MÓDULO INTELIGENTE DE IRRIGAÇÃO DE PRECISÃO SUBTERRÂNEA PARA AGRICULTURA

Eduarda da Silva Leocádio [1]
Lucas Mikael Ferreira Lima [2]
Frederico Campos Pereira [3]

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a agricultura e para a manutenção da vida, sendo fundamental utilizá-la de maneira eficiente e sustentável. Na agricultura, a irrigação contribui para o desenvolvimento das culturas, mas o fornecimento inadequado pode ocasionar desperdícios. Nesse contexto, tecnologias que auxiliam no monitoramento do solo e no controle da irrigação apresentam-se como alternativas para melhorar a gestão dos recursos hídricos.

A irrigação de precisão utiliza informações sobre as condições do solo para orientar o fornecimento de água. Segundo Hardie (2020), os sensores de umidade do solo apresentam aplicações importantes na agricultura, embora sua utilização envolva limitações relacionadas à precisão, ao custo e às características do solo. De acordo com Datta e Taghvaeian (2023), o uso de sensores para programar a irrigação pode reduzir o consumo de água em comparação com métodos convencionais, embora os resultados dependam do método utilizado como referência e das condições de aplicação.

A automação também contribui para o controle da irrigação, permitindo integrar sensores, microcontroladores e válvulas solenoides. Vera et al. (2021) discutem a utilização de sensores de umidade na automação da irrigação e destacam aspectos como calibração, instalação e acionamento dos dispositivos. Além disso, Munyaradzi et al. (2022) observaram, em testes de campo com trigo, economia de água de até 25% com o

[1]Estudante do Ensino Médio Integrado ao Curso Técnico ao Técnico em Informática, Instituto Federal da Paraíba - IFPB leocadio.eduarda@academico.ifpb.edu.br;
[2]Estudante do Ensino Médio Integrado ao Curso Técnico ao Técnico em Informática, Instituto Federal da Paraíba - IFPB lucas.mikael@academico.ifpb.edu.br;
[3]Professor Orientador, Doutor em Recursos Naturais, Instituto Federal da Paraíba - IFPB frederico.pereira@ifpb.edu.br;

uso de sensores sem fio para programar a irrigação, em comparação com um cronograma fixo convencional.

Diante disso, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um módulo inteligente de irrigação subterrânea de precisão, composto por ESP32, sensor de umidade do solo, relé, válvula solenoide, tubos de PVC e mangueira. O objetivo é desenvolver um sistema capaz de monitorar a umidade do solo e controlar automaticamente o fornecimento de água, buscando contribuir para a economia hídrica e a sustentabilidade agrícola.

A metodologia consistiu na montagem do protótipo e na realização de testes comparativos com a irrigação convencional. Os resultados demonstraram uma economia de água de até 40% nas condições avaliadas. Dessa forma, o projeto busca contribuir para o uso mais eficiente dos recursos hídricos por meio da integração entre monitoramento eletrônico, automação e distribuição subterrânea da água.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quantitativa e caráter experimental, uma vez que envolve o desenvolvimento de um protótipo tecnológico e a realização de testes comparativos para avaliar seu funcionamento e seu potencial de economia de água. O estudo foi direcionado à construção de um módulo inteligente de irrigação subterrânea de precisão, com a finalidade de contribuir para o uso eficiente dos recursos hídricos na agricultura.

Para a construção do protótipo, foram utilizados um microcontrolador ESP32, um sensor de umidade do solo, um módulo relé, uma válvula solenoide, tubos e conexões de PVC, uma tampa rosqueável e uma mangueira para a distribuição da água. Os componentes foram integrados de modo a permitir o monitoramento da umidade do solo e o acionamento automático do sistema de irrigação.

