# MONITORAMENTO IOT ALIADO A SISTEMAS EMBARCADOS PARA A CULTURA DE SOJA: UMA ABORDAGEM INTEGRADA PARA EFICIÊNCIA AGRÍCOLA

**Ryan Gustavo Pedrozo Dos Santos[1], Gustavo Henrique Kenzo Oliveira[1,2], Ronaldo de Oliveira Elias[3], João Victor Vanzela Buzato[1], José Eduardo Pires Cardoso de Oliveira[1], Flávio José de Oliveira Morais[1]**

*[1] Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, Brasil, (ryan.gp.santos@unesp.br)*
*[2] Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC), Faculdade de Tecnologia "Shunji Nishimura", Pompéia, Brasil.*
*[3] Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, Brasil.*

*Resumo:* Este trabalho propõe-se o desenvolvimento de um dipositivo de monitoramento de baixo custo energético, capaz de estimular a produção da cultura da soja, com sensores a serem distribuídos na plantação que coletam dados de temperatura do solo e do ar, umidade relativa e luminosidade. Essas informações são enviadas à nuvem, permitindo decisões mais precisas. A integração confere o uso de *IoT* e sistemas embarcados, o que pode impulsionar a produtividade, a sustentabilidade, alinhando-se com as metas da ONU para 2030.

*Palavras-chave*: Agricultura digital; Automação rural; Gestão agroclimática; Tecnologia aplicada ao campo.

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, impulsionada pelo crescimento populacional global e pelas mudanças nos padrões de consumo, impõe grandes desafios à agricultura moderna. De modo a garantir a segurança alimentar e aumentar a produção sustentável de alimentos, torna-se imprescindível o uso de soluções inovadoras e eficientes para otimizar o desempenho das lavouras (Semeraro et al., 2023).

Sobre a soja, incide um papel fundamental para a nutrição, principalmente como fonte proteica em países economicamente desfavorecidos, onde o acesso à proteína animal é limitado. Além disso, contribui para a redução de lipídios de baixa densidade (LDL), que, em altas concentrações, são prejudiciais à saúde (Ain et al., 2022). Tendo em vista tais problemáticas, se torna essencial o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias que aumentem a produtividade e qualidade do produto nas culturas.

Neste contexto, a Indústria 5.0 - caracterizada pela integração de sistemas Internet das Coisas (IoT) - vem transformando positivamente o setor agrícola. Essa nova abordagem permite o monitoramento em tempo real de diversos fatores ambientais e agronômicos que interferem diretamente no rendimento da planta, oferecendo ao produtor dados precisos e atualizados para tomada de decisões estratégicas (Bazargani e Deemyad, 2024).

A aplicação de sensores de baixo custo energético e de produção elétrica representa um dos pilares da Agricultura 5.0, possibilitando a redução do impacto ambiental e o uso mais eficiente de recursos através de medições precisas e automatizadas (Subeesh e Mehta, 2021). Essa abordagem tecnológica mostra-se especialmente valiosa quando empregada a culturas de grande relevância econômica, como é o caso da soja, commodity fundamental para a economia brasileira e para o abastecimento alimentar global (CONAB, 2023). Considerando as significativas variações de temperatura e umidade características do território brasileiro, o monitoramento climático preciso - mediante esses sensores - assume papel estratégico para a sustentabilidade e produtividade da sojicultura (Fiorini et al., 2024).

O objetivo deste artigo é contribuir para a otimização do cultivo de soja por meio do desenvolvimento de sistema embarcado, e sua posterior aplicação de sensores à cultura da soja que permitem o monitoramento ambiental em tempo real. Ademais, busca-se promover a tomada de decisões agrícolas fundamentadas em dados precisos, visando aumentar a produtividade, garantir a segurança alimentar e

impulsionar o desenvolvimento econômico sustentável do setor.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está sendo conduzido nos laboratórios e áreas experimentais da Faculdade de Ciências e Engenharia (FCE), UNESP Tupã. As variáveis mensuradas provindas do monitoramento serão transmitidas para a nuvem (internet), após o processamento. Os dados deverão ser coletados por quatro sensores, centralizados em um módulo, que fará conexão com um *gateway*, de acordo com metodologia adaptada de Kepka et al. (2023).

