

# Redes de Sensores sem fio em Agriculturas de Precisão

João Paulo de Souza - 968

Raul Moreno Pereira - 973

Redes de sensores tem capacidade de criar sistemas eficientes que funcionam em conjunto, usando de dispositivos que coletam dados do ambiente e se comunicam usando sem a necessidade de cabeamento. Elas se destacam pela sua capacidade de monitoramento de dados em tempo real, enquanto mantém boa eficiência energética.

O aumento da demanda por alimentos influencia a busca por métodos mais eficientes de cultivo, com foco em aumentar a produtividade enquanto visa reduzir o impacto ambiental, otimizando o consumo de energia, água e fertilizantes, enquanto se maximiza a produção. Essa busca por maior eficiência é fundamental diante das mudanças climáticas que enfatiza os debates de práticas agrícolas mais sustentáveis.

A agricultura de precisão surge para ajudar a resolver esses problemas, sendo uma abordagem que usa tecnologias de informação e sensoriamento para ajudar a monitorar lavouras de maneira eficiente. Nela, a coleta de dados, para monitoramento e auxílio na tomada de decisão, é essencial, tornando-se possível aplicar insumos de forma mais racional e precisa, reduzindo desperdícios. O objetivo deste trabalho é mostrar como a agricultura de precisão, usando redes de sensores sem fio, podem facilitar o monitoramento e melhorar a eficiência da agricultura. Serão abordados os principais aspectos da implementação e das tecnologias mais utilizadas para esse tipo de sistema.

## Fundamentos

Vários componentes trabalham em conjunto para coletar, processar e realizar transmissão de dados em ambientes com redes de sensores sem fio. Os nós sensores são o principal deles, sua função é reunir sensores, um microcontrolador, uma fonte de energia (baterias ou painéis solares) e um módulo de comunicação sem fio, em um único dispositivo. Estes nós sensores são distribuídos na área de atuação, para coletar dados relevantes para o cultivo, como temperatura e a umidade do solo. Após a coleta, esses dados são transmitidos para outras partes da rede, onde serão processados.

Essa transmissão é feita pelos gateways, que atuam como pontos de coleta intermediários, recebendo dados coletados pelos nós sensores e os enviando para o sistema central, chamado de estação base. Esse sistema fica responsável pelo armazenamento, análises e processamento de informações recebidas dos gateways.

Os gateways e os nós podem se comunicar de diferentes formas organizadas, chamadas topologias. Uma dessas sendo a em estrela, na qual todos os nós sensores se conectam diretamente a um único gateway central, sendo a mais simples. Já em malha, os nós não precisam necessariamente enviar os dados diretamente ao gateway, podendo se comunicar entre si e então encaminhar os



monitoramento remoto das condições do cultivo por meio de plataformas digitais, auxiliando o agricultor na tomada de decisões. [3]

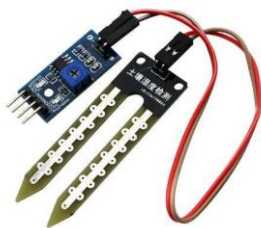
Com os dados devidamente coletados, entra-se na fase de **processamento centralizado**, na qual sistemas computacionais filtram, armazenam e transformam as informações em relatórios e indicadores úteis para o manejo agrícola. Atualmente, técnicas de aprendizado de máquina vêm sendo integradas às WSNs para previsão de variáveis agrícolas, como umidade do solo e necessidade hídrica, aumentando a eficiência no uso de recursos [4]. Além disso, esses sistemas podem ser acoplados a módulos de automação, permitindo que irrigação e fertirrigação sejam acionadas de forma autônoma, de acordo com as condições monitoradas em tempo real.

Por fim, a **segurança e a robustez da rede** precisam ser asseguradas para garantir a confiabilidade do sistema. Isso inclui a proteção física dos sensores contra chuva, poeira e animais, utilizando invólucros adequados, bem como a implementação de redundância, seja com sensores adicionais ou com topologias em malha (mesh). Tais medidas reduzem a probabilidade de falhas e perdas de dados, assegurando maior continuidade no monitoramento agrícola. [1]

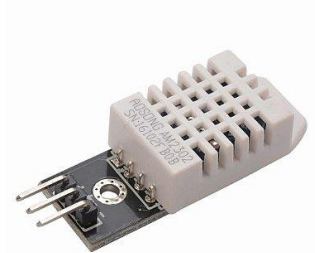
Assim, a implementação de uma rede de sensores sem fio em Agricultura de Precisão segue uma sequência de etapas que vão do planejamento ao fortalecimento da segurança do sistema. Quando bem estruturada, essa abordagem não apenas fornece dados confiáveis para a gestão agrícola, mas também contribui para o uso mais racional de recursos, aumentando a produtividade e a sustentabilidade das atividades rurais.

