

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**

**IOT E AGRICULTURA DE PRECISÃO: APLICAÇÕES,
BENEFÍCIOS E DESAFIOS**

DIEGO DE ANDRADE FERNANDES

DOURADOS

2024

DIEGO DE ANDRADE FERNANDES

IOT E AGRICULTURA DE PRECISÃO: APLICAÇÕES, BENEFÍCIOS E DESAFIOS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado para obtenção do título de Bacharel em
Sistemas de Informação pela Faculdade de Ciências
Exatas e Tecnologia da Universidade Federal da
Grande Dourados.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Szabo

Dourados

2024

DIEGO DE ANDRADE FERNANDES

IOT E AGRICULTURA DE PRECISÃO: APLICAÇÕES, BENEFÍCIOS E DESAFIOS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação na Universidade Federal da Grande Dourados, pela banca examinadora formada por:

Orientador Prof. Dr. Alexandre Szabo
FACET – UFGD

Prof.^a Dr.^a Silvana Morita Melo
FACET – UFGD

Prof.^a Me. Priscila Marques Kai
FACET – UFGD

Dourados, 21 de novembro de 2024

RESUMO

Esta revisão aborda a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura de precisão, destacando como essa tecnologia integra sensores e sistemas inteligentes para transformar práticas agrícolas. São discutidas as principais aplicações da IoT, como irrigação inteligente, uso eficiente de insumos e detecção precoce de pragas e doenças, com o objetivo de melhorar a produtividade e a sustentabilidade. Sistemas de irrigação baseados em IoT reduziram significativamente o consumo de água, enquanto sensores NPK otimizam o uso de fertilizantes, promovendo maior sustentabilidade e produtividade. Além disso, a automação e o monitoramento em tempo real possibilitam tomadas de decisão baseadas em dados. No entanto, desafios como altos custos iniciais, falta de infraestrutura e necessidade de padronização continuam sendo barreiras. Este trabalho também sugere direções futuras, incluindo a integração de redes neurais convolucionais (CNNs), além de tecnologias como 5G e gêmeos digitais, que prometem ampliar a eficiência e a sustentabilidade na agricultura de precisão.

Palavras-Chave: IoT; Internet das Coisas; Agricultura de Precisão; Agricultura Inteligente; Sensores.

ABSTRACT

This review addresses the application of the Internet of Things (IoT) in precision agriculture, highlighting how this technology integrates sensors and smart systems to transform agricultural practices. The main applications of IoT are discussed, such as smart irrigation, efficient use of inputs, and early detection of pests and diseases, with the aim of improving productivity and sustainability. IoT-based irrigation systems have significantly reduced water consumption, while NPK sensors optimize fertilizer use, promoting greater sustainability and productivity. In addition, automation and real-time monitoring enable data-driven decision-making. However, challenges such as high initial costs, lack of infrastructure, and the need for standardization remain barriers. This work also suggests future directions, including the integration of convolutional neural networks (CNNs), as well as technologies such as 5G and digital twins, which promise to increase efficiency and sustainability in precision agriculture.

Keywords: IoT; Internet of Things; Precision Agriculture; Smart Agriculture; Sensors.

IoT e Agricultura de Precisão: Aplicações, Benefícios e Desafios

Diego de Andrade Fernandes

d.iego.andrade@hotmail.com

Alexandre Szabo

alexandreszabo@ufgd.edu.br

Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

Universidade Federal da Grande Dourados

Dourados, Brasil

Resumo—Esta revisão aborda a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura de precisão, destacando como essa tecnologia integra sensores e sistemas inteligentes para transformar práticas agrícolas. São discutidas as principais aplicações da IoT, como irrigação inteligente, uso eficiente de insumos e detecção precoce de pragas e doenças, com o objetivo de melhorar a produtividade e a sustentabilidade. Sistemas de irrigação baseados em IoT reduziram significativamente o consumo de água, enquanto sensores NPK otimizam o uso de fertilizantes, promovendo maior sustentabilidade e produtividade. Além disso, a automação e o monitoramento em tempo real possibilitam tomadas de decisão baseadas em dados. No entanto, desafios como altos custos iniciais, falta de infraestrutura e necessidade de padronização continuam sendo barreiras. Este trabalho também sugere direções futuras, incluindo a integração de redes neurais convolucionais (CNNs), além de tecnologias como 5G e gêmeos digitais, que prometem ampliar a eficiência e a sustentabilidade na agricultura de precisão.