O funcionamento do módulo baseia-se na leitura da umidade do solo pelo sensor, cujas informações são utilizadas pelo ESP32 para controlar o acionamento do relé e, consequentemente, da válvula solenoide. Quando a umidade atinge uma condição

previamente estabelecida para a irrigação, o sistema permite a passagem da água. Ao atingir a condição de umidade definida para interromper o fornecimento, a válvula é fechada, evitando a continuidade desnecessária da irrigação. A estrutura subterrânea foi planejada para direcionar a água à região próxima às raízes das plantas.

Após a montagem, foram realizados testes comparativos entre o módulo desenvolvido e o método de irrigação convencional utilizado como referência. Durante os testes, foi observado o volume de água utilizado, em litros, em cada condição, permitindo comparar o consumo dos dois métodos. Com base nessa comparação, estimou-se uma economia de água de até 40% com a utilização do protótipo, considerando as condições avaliadas. Ressalta-se que esse percentual representa uma estimativa e que a confirmação de seu desempenho em diferentes situações exige testes adicionais, com maior controle das condições experimentais e repetição das avaliações.

Dessa forma, os procedimentos metodológicos permitiram avaliar o funcionamento do protótipo e seu potencial como alternativa tecnológica para uma irrigação mais eficiente. Os resultados devem ser interpretados considerando as condições em que os testes foram realizados, sendo necessárias avaliações adicionais em diferentes tipos de solo, culturas e condições de aplicação para ampliar a análise de seu desempenho.

REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Uso eficiente da água na agricultura

A água é um recurso fundamental para o desenvolvimento das atividades agrícolas, pois está diretamente relacionada ao crescimento das plantas e à produtividade das culturas. Entretanto, para que a irrigação contribua para o desenvolvimento agrícola de maneira sustentável, é necessário considerar as necessidades hídricas das plantas e evitar o fornecimento excessivo ou insuficiente de água. Nesse contexto, o aprimoramento das técnicas de irrigação representa uma possibilidade de melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos.

De acordo com Vera et al. (2021), o manejo adequado da irrigação depende da determinação do momento correto para fornecer água e da quantidade necessária para

atender às demandas das culturas. Os autores destacam que o monitoramento da umidade do solo pode auxiliar nesse processo, permitindo que as decisões relacionadas à irrigação sejam baseadas nas condições observadas no ambiente de cultivo, em vez de depender exclusivamente de horários ou períodos previamente estabelecidos.

Nessa perspectiva, a adoção de tecnologias que auxiliem no controle da distribuição de água pode contribuir para reduzir aplicações desnecessárias. Datta e Taghvaeian (2023), em uma revisão sistemática sobre sensores de água no solo utilizados no planejamento da irrigação, identificaram que o manejo baseado em sensores tende a apresentar menor consumo de água em comparação com outras práticas de programação da irrigação. Entretanto, os resultados dependem das condições de utilização, dos métodos de comparação e da calibração dos sensores.

Assim, o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à irrigação busca conciliar as necessidades hídricas das plantas com a utilização racional da água. Essa perspectiva fundamenta a proposta do módulo inteligente de irrigação subterrânea desenvolvido neste trabalho, que procura controlar o fornecimento de água a partir do monitoramento da umidade do solo.

3.2 Irrigação de precisão e monitoramento da umidade do solo

A irrigação de precisão consiste na utilização de informações sobre as condições do solo, das plantas e do ambiente para orientar o fornecimento de água de acordo com as necessidades identificadas. Essa abordagem permite aprimorar o manejo da irrigação, uma vez que considera as condições observadas durante o cultivo e possibilita ajustar o fornecimento de água de maneira mais adequada.

Nesse contexto, os sensores de umidade do solo constituem ferramentas importantes para o monitoramento das condições hídricas. Hardie (2020), ao analisar diferentes tecnologias de medição da umidade do solo aplicadas à agricultura, destaca que esses dispositivos apresentam potencial para auxiliar no manejo agrícola, embora existam limitações relacionadas ao custo, à área de solo avaliada, ao contato entre o sensor e o solo e à precisão das medições.

