

Avaliação de Técnicas de Irrigação Automatizada na Produtividade de Microverdes em Ambientes Indoor

Marco Antônio Schneiders, Glauco Viera Miranda, Kelyn Schenatto, Pedro Luiz de Paula Filho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Medianeira-PR, Santa Helena-PR Brasil

Email: marcoschneiders@live.com, glaucovmirandautf@gmail.com, kelynschenatto@gmail.com, pedrol@utfpr.edu.br.

Abstract—Automated indoor agriculture, also known as vertical farming, offers an innovative solution to the challenges of conventional agriculture by creating precise and controlled environmental conditions. This paper investigates the application of automated irrigation techniques in indoor agriculture systems, aiming to optimize microgreen productivity. The study compares different irrigation methods using a randomized block design, a technique that allows for the control of confounding variables and accurate evaluation of each method's effects on plant development. In addition to analyzing the efficiency of the irrigation methods, the study seeks to identify the most effective technique for controlled environments, with a focus on production sustainability. Ultimately, the results are expected to contribute to the advancement of more sustainable and efficient agricultural practices, helping to meet the growing demand for high-quality food in urban environments.

Keywords—Indoor Agriculture; Automated Irrigation; Microgreens.

Resumo—A agricultura *indoor* automatizada, também conhecida como fazendas verticais, oferece uma solução inovadora para os desafios da agricultura convencional ao criar condições ambientais precisas e controladas. Este artigo investiga a aplicação de técnicas de irrigação automatizadas em sistemas de agricultura *indoor* buscando otimizar a produtividade de microverdes. O estudo compara diferentes métodos de irrigação utilizando o delineamento experimental em blocos causalizados, técnica que permite controlar variáveis de confusão e avaliar com precisão os efeitos de cada método sobre o desenvolvimento das plantas. Além de analisar a eficiência dos métodos de irrigação, o estudo busca identificar a técnica mais eficaz para ambientes controlados, com foco na sustentabilidade da produção. Ao final, espera-se que os resultados contribuam para o aprimoramento de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, capazes de auxiliar na redução da demanda crescente por alimentos de qualidade em ambientes urbanos.

Palavras-chave—Agricultura *Indoor*; Irrigação Automatizada; Microverde.

I. INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha um papel fundamental na garantia da segurança alimentar e no atendimento às crescentes demandas da população mundial. No entanto, desafios como a dependência de fatores climáticos e a pressão sobre os recursos

naturais limitados impulsionam a busca por soluções mais sustentáveis e eficientes [1].

Com o aumento da população em áreas urbanas e a crescente conscientização sobre a importância de alimentos mais saudáveis, nutritivos e com menor risco à saúde, surgiu uma nova demanda por esses produtos [2]. Isso levou à popularização de métodos de cultivo em áreas urbanas, como a agricultura *indoor*, a hidroponia e os telhados verdes. Essas práticas têm sido amplamente adotadas em espaços urbanos restritos, como residências, apartamentos, escolas e empresas, proporcionando acesso a alimentos frescos e saudáveis.

Dentre as três práticas mencionadas, a agricultura *indoor* tem se destacado por permitir o controle preciso das condições de crescimento das plantas, oferecendo os parâmetros necessários para atender às necessidades específicas de cada espécie. Isso resulta na redução da dependência de fatores climáticos e em uma maior eficiência na produção de alimentos [3] [4].

A agricultura *indoor* automatizada integra tecnologias avançadas, como sensores ambientais, sistemas de irrigação automatizados e iluminação controlada, para criar condições ideais de cultivo [5]. Um fator importante para a implementação dessa tecnologia foi o surgimento da Internet das Coisas (IoT), sendo este resultado da evolução na microeletrônica e na tecnologia da informação, o qual permite a integração de processadores, módulos de comunicação e outros componentes em itens cotidianos [6]. Essa evolução facilita a utilização de diversas técnicas de instrumentação e automação de forma mais prática.

