cada uma das estações; B – Resposta do sensor capacitivo a variação de umidade (vermelho) e tensão de retenção da água no solo (azul).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os resultados obtidos demonstram a eficácia e a precisão do dispositivo desenvolvido para o manejo da irrigação. A análise dos dados coletados revelou uma correlação consistente entre as medições realizadas pelo protótipo e os dados de referência fornecidos pela estação meteorológica profissional. As informações sobre as variáveis meteorológicas, como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e precipitação, foram consistentes e forneceram uma representação precisa das condições climáticas locais. Além disso, os dados de umidade do solo obtidos pela rede de sensores capacitivos apresentaram uma resposta coerente às variações nas condições de umidade, permitindo uma avaliação detalhada das necessidades hídricas das culturas. Esses resultados indicam que o dispositivo é capaz de fornecer informações confiáveis e em tempo real para apoiar o manejo eficiente da irrigação. A análise da correlação entre as leituras da estação meteorológica desenvolvida e as da estação padrão revelou resultados promissores. Foi observado um Root Mean Square Error (RMSE) de 0,25 e um erro absoluto médio de 0,19, indicando uma concordância satisfatória entre os dados coletados pelo protótipo e os dados de referência da estação meteorológica padrão. Essa baixa discrepância entre as medições sugere que o dispositivo desenvolvido é capaz de fornecer informações precisas e confiáveis sobre as condições climáticas locais, fundamentais para o manejo eficiente da irrigação (PARVATHI SANGEETHA *et al.*, 2022). A análise da resposta do sensor capacitivo de umidade do solo revelou uma elevada acurácia nas medições, demonstrada pelas correlações estabelecidas com o uso de equações do segundo grau tanto para umidade volumétrica quanto para tensão de retenção da água no solo. Os resultados mostraram um erro absoluto médio de apenas 0,41% e um RMSE de 0,30% para a umidade volumétrica do solo, evidenciando uma concordância excepcional entre as leituras do sensor e os valores reais de umidade. Além disso, para a tensão de retenção da água no solo, foi encontrado um erro absoluto médio de 3,56 cmca e um RMSE de 2,89 cmca, indicando uma precisão consistente nas estimativas fornecidas pelo sensor. Esses resultados ressaltam a confiabilidade do sensor capacitivo de umidade do solo e sua capacidade de fornecer medidas precisas e confiáveis, fundamentais para o manejo eficaz da irrigação e a otimização do uso da água nas práticas agrícolas. Durante os testes realizados, não foram identificados erros na comunicação de dados, tanto entre o controlador e o banco de dados online, quanto na transmissão dos dados para os usuários por meio do aplicativo Telegram. O sistema demonstrou uma robusta capacidade de transferência de informações, garantindo que os dados coletados fossem armazenados de forma confiável e acessíveis aos usuários em tempo real. Essa ausência de falhas na comunicação é crucial para assegurar a integridade dos dados e a eficácia do dispositivo como uma ferramenta de suporte à decisão no manejo da irrigação. Apresenta-se na figura 2, a síntese de 30 dias de operação do dispositivo.

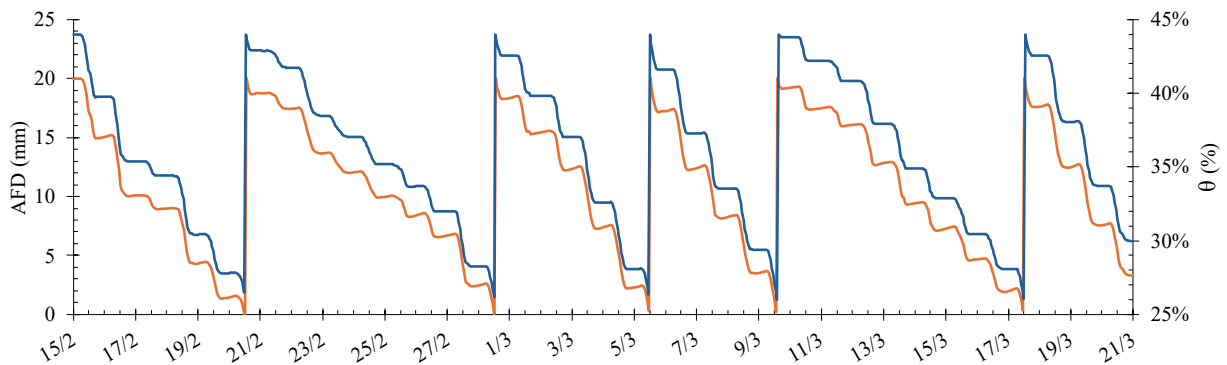


FIGURA 2. Variabilidade temporal das medidas realizadas pelo controlador. Laranja – Água facilmente disponível; Azul – umidade volumétrica (azul).

**CONCLUSÕES:** Em síntese, o desenvolvimento e análise do dispositivo apresentado neste estudo evidenciaram sua eficácia e utilidade como uma ferramenta valiosa para o manejo da irrigação agrícola. Os resultados obtidos demonstraram a precisão das medições realizadas pelo sistema, tanto em relação às variáveis meteorológicas quanto à umidade do solo, contribuindo significativamente para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos. A capacidade do dispositivo de coletar e analisar dados em tempo real, combinada com sua robusta comunicação com os usuários por meio do aplicativo Telegram, proporciona aos agricultores informações precisas e oportunas para tomada de decisões, permitindo ajustes rápidos no manejo da irrigação para maximizar a produtividade das culturas e minimizar os impactos ambientais.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem a Capes, ao PPGESA e a ESALQ – USP, pelo apoio no desenvolvimento do projeto.

## REFERÊNCIAS:

- AZEVEDO, A. T. **Desenvolvimento de dispositivos eletrônicos alternativos para auxílio no manejo da irrigação via IoT**. 2021. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-06102021-140537/>>.
- JIMÉNEZ, A. F.; CÁRDENAS, P. F.; JIMÉNEZ, F. Intelligent IoT-multiagent precision irrigation approach for improving water use efficiency in irrigation systems at farm and district scales. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 192, p. 106635, 1 jan. 2022.
- PARVATHI SANGEETHA, B.; KUMAR, N.; AMBALGI, A. P.; ABDUL HALEEM, S. L.; THILAGAM, K.; VIJAYAKUMAR, P. IOT based smart irrigation management system for environmental sustainability in India. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 52, p. 101973, 1 ago. 2022.
- RAMACHANDRAN, V.; RAMALAKSHMI, R.; KAVIN, B. P.; HUSSAIN, I.; ALMALIKI, A. H.; ALMALIKI, A. A.; ELNAGGAR, A. Y.; HUSSEIN, E. E. Exploiting IoT and Its Enabled Technologies for Irrigation Needs in Agriculture. **Water** 2022, Vol. 14, Page 719, v. 14, n. 5, p. 719, 24 fev. 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/14/5/719/htm>>.
- ROUTIS, G.; ROUSSAKI, I. Low Power IoT Electronics in Precision Irrigation. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, p. 100310, 1 out. 2023.
- ROY, S. K.; MISRA, S.; RAGHUWANSHI, N. S.; DAS, S. K. AgriSens: IoT-Based Dynamic Irrigation Scheduling System for Water Management of Irrigated Crops. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 6, p. 5023–5030, 15 mar. 2021.