Datta e Taghvaeian (2023) também ressaltam a importância dos sensores no planejamento da irrigação e identificam que os erros de medição podem ser

influenciados pela calibração utilizada. Portanto, a adoção desses dispositivos exige atenção às características do equipamento e às condições em que as leituras são realizadas. Isso demonstra que o monitoramento eletrônico pode auxiliar na tomada de decisões, mas seus resultados devem ser interpretados considerando as limitações do sistema empregado.

No módulo desenvolvido nesta pesquisa, o sensor de umidade do solo desempenha a função de fornecer informações utilizadas pelo sistema de controle para orientar o acionamento da irrigação. Dessa maneira, a proposta busca relacionar a condição de umidade identificada pelo sensor ao funcionamento dos componentes eletrônicos responsáveis pela liberação e pela interrupção do fluxo de água.

3.3 Automação dos sistemas de irrigação

A automação da irrigação corresponde à utilização de dispositivos eletrônicos e mecanismos de controle para executar determinadas etapas do fornecimento de água, reduzindo a necessidade de intervenção manual contínua. Quando associada ao monitoramento da umidade do solo, essa tecnologia permite que o acionamento da irrigação seja orientado pelas informações obtidas durante o funcionamento do sistema.

Vera et al. (2021) analisam a automação da irrigação baseada em sensores de umidade e destacam a integração entre sensores, unidades de processamento e válvulas solenoides. Segundo os autores, essa configuração permite monitorar as condições do solo e acionar dispositivos responsáveis pelo controle do fluxo de água, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas automatizados de manejo da irrigação.

A integração entre os componentes eletrônicos é, portanto, fundamental para o funcionamento de uma solução automatizada. No protótipo deste estudo, o ESP32 atua como unidade de controle, recebendo as informações do sensor de umidade e utilizando a programação estabelecida para comandar o módulo relé. Esse componente, por sua vez, controla o acionamento da válvula solenoide, responsável por permitir ou interromper a passagem da água.

Entretanto, a eficiência de um sistema automatizado não depende apenas da presença de componentes eletrônicos. Conforme discutido por Vera et al. (2021), aspectos como a instalação dos sensores, a calibração e as características do solo

precisam ser considerados para que as informações utilizadas no controle da irrigação sejam adequadas. Dessa forma, a automação deve ser compreendida como uma ferramenta de apoio ao manejo hídrico, cujo desempenho depende tanto da integração dos componentes quanto das condições de utilização.

3.4 Irrigação subterrânea e distribuição de água próxima às raízes

A irrigação subterrânea caracteriza-se pelo fornecimento de água abaixo da superfície do solo, próximo à região explorada pelas raízes das plantas. Essa forma de distribuição diferencia-se dos métodos que aplicam água diretamente sobre a superfície e pode ser integrada a sistemas de monitoramento e controle para aprimorar o manejo hídrico.

A associação entre a distribuição subterrânea e o monitoramento da umidade apresenta possibilidades para o desenvolvimento de sistemas que ajustem o fornecimento de água conforme as condições do solo. A revisão de Vera et al. (2021) demonstra a relevância do monitoramento e da automação no controle da irrigação, embora os resultados de economia dependam das características do sistema e das condições em que ele é aplicado.

No presente trabalho, a proposta de irrigação subterrânea foi incorporada à construção de um módulo composto por tubos de PVC, mangueira e válvula solenoide, associados aos componentes eletrônicos de monitoramento e controle. A estrutura foi planejada para conduzir a água abaixo da superfície, direcionando sua distribuição à região próxima às raízes das plantas.

A combinação dessas características busca integrar duas estratégias: a distribuição subterrânea da água e o controle automatizado baseado na umidade do solo. Contudo, a existência dessas características, isoladamente, não comprova uma determinada porcentagem de economia hídrica. Para avaliar o desempenho do protótipo, é necessário comparar o volume de água utilizado com o de um método de referência, considerando as condições em que os testes são realizados.