Palavras-chave—IoT, Internet das Coisas, Agricultura de Precisão, Agricultura Inteligente, Sensores.

I. INTRODUÇÃO

Agricultura desempenha um papel crucial na economia global e na segurança alimentar. No entanto, com o crescimento populacional, a demanda por alimentos está aumentando exponencialmente. Estima-se que a população em 2050 será aproximadamente de 9,3 bilhões de pessoas, e é necessário aumentar a produção agrícola global de 70 a 100% [1]. Com o aumento da demanda por alimentos devido ao crescimento populacional, surge a necessidade de aumentar a produção agrícola de forma sustentável, sem comprometer o meio ambiente. Diversas pesquisas sugerem que a IoT pode contribuir significativamente para enfrentar esse desafio, como discutido neste artigo.

IoT (do inglês *Internet of Things*) refere-se à interconexão de dispositivos físicos através da internet, permitindo a coleta e a troca de dados para automatizar processos e melhorar a eficiência. Essa rede de objetos inteligentes são capazes de se comunicar e interagir entre si. A IoT tem o potencial de transformar diversos setores, oferecendo novas oportunidades de negócios e melhorando a qualidade de vida das pessoas [2].

De acordo com (Cheng e Yang, 2019), a arquitetura IoT é geralmente dividida em quatro camadas: *i*) camada de percepção, *ii*) camada de rede, *iii*) camada de processamento e, *iv*) camada de aplicação.

Na Camada de Percepção, os sensores são utilizados principalmente para reconhecimento de informações, como a tecnologia RFID (Identificação por Radiofrequência) para obtenção de etiquetas eletrônicas, de modo a obter os dados *front-end* necessários. A Camada de Rede se refere ao servidor de segundo plano, o qual transmite informações por meio da rede de telecomunicações e da internet. Na Camada de Processamento são implementados alguns avisos antecipados, controle inteligente e previsão relacionada com base em dados conhecidos. A Camada de Aplicação processa as informações obtidas pela Camada de Percepção e realiza a aplicação do produto por meio de computação em nuvem, serviços de rede, etc.

Por meio da utilização de dados em tempo real na agricultura inteligente, possibilitada pela tecnologia de sensores, os rendimentos agrícolas podem ser aumentados, os custos podem ser reduzidos e há menos danos ambientais. Ao adquirir dados sobre uma série de fatores ambientais, incluindo nutrientes, umidade do solo, temperatura e outros, os agricultores podem tomar decisões sobre irrigação, fertilização e controle de pragas [4].

A presente pesquisa mostra como a IoT pode ser aplicada na agricultura de precisão para enfrentar os desafios do aumento da demanda por alimentos e a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis.

A estrutura do trabalho é organizada da seguinte maneira: a Seção II apresenta os principais estudos relacionados à aplicação de IoT na agricultura; a Seção III apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho; a Seção IV tem enfoque na aplicação de sensores para diferentes desafios presentes na agricultura; a Seção V conclui o artigo com discussão, propostas de trabalhos futuros e conclusão.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção é feita uma breve revisão da literatura sobre IoT e sensores usados na Agricultura de Precisão.

Nos últimos anos houve um aumento significativo na pesquisa relacionada a IoT na agricultura de precisão, com o propósito em melhorar a eficiência e a produtividade agrícola. Um dos aspectos fundamentais dessa integração é o uso de sensores para coletar dados em tempo real sobre as condições ambientais e agronômicas das culturas.