No contexto geral do projeto, os sensores foram selecionados de acordo com as necessidades fisiológicas da planta, considerando a dinâmica do contínuo solo-planta-atmosfera. Serão utilizados dois sensores de temperatura: um será inserido no solo, a quatro centímetros de profundidade, próximo à zona pilífera, com o objetivo de avaliar o estresse térmico radicular; o outro será posicionado na região do caule para monitoramento da temperatura ambiente e identificação de possíveis estresses térmicos nessa área.

Além disso, será instalado um sensor no terço médio das plantas, responsável pela medição da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente. Na região apical, haverá um sensor destinado à quantificação do fotoperíodo, isto é, o tempo diário de exposição da planta à luz e à escuridão.

A escolha dos sensores considerou critérios como baixo consumo energético, custo acessível e funcionalidades compatíveis com os parâmetros desejados. Também foram levados em conta aspectos técnicos como a necessidade de utilização de canais de conversão analógico-digital (ADC) e a compatibilidade com os protocolos de comunicação empregados.

O diagrama apresentado na Figura 1, demonstra como será realizada a obtenção dos sinais, assim como a comunicação e transmissão dos mesmos para o usuário.

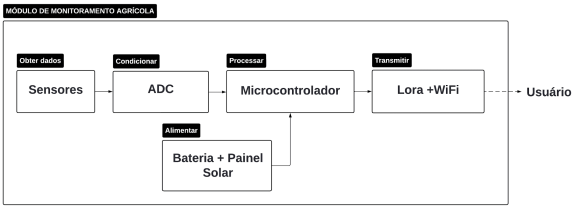



Figura 1. Diagrama do sistema de monitoramento da cultura da soja.

As etapas descritas a seguir delineiam o processo de desenvolvimento do módulo responsável pela recepção e transmissão dos dados provenientes dos sensores.

**1. Simulação e Validação do Circuito**
A simulação do circuito é realizada através do *LTspice*, verificando a compatibilidade elétrica entre sensores, microcontrolador e periféricos. Essa etapa assegura a eficiência energética e a funcionalidade do sistema antes da implementação física.

**2. Desenvolvimento do *Hardware* e PCB**
O layout da placa de circuito impresso (PCB) é projetado utilizando a ferramenta *KiCad*, com otimização para redução de ruídos e disposição eficiente de componentes. A fabricação da PCB utiliza soldagem manual dos componentes, garantindo conformidade com as especificações técnicas.

**3. Desenvolvimento do *Firmware***
O *firmware* é programado em linguagem C para o microcontrolador, com funções dedicadas à leitura dos sensores e transmissão de dados via protocolos de rádio, *Wi-Fi* e *Bluetooth®*.

**4. Testes de Comunicação e Integração**
Os testes avaliam a estabilidade da transmissão de dados entre sensores e o sistema central, com métricas de taxa de sucesso e robustez do sinal em diferentes ambientes.

Os módulos que integram o sistema de comunicação são: *Bluetooth low energy* (BLE), *Wi-Fi (Wireless Fidelity)* e o *Long Range* (LoRa). O primeiro módulo é responsável pela validação da autenticidade e precisão dos dados coletados, já os seguintes serão responsáveis pela coleta e transmissão dos dados a distâncias de 1 a 10 Km, para uma comunicação remota.
O monitoramento será feito de forma constante, permitindo uma aplicação contínua com o objetivo de aumentar a precisão do sistema. O sistema, que contará com períodos de *standby*, ou seja, o modo de espera para novas medições e envio de dados, devido à velocidade do processo de mensuração e envio de

dados (Garssen et al., 2023). Técnicas de *standby* também serão realizadas com a finalidade de se reduzir o consumo de energia.Para tanto, será disposto ao sistema, reguladores de tensão e um núcleo de energia, com o propósito de um melhor funcionamento com o menor consumo energético possível.

A Figura 2 apresenta a disposição dos sensores aplicados na cultura da soja.

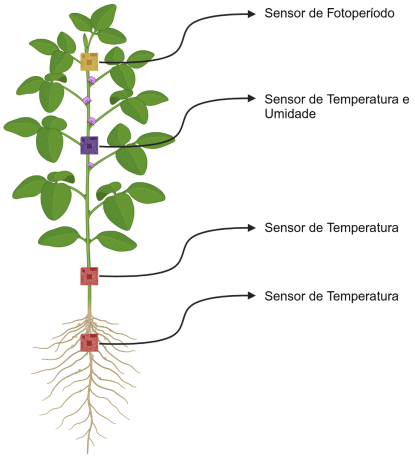



Figura 2. Arquitetura geral do sistema de monitoramento do plantio de soja.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que o projeto ainda se encontra em fase de desenolvimento, os resultados obtidos até o presente momento estão relacionados ao refinamento do *layout* e à execução de testes preliminares de funcionalidades. Nesse contexto, mediante a utilização do *software* KiCad, foi possível elaborar o *layout* completo, incluindo a disposição dos componentes, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4.