Dessa forma, o referencial teórico sustenta a proposta de integrar sensores, controle eletrônico e distribuição subterrânea em um único módulo. A partir dessa

fundamentação, o trabalho busca avaliar o funcionamento do protótipo e estimar seu potencial de economia de água por meio de testes comparativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Funcionamento do protótipo

A construção do módulo inteligente de irrigação subterrânea possibilitou integrar componentes eletrônicos e estruturais em um sistema destinado ao monitoramento da umidade do solo e ao controle automático do fornecimento de água. Durante os cinco testes realizados, foi possível observar o funcionamento conjunto do sensor de umidade, do microcontrolador ESP32, do módulo relé e da válvula solenoide, responsáveis pelo processo de controle da irrigação.

A utilização do sensor permite acompanhar as condições de umidade do solo, enquanto o ESP32 processa as informações recebidas e controla o acionamento dos demais componentes. Essa integração demonstra a possibilidade de utilizar recursos de automação para tornar o fornecimento de água menos dependente de intervenções manuais.

Esse resultado está de acordo com as discussões de Vera et al. (2021), que destacam a importância da integração entre sensores e dispositivos de controle para o desenvolvimento de sistemas automatizados de irrigação. Entretanto, os autores também ressaltam que fatores como a instalação e a calibração dos sensores precisam ser considerados para garantir a confiabilidade das informações utilizadas pelo sistema.

4.2 Comparação do consumo de água

A avaliação do consumo hídrico foi realizada por meio da comparação entre o método de irrigação convencional e o protótipo desenvolvido. Durante os cinco testes, foram observados os volumes de água utilizados em cada método, expressos em litros.

Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação estimada do consumo de água entre os métodos de irrigação

Método de irrigação	Consumo água (Litros)
Irrigação convencional	10 litros
Protótipo desenvolvido	6 a 6,5 litros
Economia estimada	3,5 a 4 litros
Redução percentual estimada	35% a 40%

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A partir dos valores observados, verificou-se uma redução estimada de 3,5 a 4 litros em relação ao consumo da irrigação convencional. Em termos percentuais, essa diferença representa uma economia aproximada entre 35% e 40%, considerando os volumes informados.

Esse resultado sugere que a combinação entre o monitoramento da umidade do solo e a distribuição subterrânea da água pode contribuir para um aproveitamento mais eficiente dos recursos hídricos nas condições avaliadas.

A comparação também se relaciona aos resultados apresentados por Datta e Taghvaeian (2023), cuja revisão sistemática identificou possibilidades de redução do consumo de água por meio do manejo da irrigação orientado por sensores. Os autores demonstram, contudo, que os percentuais de economia variam conforme as condições de aplicação e o método utilizado como referência.

Dessa forma, embora os resultados sejam promissores, a faixa percentual encontrada deve ser compreendida como uma estimativa baseada nos testes realizados, não representando uma economia garantida para todos os tipos de solo, culturas ou sistemas de irrigação.

4.3 Potencial de contribuição para a sustentabilidade agrícola

Os resultados observados apontam que o protótipo apresenta potencial de aplicação como alternativa tecnológica para o manejo da irrigação. A associação entre o monitoramento eletrônico e a distribuição subterrânea da água busca fornecer água de acordo com as condições de umidade identificadas no solo, contribuindo para evitar aplicações desnecessárias.

Hardie (2020) destaca que os sensores de umidade apresentam aplicações relevantes para o manejo agrícola, embora sua utilização dependa de aspectos técnicos relacionados à precisão das medições e às características do solo. Dessa forma, a continuidade dos testes e o aprimoramento da calibração são importantes para avaliar o desempenho do módulo em diferentes condições.

Além disso, a redução estimada no consumo de água demonstra a relevância de investigar soluções que associem automação e técnicas de distribuição hídrica. Entretanto, para ampliar a confiabilidade dos resultados, são necessárias avaliações adicionais, com repetição dos testes e utilização de diferentes condições de solo e cultivo.