Entre as culturas cultivadas na agricultura *indoor*, os microverdes destacam-se por serem altamente nutritivos e de fácil cultivo, tanto em sistemas hidropônicos quanto em solo [3] [4]. Esses vegetais representam uma nova categoria de saladas verdes no mercado, sendo consumidos em uma fase prematura e conhecidos como "confetes vegetais". O ciclo de cultivo dos microverdes é curto, com a colheita ocorrendo geralmente entre 7 e 14 dias após a germinação, quando as folhas cotiledonares estão completamente desenvolvidas, com altura variando de 2,5 a 7,6 cm, dependendo da espécie [7].

Apesar dos benefícios nutricionais, os microverdes enfrentam desafios significativos relacionados à conservação e durabilidade pós-colheita, o que restringe sua comercialização a mercados locais [8] [4]. A agricultura *indoor* automatizada, com o uso de tecnologias IoT, possibilita o controle preciso de variáveis ambientais, incluindo a irrigação, fator fundamental para o desenvolvimento saudável dessas plantas [5].

O projeto E-CO Vaso Inteligente [9] exemplifica a aplicação de tecnologias IoT para o cultivo *indoor* autônomo, integrando sensores de umidade e sistemas de irrigação automatizados com um software *backend* que permite o monitoramento e controle das plantas. Utilizando componentes de baixo custo como placas Arduino e bombas d'água, o sistema visa otimizar o cultivo através da automação e do gerenciamento preciso das condições ambientais.

Outro exemplo é a estufa automatizada para cogumelos [10], que emprega esp32 e um aplicativo IoT para controlar temperatura, umidade, iluminação e ventilação. A plataforma Thingspeak¹ é utilizada para o monitoramento remoto, enquanto equipamentos acessíveis como geladeira com compressor e umidificador garantem condições ideais para o cultivo.

Por fim, o sistema de irrigação proposto por [11], utiliza IoT para medir a umidade do solo e controlar a irrigação automaticamente. Dados em tempo real são coletados e analisados na nuvem via TagoIO², com a irrigação ativada quando a umidade do solo cai abaixo de 50%. O sistema, que inclui uma placa microcontroladora esp32 e válvula solenoide, demonstrou eficiência na automação e monitoramento das condições de cultivo.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é a aplicação e a implementação de técnicas de instrumentação e automação no monitoramento e coleta de dados da produção de microverdes em ambientes *indoor* para avaliar o desempenho de diferentes técnicas de irrigação. Permitindo assim uma contribuição para o aprimoramento de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, capazes de auxiliar na redução da demanda crescente por alimentos de qualidade em ambientes urbanos.

II. MATERIAIS E METODOS

Para a execução deste projeto, o desenvolvimento foi organizado em duas áreas principais: a área agrícola e a área computacional. Na área agrícola, o foco estará na escolha da espécie a ser cultivada, bem como na definição das técnicas de cultivo e de irrigação mais adequadas para garantir o desenvolvimento saudável das plantas. Já na área computacional, serão estabelecidos os critérios para a seleção e implementação de sensores e sistemas de controle, visando o monitoramento

¹Thingspeak: <https://thingspeak.com>

²TagoIO: <https://tago.io>

preciso e a manutenção das condições ambientais ideais ao longo do ciclo de cultivo.

Na área agrícola, optou-se pelo cultivo de rúcula, escolhida devido à sua fácil obtenção, ciclo rápido de germinação e colheita, características que a tornam ideal para o cultivo de microverdes. Para proporcionar um ambiente controlado e seguro ao desenvolvimento das plantas, serão utilizados potes plásticos descartáveis como recipientes. Como substrato, será utilizada terra, considerando sua ampla aplicação e eficácia no cultivo de microverdes, permitindo o adequado suporte e nutrição das plantas ao longo do ciclo de cultivo.

Para garantir a eficiência no uso dos recursos hídricos e o desenvolvimento saudável das plantas, será utilizada a irrigação localizada. Pois, ao contrário de outros métodos de irrigação que distribuem água de forma mais ampla ou generalizada, a irrigação localizada baseia-se no princípio de direcionar a aplicação de água apenas para as áreas específicas de cultivo, resultando em uma redução do consumo hídrico. Esse método é caracterizado pela aplicação de pequenas quantidades de água por meio de um sistema de tubulações de baixa pressão, que distribui a água em intervalos regulares, dependendo do sistema utilizado [12]–[14].