O trabalho de Tao et al., 2021, descreve os desafios e

as recomendações em aplicações de IoT na agricultura inteligente, como custos, dados, sistemas e dispositivos. As tecnologias de comunicação sem fio utilizadas para comunicação com os sensores, ZigBee e Wi-Fi são as mais comuns e apresenta como tecnologias futuras a integração do 5G para comunicação de alta velocidade. Diversos modelos de IoT são aplicados em áreas como irrigação, gestão agrícola e detecção de pragas, promovendo o desenvolvimento contínuo da agricultura inteligente.

A conexão de componentes físicos inteligentes é essencial para a modernização da agricultura de precisão [6]. Este trabalho descreve os sensores e as tecnologias utilizadas para a comunicação entre dispositivos, destacando aplicações baseadas em IoT que possibilitam o gerenciamento automatizado e o rastreamento de terras agrícolas com intervenção humana mínima. O estudo foca nos principais componentes, avanços tecnológicos, questões de segurança, desafios enfrentados e tendências futuras, enfatizando o papel crucial da IoT e da análise de dados no desenvolvimento da agricultura inteligente.

O estudo de Xu et al., 2022, explora a tecnologia IoT na agricultura, destacando seu impacto positivo na produção agrícola, qualidade dos produtos, redução de custos e aumento da renda dos agricultores. São discutidas a arquitetura do sistema e as cinco principais tecnologias da IoT agrícola, como a tecnologia de percepção de sensores, transmissão de informações, processamento das informações. Além disso, apresenta aplicações como irrigação para economia de água, e maquinário inteligente e analisa os problemas existentes, prevendo o futuro desenvolvimento da IoT agrícola.

Conforme destacado em [4], a agricultura inteligente tem evoluído consideravelmente com a integração de sensores de última geração e tecnologia IoT. A capacidade de monitorar em tempo real diversos fatores ambientais, como nutrientes presentes no solo, umidade do solo e temperatura, permite aos agricultores tomar decisões sobre irrigação, fertilização e controle de pragas. Essa abordagem promove métodos agrícolas eficientes e ecologicamente corretos, sendo essencial diante das mudanças climáticas e outros desafios ambientais. A aplicação de tecnologia de sensores na agricultura é prevista para ter um impacto significativo na produção de alimentos no futuro.

Essas tecnologias IoT devem ser acessíveis e escaláveis para todos os tipos de agricultores. A segurança é descrita como uma preocupação, dada a quantidade de dados sensíveis coletados pelos sensores IoT na agricultura, a sustentabilidade é outro fator importante. Deve levar em consideração a padronização dos dispositivos, para que o sistema IoT funcione em diferentes regiões e tipo de agriculturas.

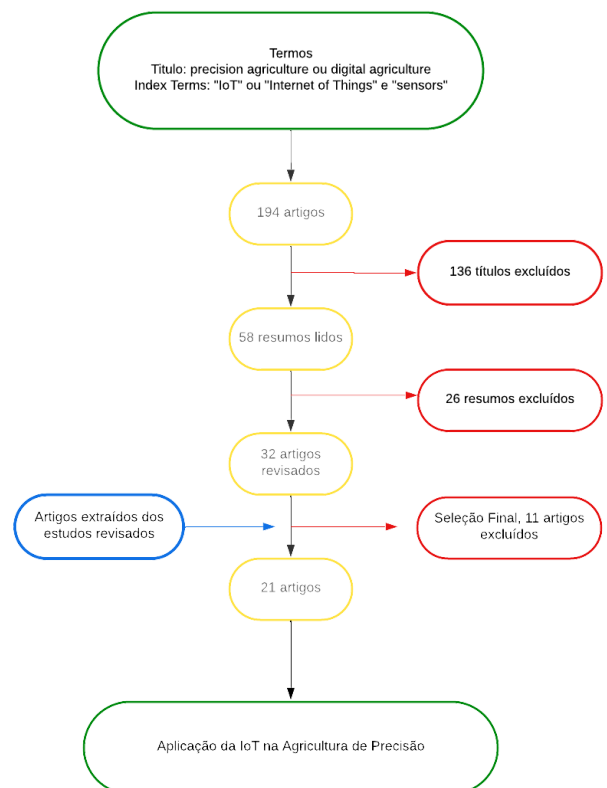
III. METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida por meio de buscas, focando em trabalhos científicos publicados em periódicos, como