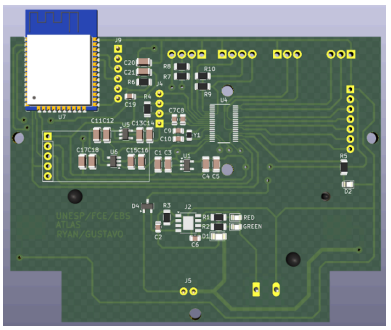


Figura 3. Visão frontal do dispositivo no visualizador 3D de PCB do KiCad.

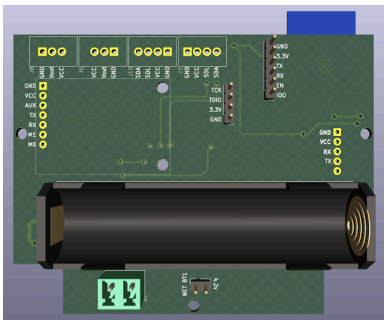


Figura 4. Visão traseira do dispositivo no visualizador 3D de PCB do KiCad.

O sistema conta ainda com sensores externos de temperatura, umidade e fotoperíodo, conectados à placa principal através de *bornes* (terminais de ligação externa) que por sua vez atuam como portas da placa principal. Além disso, os meios de comunicação escolhidos visam trazer adaptabilidade e praticidade ao produtor, de modo que os dados coletados por radiofrequência, *Wi-Fi* e *Bluetooth*® integrem as análises, fortalecendo a compreensão de padrões e correções necessárias para otimização de produção.

Por fim, com base no *layout* previamente definido, procedeu-se à fabricação do protótipo, conforme descrito anteriormente. Nessa etapa, realizou-se a soldagem dos componentes, seguida de testes de funcionalidade utilizando um multímetro, os quais permitiram verificar as conexões das vias e a correta alimentação de cada módulo. Desse modo, obteve-se o módulo final, conforme apresentado na Figura 5.

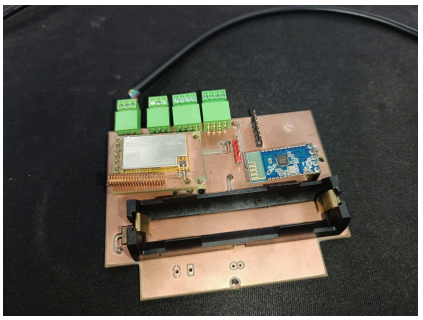


Figura 5. PCB confeccionada em desenvolvimento para fase final.

Com a conclusão do *layout*, proceder-se-á à fabricação e às devidas adaptações da PCB no *hardware* projetado. Uma vez concluída a montagem do dispositivo e implementadas as necessárias correções - tanto no *hardware* (componentes físicos do sistema) quanto no *firmware* (conjunto de

instruções programadas) - o projeto avançará para a fase final de testes e otimização, visando assegurar seu pleno desempenho.

## CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um dispositivo embarcado de Internet das Coisas (IoT) voltado para o monitoramento da cultura da soja, destacando soluções que aliam baixo custo de produção e eficiência energética. O desenvolvimento do módulo sensor e a elaboração da placa de circuito impresso (PCB) representam um avanço significativo na digitalização do setor agrícola, permitindo a coleta contínua e precisa de dados agroclimáticos essenciais, como temperatura do solo e do ar, umidade relativa e fotoperíodo.

A arquitetura modular e a escolha estratégica das formas de comunicação conferem ao sistema uma alta adaptabilidade às diversas condições do campo, tornando-o viável para pequenas e médias propriedades agrícolas. Ao integrar esses dados a uma plataforma em nuvem, o sistema não apenas proporciona ao produtor rural uma capacidade aprimorada de análise e tomada de decisões, mas também promove um aumento na produtividade, otimiza o uso de recursos naturais e reduz os impactos ambientais.