Existem duas principais categorias de sistemas de irrigação localizada: o gotejamento e a microaspersão. No sistema de gotejamento, a água é entregue diretamente à base das plantas através de tubos perfurados equipados com gotejadores, que liberam a água em pequenas quantidades sob a forma de gotas, garantindo a hidratação eficiente e minimizando o desperdício. Em contrapartida, o sistema de microaspersão, uma variação da aspersão tradicional, aplica a água sob a forma de uma fina névoa ou chuva sobre a superfície das plantas, proporcionando uma cobertura mais ampla da área a ser irrigada [12] [13].

A estrutura de cultivo utilizada para o experimento é uma estante com dimensões totais de 185 cm de comprimento, 30 cm de largura e 185 cm de altura, dividida em quatro andares, cada um com seis nichos. Serão empregados quatro nichos por andar, totalizando 120 cm de comprimento por andar, sendo cada nicho com 30 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de altura. Para a comparação entre técnicas de irrigação, serão instaladas duas colunas, com seis nichos alocados para cada técnica: aspersão localizada e gotejamento localizado. A Figura 1 ilustra a distribuição e organização dos nichos na estante.

Para a irrigação eficiente, será utilizado um kit composto por tubos, conectores, válvulas, aspersores e gotejadores. O kit inclui mangueiras de jardim 4/7, divisores de mangueira de 2 vias, conectores rápidos, conector de torneira, tampas finais, fita impermeável, bocais de aspersão e gotejamento, estacas de apoio e conectores em T de 3 vias, assegurando a flexibilidade e eficiência necessárias para os métodos de irrigação avaliados.

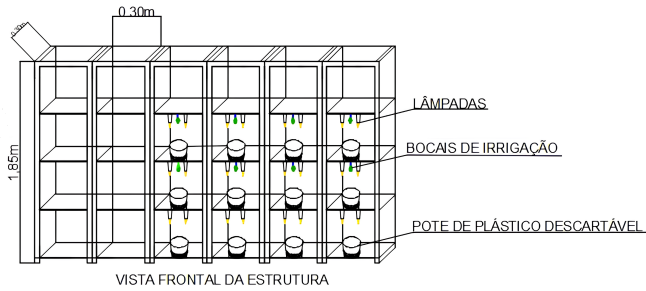


Fig. 1. Representação da estrutura - Fonte: Autoria Própria.

Além disso, para garantir a iluminação adequada da estrutura de cultivo, serão utilizadas lâmpadas tubulares de LED, que são eficientes em ambientes que requerem alta luminosidade. A escolha pelo LED é baseada em seu baixo consumo energético, cerca de 60% inferior ao das lâmpadas fluorescentes, mínima emissão de calor e maior segurança operacional. As lâmpadas LED também apresentam um custo relativamente baixo e são facilmente disponíveis no mercado, proporcionando a iluminação necessária para o crescimento das plantas na estante.

A parte computacional deste projeto está dividida em dois componentes principais: sensores e atuadores. O sistema desenvolvido visa integrar esses componentes para controlar de forma precisa e automatizada os parâmetros ambientais, alinhando-se aos princípios da Agricultura 4.0, também conhecida como agricultura digital.

A Agricultura 4.0 representa uma revolução no setor agrícola por meio da incorporação intensiva de tecnologias avançadas. Este conceito abrange o uso de sensores, inteligência artificial, big data e Internet das Coisas (IoT) para otimizar a produção agrícola, tornando-a mais eficiente, sustentável e econômica [15]. No contexto do presente projeto, a aplicação dessas tecnologias permite não apenas o monitoramento em tempo real das condições ambientais, mas também a resposta autônoma do sistema. Dessa maneira, variáveis como irrigação e temperatura são ajustadas automaticamente, promovendo uma melhora da produtividade e uma minimização do uso de recursos.

Para alcançar esses objetivos, o projeto empregará sensores de luminosidade, temperatura, gás e umidade do solo. Estes sensores têm a função de monitorar continuamente as condições ambientais, fornecendo dados cruciais para a análise e comparação, com foco no desenvolvimento ideal das plantas.

Os atuadores desempenham um papel essencial na execução das ações automatizadas. Neste sistema, uma bomba d'água submersível será utilizada em conjunto com um microcontrolador Arduino Mega. Juntos, esses componentes são res-

ponsáveis por ativar o sistema de irrigação conforme as necessidades detectadas pelos sensores. Assim, o sistema garante uma resposta eficiente às variações ambientais, assegurando um controle adequado e promovendo o crescimento saudável das plantas.