Science Direct¹, Elsevier² e IEEEExplore³, com foco em trabalhos publicados nos últimos cinco anos para garantir a atualidade das informações. Inicialmente, a busca foi focada em revisões da literatura para estabelecer uma base sólida sobre o tema. Em seguida, concentrei-me em artigos que abordam a aplicação de IoT e sensores na agricultura de precisão.

Foram utilizados termos específicos: no campo título, "precision agriculture" ou "digital agriculture"; e no campo Index Terms, "IoT" ou "Internet of Things" e "sensors". Conforme ilustrado na Figura 1, a busca inicial retornou 194 publicações. A partir desses resultados, fiz uma avaliação preliminar dos títulos e selecionei 58 artigos que pareciam estar alinhados com o foco da pesquisa. Em seguida, li os resumos desses artigos para uma análise mais aprofundada, descartando aqueles que não tratavam diretamente da aplicação de IoT e sensores na agricultura de precisão. Após essa análise, 32 artigos foram selecionados para análise mais detalhada.

A seleção final foi realizada com base em quatro critérios principais: i) os artigos que abordavam a aplicação de IoT ou sensores na agricultura de precisão; ii) publicações que tratavam de tecnologias de comunicação IoT relevantes; iii) artigos diretamente relacionados ao campo da agricultura, excluindo aqueles que se encontravam em outras áreas; e iv) o número de citações de cada artigo, priorizando aqueles com maior impacto na área. Ao final, 21 artigos foram escolhidos para servir como base para as definições e conceitos discutidos ao longo do artigo.



¹ <https://www.sciencedirect.com/search/entry>

² <https://journalfinder.elsevier.com/>

³ <https://ieeexplore.ieee.org/search/advanced>

Fig. 1. Fluxograma da Seleção dos Artigos.

Esses 21 artigos selecionados são discutidos integralmente no texto, servindo como referência principal para as ideias, tendências e contribuições exploradas, com ênfase nas metodologias, resultados e impactos da IoT na agricultura de precisão.

IV. AGRICULTURA DE PRECISÃO

Agricultura de Precisão (AP) é uma prática de gestão agrícola, que tem como objetivo utilizar tecnologias avançadas para otimizar a produção, com intuito de reduzir o desperdício e aumentar o rendimento agrícola. São realizadas coletas e análises de dados do solo, nutrientes, clima e entre outras variáveis que influenciam no desenvolvimento das plantas, permitindo que as decisões possam ser localmente focadas.

Muitos desafios levam a uma diminuição da produtividade das culturas, como a salinidade do solo em condições áridas. Além disso, o clima também afeta a quantidade e a qualidade das colheitas e pode levar a um aumento da sensibilidade do solo e à desertificação. Nos países em desenvolvimento, o setor agrícola é um dos pilares da renda nacional. Portanto, a implementação de novas tecnologias para aprimorar o setor agrícola é uma questão importante para apoiar a economia nacional [8].