Embora o dispositivo ainda esteja em fase de testes, os resultados preliminares obtidos até o momento demonstram o potencial dessa ferramenta como um suporte técnico à agricultura de precisão, especialmente em culturas de grande relevância econômica, como a soja. É fundamental ressaltar que, para que o sistema alcance seu pleno potencial, sua aplicação deve ser cuidadosamente adaptada à cultura da soja, considerando as especificidades e desafios enfrentados pelos produtores.

A validação completa do protótipo é um passo crucial para garantir sua eficácia e confiabilidade. Espera-se que, após essa validação, o sistema possa ser expandido e adaptado a outras culturas, contribuindo efetivamente para o fortalecimento da segurança alimentar e para o cumprimento das metas de sustentabilidade estabelecidas na Agenda 2030 da ONU

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Faculdade de Ciências e Engenharia da Universidade Estadual Paulista pela oportunidade, bem como pelo uso de seus equipamentos e laboratórios. Este estudo foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do processo 2024/10579-0, e pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), por meio do processo 10020.

## REFERÊNCIAS

AIN, Huma Bader Ul et al. Nutritional Aspects of Soybean (Glycine Max). In: **Bioactive Compounds from Multifarious Natural Foods for Human Health**. Apple Academic Press, 2022. p. 3-19.

BAZARGANI, Khadijeh e DEEMYAD, Taher. “Automation’s Impact on Agriculture: Opportunities, Challenges, and Economic Effects”. *Robotics*, (2024).

CALVO, Stefano et al. In-vivo proximal monitoring system for plant water stress and biological activity based on stem electrical impedance. **2023 9th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI)**. IEEE, 2023. p. 80-85, jun. 2023.

CHIA, S. Y.; LIM, M. W. A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2022. p. 012001, out. 2022.

**CONAB** acompanhamento do BOLETIM LOGÍSTICO: Brasil torna-se maior fornecedor mundial de farelo de soja.

DURÁN-SANDOVAL, Daniel et al. Food, climate change, and the challenge of innovation. **Encyclopedia**, v. 3, n. 3, p. 839-852, jul. 2023

FIORINI, Ana Carolina Oliveira et al. How climate change is impacting the Brazilian agricultural sector: evidence from a systematic literature review. **Environmental Research Letters**, v. 19, n. 8, p. 083001, 2024.

KEPKA, Michal et al. Sensor Data Gathering for Innovative Climatic System for Effective Water and Nutrient Management. **AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics**, v. 15, n. 1, p. 73-81, mar. 2023.

QUEZADA-QUEZADA, Nicole et al. Geotemperatura, flujo neto de calor del suelo y variables morfológicas del cultivo de soya (Glycine max L.) bajo condiciones de mulch plástico. **Manglar**, v. 20, n. 1, p. 31-39,abr. 2023.

MATULOVIC, Mariana et al. Aflatoxin detection on direction of the 4.0 age 3.0 costs. **International Journal of Innovation Education and Research**, v. 7, n. 7, p. 338-346, nov. 2019.

NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, Carlos Alberto et al. Prevalence of childhood anaemia in Brazil: still a serious health problem: a systematic review and meta-analysis. **Public health nutrition**, v. 24, n. 18, p. 6450-6465, 2021.

OFORI, Kelvin F. et al. Improving nutrition through biofortification–A systematic review. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 1043655, 2022.

RAIEVSKA, I. M.; SCHOGOLEV, A. S. Genetic variation in four maturity genes and photoperiod insensitivity effects on the yield components and on the growth duration periods of soybean. **Regulatory Mechanisms in Biosystems**, v. 14, n. 1, p. 55-63, fev. 2023.

SUBEESH, A. e MEHTA, C.R. "Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things", (2021).

STANIAK, Mariola; SZPUNAR-KROK, Ewa; KOCIRA, Anna. Responses of soybean to selected abiotic stresses—Photoperiod, temperature and water. **Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 146, jan. 2023.

WEGREN, Stephen K. Challenges to global food security: A policy approach to the 2021–2022 food crisis. **World Food Policy**, v. 9, n. 1, p. 127-148, mar. 2023.

YANG, Chao-Tung et al. Implementation of an intelligent indoor environmental monitoring and management system in cloud. **Future Generation Computer Systems**, v. 96, p. 731-749, jul. 2019.

SEMERARO, T. et al. Impact of Climate Change on Agroecosystems and Potential Adaptation Strategies. Land, v. 12, n. 6, p. 1117, jun. 2023.