A escolha do microcontrolador Arduino Mega como base do sistema se justifica pela sua capacidade de integrar múltiplos sensores e atuadores em uma única placa, proporcionando a flexibilidade necessária para o gerenciamento das variáveis ambientais. A programação do sistema será realizada por meio da plataforma Arduino, um ambiente de desenvolvimento gratuito e de código aberto que oferece uma interface intuitiva para a escrita, compilação e upload de códigos.

A IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino, desenvolvida com base nas linguagens de programação C e C++, é projetada para simplificar o desenvolvimento de projetos com placas Arduino. Compatível com as plataformas Windows, Mac OS X e Linux, a IDE é amplamente acessível e pode ser obtida gratuitamente no site oficial do Arduino³.

Para otimizar a organização e implementação do projeto, optou-se por dividir o desenvolvimento em nove conjuntos de tarefas, que vão desde a montagem inicial da estrutura até a análise dos resultados experimentais. O fluxograma da Figura 2, apresenta a sequência de etapas a serem executadas com a finalidade de alcançar os objetivos propostos.

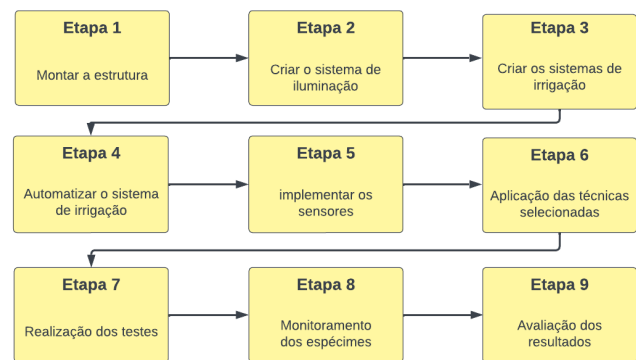


Fig. 2. Fluxograma de ações - Fonte: Autoria Própria.

Partindo para a métrica de avaliação, será utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados (Figura 3), o que permitirá avaliar o desempenho das diferentes técnicas de irrigação selecionadas nas plantações de microverdes.

Este delineamento é uma técnica estatística amplamente utilizada em experimentos científicos para controlar variáveis de confusão que possam influenciar os resultados do estudo.

³Arduino: <https://www.arduino.cc>

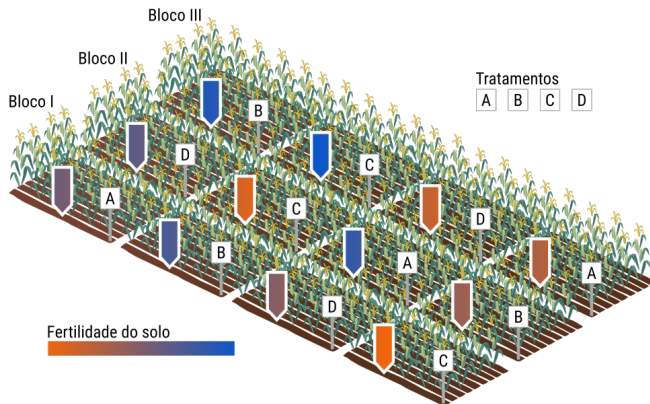


Fig. 3. Ilustração de um experimento em delineamento de blocos - Fonte: [16].

No delineamento em blocos casualizados, os espécimes são organizados em blocos ou grupos que compartilham características semelhantes, capazes de impactar os resultados, como condições externas, erros aleatórios ou efeitos não considerados. Posteriormente, dentro de cada bloco, os espécimes são aleatoriamente distribuídos entre os diferentes grupos de tratamento ou condições experimentais [17] [18].

A principal vantagem deste delineamento reside na capacidade de reduzir a variabilidade causada por fatores extrínsecos, garantindo maior precisão na análise do efeito dos tratamentos ou condições experimentais. Assim, o delineamento em blocos casualizados permite uma avaliação mais rigorosa e controlada das variáveis de interesse, aprimorando a confiabilidade dos resultados obtidos [17].