O monitoramento e o gerenciamento em tempo real das práticas agrícolas é possível utilizando combinações de sensores, IoT e tecnologias de análise de dados. As aplicações IoT mais relevantes para Agricultura de Precisão são: Irrigação, Condições climáticas, Administração de fertilizantes, Detecção de doenças nas culturas, Monitoramento de qualidade e previsão de colheita, e Detecção de incêndios. Essas aplicações demonstram o potencial da IoT, promovendo práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

A. Aplicação IoT na agricultura inteligente

Os tópicos a seguir exploram aplicações específicas de IoT na agricultura inteligente, abordando desde sistemas de monitoramento de irrigação até tecnologias para detecção de incêndios, demonstrando como essas inovações contribuem para uma agricultura mais eficiente e sustentável, conforme demonstrado na tabela I.

1. Sistema de monitoramento de irrigação

A necessidade de irrigação das culturas agrícolas varia dependendo do clima da área, portanto a eficiência energética e o uso econômico dos recursos hídricos estão fortemente interligados com o tipo de plantação e solo. Proteger os recursos hídricos naturais por meio do uso racional e eficaz da água é um dos principais desafios enfrentados pelos especialistas, pelo que são necessárias medidas concretas e sustentáveis. A irrigação tradicional utiliza grandes quantidades de água, o que muitas vezes resulta em desperdício e contaminação dos recursos hídricos. A criação de um sistema de irrigação de precisão, que utiliza sensores para monitorar a umidade do solo, a temperatura do ar e outras condições ambientais em tempo real, permite uma gestão mais eficiente da água. Esses dados são analisados por algoritmos de Aprendizagem de Máquina, que preveem a quantidade

exata de água necessária para cada planta, otimizando o uso da água e garantindo que as plantas recebam apenas o que precisam.

Além disso, os sistemas de irrigação baseados em IoT são capazes de se adaptar às mudanças nas condições climáticas, ajustando automaticamente os padrões de irrigação para maximizar a eficiência. Essa automação não só reduz o consumo de água, mas também minimiza o consumo de energia, já que as operações de irrigação são realizadas apenas quando necessário, evitando o funcionamento desnecessário dos sistemas de bombeamento e irrigação. Em experimentos com culturas como tomate e berinjela, esses sistemas demonstraram uma significativa economia de água e melhorias na saúde das plantas, comprovando que a irrigação de precisão é uma solução sustentável e eficaz para a agricultura de precisão [9,10].

2. Sistema de monitoramento das Condições Climáticas

A agricultura é fortemente impactada pelas condições climáticas. Como solução, os agricultores podem utilizar a IoT para integrar sensores de nível de água, umidade e temperatura, permitindo a coleta de dados ambientais em tempo real. Na agricultura de precisão, esses sensores monitoram a saúde das plantações e o ambiente de cultivo.

A captura contínua desses dados oferece aos agricultores informações valiosas, auxiliando na tomada de decisões sobre suas práticas agrícolas. Quando um problema ambiental potencialmente prejudicial é identificado, ele é corrigido automaticamente ou um alerta é enviado ao agricultor, recomendando ação rápida para evitar prejuízos [4].

3. Administração de fertilizantes

Na agricultura de precisão, um processo fundamental é a fertilização. Ela envolve a aplicação de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio. Sensores e IoT desempenham um papel importante na gestão de fertilizantes.

São utilizados sensores para monitorar em tempo real as necessidades das culturas e do solo, permitindo que os fertilizantes sejam aplicados de maneira controlada e precisa, garantindo a concentração adequada de nutrientes [11].

Um exemplo é proposto em [12], que utiliza a combinação de análise de *wavelets* (uma técnica matemática utilizada para decompor sinais em diferentes escalas de resolução) e redes neurais para otimizar a aplicação de fertilizantes em culturas de milho. O modelo é capaz de prever com alta precisão o rendimento das culturas em função das mudanças nas quantidades de fertilizantes aplicados, ajudando na tomada de decisões para o manejo de fertilização de precisão. Além disso, o modelo Wavelet-BP mostrou desempenho superior em comparação com outras técnicas tradicionais, como Redes Neurais Simples, Máquinas de Vetor de Suporte (SVM) e Random Forest, tanto em precisão quanto em estabilidade.