### Sensores Utilizados

A escolha adequada dos sensores é um dos elementos mais críticos na implementação de redes de sensores sem fio em Agricultura de Precisão, pois a qualidade e a confiabilidade dos dados coletados dependem diretamente desses dispositivos. Entre os sensores mais utilizados, destaca-se o **sensor de umidade de solo**, que pode ser do tipo capacitivo ou resistivo. Esse dispositivo permite monitorar em tempo real o conteúdo hídrico do solo, fornecendo informações fundamentais para a gestão da irrigação. Quando o nível de umidade se encontra abaixo de um limiar estabelecido, o sistema pode acionar automaticamente a irrigação, evitando tanto desperdício de água quanto o estresse hídrico das plantas [5].



Outro sensor amplamente empregado é o de **temperatura de solo e do ar**, sendo o DHT22 um dos modelos mais utilizados em pesquisas e aplicações práticas. Esse tipo de sensor é essencial para compreender as condições microclimáticas do cultivo, uma vez que a temperatura afeta diretamente processos fisiológicos das plantas, como germinação, crescimento e transpiração. Além disso, variações bruscas de temperatura podem comprometer a produtividade agrícola, tornando indispensável o seu monitoramento contínuo [6].



O **sensor de pH do solo** também desempenha um papel central, pois a acidez ou alcalinidade do solo influencia a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas. Esse sensor permite determinar a acidez do solo em tempo real, facilitando intervenções rápidas, como a aplicação de calcário ou outros corretivos, para manter o pH em níveis adequados ao cultivo [7].



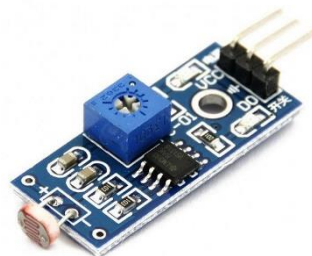
Complementarmente, o **pluviômetro eletrônico** é utilizado para medir a quantidade de chuva recebida no campo. A integração desse sensor ao sistema de monitoramento permite avaliar a contribuição da precipitação natural para o suprimento hídrico, otimizando o uso da irrigação artificial e reduzindo custos de operação. Dados pluviométricos também são fundamentais para modelagens hidrológicas e previsão de safras.



Um destaque adicional é a utilização de **sensores de nutrientes do solo**. Esses sensores permitem medir a concentração de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, diretamente no solo, fornecendo informações em tempo real para a aplicação mais eficiente de fertilizantes. Com isso, é possível reduzir o desperdício de insumos, minimizar impactos ambientais relacionados à lixiviação de nutrientes e garantir que as plantas recebam os elementos necessários para seu pleno desenvolvimento [8].



Por fim, o **sensor de luminosidade**, geralmente baseado em fotodiodos ou resistores dependentes de luz (LDR), é empregado para avaliar a intensidade luminosa incidente sobre a cultura. A radiação solar é um dos fatores determinantes para a fotossíntese e, conseqüentemente, para a produção agrícola. Assim, o monitoramento da luminosidade auxilia na determinação das melhores épocas de plantio e manejo de estufas agrícolas, onde pode ser necessário o controle de telas de sombreamento ou sistemas de iluminação artificial [9].



## Benefícios e Desafios

A adoção de redes de sensores sem fio na agricultura proporciona uma série de benefícios relevantes. Um dos principais é a redução no uso de água e fertilizantes, já que os sensores de umidade, pH e nutrientes permitem uma aplicação mais precisa e localizada dos insumos, evitando desperdícios e minimizando impactos ambientais [1]. Além disso, o monitoramento contínuo e em tempo real das condições do solo e do clima contribui para o aumento da produtividade agrícola, permitindo que o produtor tome decisões embasadas em dados concretos [10]. Outro ponto importante é a possibilidade de detectar precocemente pragas e doenças por meio da correlação entre variações ambientais e sinais iniciais de estresse das plantas, o que possibilita uma resposta rápida e eficaz [11].

Apesar dos benefícios, existem também desafios significativos. O alto custo inicial da infraestrutura de sensores e comunicação ainda representa uma barreira para pequenos produtores [12]. Outro obstáculo é a manutenção dos sensores em ambientes hostis, sujeitos a variações climáticas e degradação física, o que pode comprometer sua durabilidade. Há também a questão do consumo energético, já que muitos sensores dependem de baterias que precisam ser recarregadas periodicamente, o que limita sua autonomia. Por fim, a integração com outros sistemas agrícolas já existentes pode demandar adaptações complexas, tanto em nível tecnológico quanto organizacional, o que exige planejamento e investimento.