III. CONCLUSÃO

Com este trabalho, espera-se desenvolver uma solução computacional composta por hardware e software para um sistema de irrigação controlado, aplicável a fazendas verticais. Esta solução visa proporcionar agilidade e eficiência na definição e no monitoramento das condições ambientais em um ambiente controlado, oferecendo uma ferramenta poderosa para otimizar o cultivo de microverdes e outras culturas em sistemas agrícolas *indoor*.

Além disso, a implementação deste sistema permitirá identificar a técnica de irrigação mais eficaz entre as avaliadas, promovendo um maior controle hídrico e ambiental das culturas. Isso não apenas auxiliará no desenvolvimento saudável das plantas, mas também aumentará a produtividade, oferecendo uma alternativa sustentável e eficiente para a agricultura vertical.

Atualmente, o projeto encontra-se na fase de execução e implementação. As partes estruturais, de irrigação e de

iluminação já estão implementados e funcionando conforme o esperado, indicando um bom progresso. Conforme ilustrado no fluxograma da Figura 2, o próximo passo será a integração dos sensores, o que permitirá o controle e monitoramento das variáveis ambientais.

No entanto, para validar completamente o desempenho do sistema em condições reais, ainda são necessários testes e experimentos adicionais garantindo a real eficácia do sistema proposto.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Harris and D. Fuller, "Agriculture: definition and overview." Springer, 2014, pp. 104–113.
- [2] A. B. Coelho, "A demanda de alimentos no brasil, 2002/2003," 2006.
- [3] Y. Zhang, Z. Xiao, E. Ager, L. Kong, and L. Tan, "Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture," *Journal of Future Foods*, pp. 58–66, 2021.
- [4] E. R. Turner, Y. Luo, and R. L. Buchanan, "Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review," *Journal of food science*, vol. 85, no. 4, pp. 870–882, 2020.
- [5] A. Montoya, F. A. Obando, J. Morales, and G. Vargas, "Automatic aeroponic irrigation system based on arduino's platform," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 850, no. 1. IOP Publishing, 2017, p. 012003.
- [6] F. Mattern and C. Floerkemeier, "From the internet of computers to the internet of things," *From active data management to event-based systems and more: Papers in honor of Alejandro Buchmann on the occasion of his 60th birthday*, pp. 242–259, 2010.
- [7] Z. Xiao, G. E. Lester, Y. Luo, and Q. Wang, "Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens," *Journal of agricultural and Food Chemistry*, vol. 60, no. 31, pp. 7644–7651, 2012.
- [8] T. J. Bezerra, T. T. da Silva, R. A. Loss, C. A. Q. Geraldi, and S. F. Guedes, "Importância das condições de armazenamento de microgreens: Análise bibliométrica e revisão de literatura," *Research, Society and Development*, vol. 11, no. 3, pp. e25 211 326 584–e25 211 326 584, 2022.
- [9] C. S. Rody, C. M. Yasue, and M. L. Stella, "E-co vaso inteligente," 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.unifran.edu.br/jspui/handle/123456789/3536>
- [10] G. V. d. Almeida, "Estufa automatizada para cultivo de fungos comestíveis em ambiente residencial," 2022. [Online]. Available: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/65840/3/2022_tcc_gvalmeida.pdf
- [11] L. F. A. Henriques *et al.*, "Implementação e monitoramento de um sistema de irrigação automatizado em iot utilizando módulo esp32 em plantio caseiro," 2021. [Online]. Available: <https://www.rii.ufam.edu.br/handle/prefix/6003>
- [12] R. Testezlaf, "Irrigação: métodos, sistemas e aplicações," 2011.
- [13] G. A. Biscaro, "Sistemas de irrigação localizada," 2014.
- [14] S. Bernardo, *Manual de Irrigação*, 2006.
- [15] H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig *et al.*, "Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: Final report of the industrie 4.0 working group," *Forschungsunion: Berlin, Germany*, 2013. [Online]. Available: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- [16] W. M. Zeviani, "Manual de planejamento e análise de experimentos com r," 2019. [Online]. Available: <http://leg.ufpr.br/~walmes/mpaer/analise-de-covariancia.html>
- [17] J. R. COSTA, "Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias," 2003.
- [18] F. P. Gomes, "Curso de estatística experimental," 1985.