O aumento da produtividade agrícola é um dos principais benefícios da administração de fertilizantes

com o suporte da IoT. Pelo monitoramento contínuo das condições do solo e dos níveis de nutrientes, os agricultores podem otimizar o uso de fertilizantes, melhorando o desenvolvimento das culturas.

4. Detecção de doenças nas culturas

As doenças podem reduzir a produtividade agrícola, gerando prejuízos e comprometendo a segurança alimentar. O uso excessivo de pesticidas pode gerar impactos ambientais negativos, contaminação de recursos hídricos. No entanto, os avanços na tecnologia de IoT estão criando novas oportunidades para enfrentar esses desafios. No campo, sensores conectados à IoT permitem monitorar em tempo real a saúde das culturas e identificar os primeiros sinais de doenças ou infestações de insetos. Esses dispositivos coletam informações sobre fatores ambientais e biológicos, como temperatura, umidade do ar, umidade do solo e padrões de crescimento das plantas, que influenciam diretamente a saúde das culturas [4].

Os agricultores utilizam sensores conectados, como umidade, temperatura e saturação do solo, para prever doenças nas plantas e otimizar o uso de pesticidas [13]. Um exemplo recente desse avanço é o uso da arquitetura YOLOv3 (You Only Look Once, versão 3), que foi avaliada para a detecção em tempo real de pragas na cultura da soja.

O trabalho de Tetila et al., 2024, mostrou que, ao utilizar imagens capturadas em campo com variações de luz e clima, a detecção de pragas pode ser realizada de forma precisa e eficiente, permitindo que agricultores intervenham rapidamente. Os resultados indicaram que essa tecnologia pode reduzir a dependência de pesticidas aplicados de maneira indiscriminada, ajudando a minimizar os impactos ambientais ao mesmo tempo que melhora a eficiência no controle de pragas.

A tecnologia IoT e sensores permitem um manejo de pragas mais eficiente e sustentável, reduzindo a necessidade de produtos químicos e promovendo práticas agrícolas mais ecológicas. Com o uso de dispositivos conectados, os agricultores têm acesso a dados em tempo real sobre o estado das plantações e o comportamento das pragas, o que facilita a tomada de decisões para a proteção das culturas. Isso contribui para um setor agrícola mais produtivo e responsável com o meio ambiente.

5. Monitoramento de qualidade, previsão e colheita

O monitoramento é uma função essencial na agricultura de precisão; os sensores coletam informações de temperatura, umidade do solo e outros dados que permitem uma gestão mais eficiente da produção agrícola. De acordo com Panwar et al., 2024, a integração dessas tecnologias auxilia os agricultores na tomada de decisões com base em dados em tempo real. Algoritmos de aprendizado são utilizados para analisar essas informações, sugerindo as culturas mais adequadas para o tipo de solo e as condições climáticas específicas. Isso resulta em maior eficiência no uso de recursos, aumento da produtividade e melhor gerenciamento de riscos.

Uma abordagem eficaz é combinar diferentes algoritmos de aprendizado para melhorar a previsão de

safras utilizando dados históricos. Islam et al., 2023, apresentam um modelo de regressão por votação (Voting Regression), que integra algoritmos como Gradient Boosting, XGBoost e CatBoost.

Essa combinação aproveita as melhores características de cada técnica para aumentar a precisão das previsões. Com base em dados históricos detalhados, como informações meteorológicas e de produção agrícola dos últimos 45 anos, o modelo consegue prever o rendimento das culturas com maior acurácia. Isso permite ajustes às variáveis ambientais e apoia os agricultores em decisões mais informadas sobre plantio e colheita.