## **Expectativas Futuras**

A agricultura de precisão crescerá ainda mais com o avanço de tecnologias de comunicação sem fio, análise de dados e sensoriamento. A integração dessas redes com modelos de aprendizado de máquina e inteligência artificial se tornará cada vez mais usual permitindo monitoramento em tempo real com maior precisão e a previsão de eventos climáticos variados como seca ou granizo e até mesmo reconhecimento e controle de pragas, automatizando intervenções de forma automática e precisa.

Drones poderão ser usados para monitoramento e até mesmo carregamento em massa de dispositivos, utilizando tecnologias WET (Wireless energy transfer) para otimizar a coleta de energia e aumentar a autonomia dos dispositivos na rede. Com a evolução dos sensores, estes também se tornarão mais eficientes e robustos a menores custos, tornando a implementação da agricultura de precisão mais acessível.

Além disso, o uso de tecnologias como o 5G e mais futuramente o 6G disponibilizarão conexões cada vez mais rápidas e confiáveis, que serão fundamentais para resolver o problema da infraestrutura rural limitada. Elas permitirão que um número de dispositivos cada vez maior se comunique simultaneamente, viabilizando sistemas agrícolas robustos, automatizados e altamente integrados.

## **Conclusão**

O uso de redes de sensores sem fio tem um grande potencial para ajudar a transformar as formas de cultivo por meio da agricultura de precisão, auxiliando no monitoramento de vários aspectos importantes como o solo e clima em tempo real. Tecnologias de coleta, transmissão e análise de dados auxiliarão tornando as safras mais produtivas. Apesar de desafios como custo de implementação e manutenção dos dispositivos, os avanços alcançados até então na área vem tornando a agricultura de precisão cada vez mais difundida na indústria. Ao vencer essa barreira da implementação com tecnologias de ponta, a agricultura de precisão se tornará cada vez mais acessível à agricultores de todos os portes, melhorando a qualidade dos plantios, reduzindo desperdícios, assim contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

## Referências

- [1] Jawad, H. M., Nordin, R., Gharghan, S. K., Jawad, A. M., & Ismail, M. (2017). Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*, 17(8), 1781. <https://doi.org/10.3390/s17081781>
- [2] Aqeel-ur-Rehman, Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). *A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture*. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>
- [3] L. Ntseane and B. Isong, "Analysis of LoRa/LoRaWAN Challenges: Review," 2019 International Multidisciplinary Information Technology and Engineering Conference (IMITEC), Vanderbijlpark, South Africa, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/IMITEC45504.2019.9015864.
- [4] Ali, M., Li, X., & Hussain, M. (2022). Wireless sensor networks in agriculture through machine learning: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107032. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.106928>
- [5] Dursun, M., & Özden, S. (2011). *A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors*. *Scientific Research and Essays*, 6(7), 1573–1582. [https://www.idc-online.com/technical\\_references/pdfs/electronic\\_engineering/Dursun%20and%20Ozden.pdf](https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/Dursun%20and%20Ozden.pdf)
- [6] A. Sharma, A. Jain, P. Gupta and V. Chowdary, "Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4843-4873, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3048415.
- [7] Aqeel-ur-Rehman, Abu Zafar Abbasi, Noman Islam, Zubair Ahmed Shaikh, A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture, *Computer Standards & Interfaces*, Volume 36, Issue 2, 2014, Pages 263-270, ISSN 0920-5489, <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>.
- [8] Musa, P.; Sugeru, H.; Wibowo, E.P. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations. *Sensors* **2024**, *24*, 51. <https://doi.org/10.3390/s24010051>.
- [9] M. S. Mekala and P. Viswanathan, "A Survey: Smart agriculture IoT with cloud computing," *2017 International conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS)*, Vellore, India, 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICMDCS.2017.8211551.
- [10] Ruiz-Garcia, L.; Lunadei, L.; Barreiro, P.; Robla, I. A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of

the Art and Current Trends. *Sensors* **2009**, 9, 4728-4750.  
<https://doi.org/10.3390/s90604728>.

[11] Tamoghna Ojha, Sudip Misra, Narendra Singh Raghuwanshi. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 118, 2015, Pages 66-84, ISSN 0168-1699. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>.

[12] Zhu, Yingli & Song, Jingjiang & Dong, Fuzhou. (2011). Applications of wireless sensor network in the agriculture environment monitoring. *Procedia Engineering*. 16. 608–614. 10.1016/j.proeng.2011.08.1131.