Assim, o protótipo demonstra uma possibilidade de integração entre automação e irrigação subterrânea, apresentando resultados iniciais favoráveis à utilização mais racional da água na agricultura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a construção de um módulo inteligente de irrigação subterrânea de precisão, integrando recursos de monitoramento da umidade do solo e automação do fornecimento de água. A partir da utilização de componentes como ESP32, sensor de umidade, relé e válvula solenoide, foi possível demonstrar a aplicação de tecnologias acessíveis na elaboração de uma solução voltada ao uso mais eficiente dos recursos hídricos na agricultura.

Os testes comparativos realizados permitiram observar uma redução no consumo de água em relação ao método de irrigação convencional utilizado como referência. Enquanto o método convencional apresentou consumo de 10 litros, o protótipo utilizou entre 6 e 6,5 litros, representando uma economia estimada entre 35% e 40% nas condições avaliadas. Esses resultados indicam o potencial do sistema para contribuir com a redução do desperdício de água, embora não sejam suficientes para garantir o mesmo desempenho em diferentes condições de aplicação.

Dessa maneira, o projeto demonstra a relevância da integração entre automação, monitoramento eletrônico e distribuição subterrânea da água como alternativa para aprimorar as práticas de irrigação. Além de apresentar uma possibilidade de aplicação tecnológica na agricultura, o desenvolvimento do protótipo contribui para a discussão sobre soluções acessíveis que favoreçam o uso racional dos recursos naturais.

Como perspectiva para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a quantidade de testes, avaliar o funcionamento do módulo em diferentes tipos de solo e culturas, aprimorar a calibração do sensor e investigar seu desempenho em condições reais de cultivo. Também se considera importante analisar a durabilidade dos componentes, os custos de implantação e a viabilidade de utilização do sistema em diferentes escalas de produção agrícola.

Portanto, conclui-se que o módulo desenvolvido apresenta resultados iniciais promissores e potencial para contribuir com práticas agrícolas mais sustentáveis. Embora sejam necessárias novas avaliações para confirmar sua eficiência em diferentes cenários, a proposta demonstra como a aplicação de tecnologias de automação pode colaborar para o desenvolvimento de alternativas voltadas à conservação e ao uso responsável da água.

Palavras-chave: Irrigação de precisão; Irrigação subterrânea; Automação agrícola; Sensores de umidade; Economia de água.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB) – Campus Pedras de Fogo, pelo apoio e pela oportunidade de desenvolver este projeto, contribuindo para nossa formação acadêmica e científica. Estendemos nossos agradecimentos ao orientador do projeto, pela orientação, dedicação, disponibilidade e contribuições fundamentais durante o desenvolvimento da pesquisa. Por fim, agradecemos a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

DATTA, Sumon; TAGHVAEIAN, Saleh. Soil water sensors for irrigation scheduling in the United States: a systematic review of literature. **Agricultural Water Management**, v. 278, art. 108148, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108148.

HARDIE, Marcus. Review of novel and emerging proximal soil moisture sensors for use in agriculture. **Sensors**, v. 20, n. 23, art. 6934, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/s20236934.

MUNYARADZI, Michael et al. Precision irrigation scheduling based on wireless soil moisture sensors to improve water use efficiency and yield for winter wheat in Sub-Saharan Africa. **Advances in Agriculture**, v. 2022, art. 8820764, 2022. DOI: https://doi.org/10.1155/2022/8820764.

VERA, Juan et al. Towards irrigation automation based on dielectric soil sensors. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 96, n. 6, p. 696–707, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1906761.

IMPORTANTE:

Após publicados, os arquivos de trabalhos não poderão sofrer mais nenhuma alteração ou correção.

Após aceitos, serão permitidas apenas correções ortográficas. Os casos serão analisados individualmente.