6. Detecção de incêndios

A detecção de incêndios é uma das diversas aplicações da IoT na agricultura, contribuindo para a proteção das áreas agrícolas. Utilizando dispositivos IoT, os agricultores podem monitorar potenciais riscos de incêndios em plantações e florestas. Os sensores são capazes de identificar alterações relevantes, monitorar a umidade e a temperatura, que podem ser integrados a uma plataforma IoT, para fornecer leituras em tempo real de variações bruscas de temperatura e umidade, que são indicativos potenciais de um incêndio iminente.

Pode utilizar sensores que identificam presença de fumaça, quando instalados em pontos estratégicos, pode fornecer uma detecção rápida de incêndios, alertando os responsáveis através de notificações automáticas enviadas para dispositivos móveis. A detecção de fumaça e a análise contínua dos dados ambientais são pontos importantes para a identificação precoce de incêndios [4,17,18].

Tabela I
APLICAÇÕES IoT E SUAS TECNOLOGIAS

Aplicação	Tecnologia Utilizada	Benefício
Irrigação	Sensores de Umidade	Redução do consumo de água
Monitoramento Climático	Sensores DHT11	Otimização das condições de cultivo
Gestão de Fertilizantes	Sensores NPK	Aplicação precisa de nutrientes
Detecção de Pragas e Doenças	Câmeras Multiespectrais	Redução no uso de pesticidas

B. Sensores IoT para agricultura de precisão

Uma ampla variedade de sensores fornece dados precisos e em tempo real sobre as condições do ambiente agrícola, desempenhando um papel essencial na otimização das práticas de manejo. Abaixo estão os principais sensores utilizados:

Os sensores de umidade do solo são indispensáveis para a gestão eficiente da água nas plantações, medindo a quantidade de água disponível e indicando a necessidade de irrigação. Sensores capacitivos, por exemplo, são amplamente utilizados devido à sua resistência à corrosão

e alta precisão em aplicações de longo prazo, como ilustrado na Figura 2.



Fig. 2. Sensor Capacitivo de Umidade do Solo.

Para o monitoramento da temperatura e umidade do ar, sensores como o DHT11 (Figura 3) oferecem informações cruciais sobre o microclima das plantações, permitindo ajustes nas condições de cultivo para garantir a produtividade ideal.

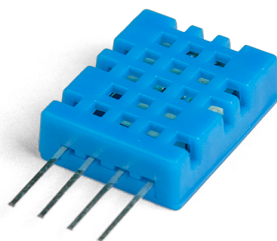


Fig. 3. Sensor DHT11.

Na detecção de incêndios, sensores de fumaça, como o MQ-2, são comumente empregados para identificar gases inflamáveis e a presença de fumaça, permitindo alertas rápidos em caso de perigo. Essa abordagem, ilustrada na Figura 4, ajuda a prevenir a propagação de incêndios, protegendo tanto as culturas quanto o meio ambiente.



Fig. 4. Sensor MQ-2.

Sensores de nutrientes, como os sensores NPK (Figura 5), monitoram os níveis de nitrogênio, fósforo e potássio no solo. Esses dados detalhados permitem que os agricultores ajustem a aplicação de fertilizantes de forma precisa, garantindo o crescimento saudável e equilibrado das plantas.

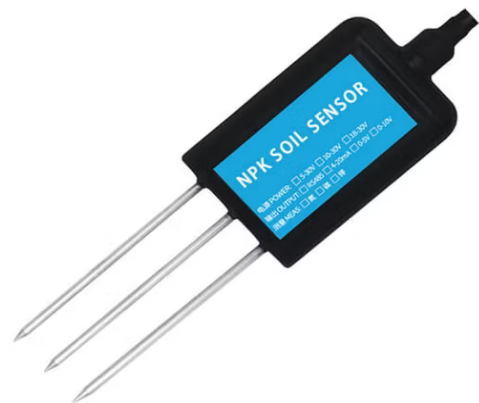


Fig. 5. Sensor NPK.

Além disso, câmeras multiespectrais, como as integradas ao drone P4 Multispectral (Figura 6), são usadas para monitorar a saúde das plantações por meio de imagens aéreas. Esses sensores capturam imagens em diferentes comprimentos de onda, permitindo a detecção precoce de problemas, como estresse hídrico e deficiências nutricionais, além de fornecer um mapeamento detalhado da saúde geral das plantas com alta precisão.



Fig. 6. Drone P4 Multispectral

O sensor de pH monitora a acidez do solo, um parâmetro essencial, pois o nível de pH afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e, consequentemente, o crescimento das plantas. Quando integrados a sistemas de IoT, estes sensores permitem o monitoramento em tempo real e, com o uso de séries temporais e Redes Neurais, oferecem previsões valiosas para o manejo agrícola, como apresentado na Figura 7.



Fig. 7. Sensor de PH

Quando utilizados em conjunto, esses sensores formam um ecossistema integrado de IoT, permitindo o monitoramento detalhado de variáveis ambientais e a automação de processos agrícolas. Essa integração resulta em maior eficiência, produtividade e uso racional de recursos, destacando-se como uma solução promissora para a agricultura moderna[6, 19, 20, 21].

A Tabela II apresenta os principais sensores utilizados, suas características técnicas e exemplos de aplicação, destacando sua contribuição para práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Tabela II
SENSORES IoT E SUAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Sensor	Parâmetro Monitorado	Tipo de Dado	Exemplo de Uso
Sensor Capacitivo	Umidade do Solo	Analógico	Irrigação Inteligente
DHT11	Temperatura e Umidade do Ar	Digital	Monitoramento Climático
NPK	Nutrientes do Solo	Digital	Gestão de Fertilizantes
MQ-2	Presença de Fumaça	Analógico	Deteção de Incêndios
Câmera Multiespectral	Saúde das Plantas	Imagem Multiespectral	Análise de Saúde Vegetal

C. Apps Agricultura Inteligente

As informações apresentadas são baseadas no artigo [6] e destacam alguns dos aplicativos de IoT mais utilizados na agricultura inteligente.

1. Calculadora de ROI de Nutrientes: A eKonimics lançou uma versão atualizada de sua renomada calculadora de ROI (retorno sobre o investimento). Esta versão mais recente integra incertezas espaciais, oferecendo aos agricultores uma representação mais precisa da resposta dos nutrientes na agricultura em escala produtiva. Isso permite que os agricultores criem estratégias de aplicação de fertilizantes mais precisas, otimizando os insumos e aumentando a lucratividade.⁴

2. SIRRUS⁵: Este aplicativo facilita a colaboração entre agrônomos e agricultores ao tornar os dados de campo acessíveis e fáceis de obter. Ele se conecta ao *framework* agX, permitindo o acesso a dados estruturados *offline* e a troca dessas informações com outros usuários e dispositivos. O editor de conselhos avançado no SIRRUS Premium permite que prestadores de serviços façam alterações no campo ou ao consultar um produtor. Os usuários podem ajustar as taxas de aplicação de fertilizantes, custos e preços gerais dos produtos. Os preços são atualizados dinamicamente conforme as aplicações recentes ou de taxa fixa. Após a seleção de um produto, as fichas de rotulagem e de segurança garantem o uso seguro e apropriado do produto.

3. FieldAgent⁶: Coleta dados para criar gráficos detalhados sobre a saúde das culturas agrícolas, contagem de sementes e plantas e identificação de ervas daninhas. Compatível com a maioria dos drones modernos da DJI

(Da-Jiang Innovations), o FieldAgent cuida dos detalhes do voo, permitindo que você se concentre no mapeamento. Ele exibe ortomosaicos completos, espécies de plantas, posições de ervas daninhas e itens de saúde das culturas (NDVI) diretamente no computador, facilitando a inspeção no campo. As previsões de tarefas são fornecidas no início de cada missão e são atualizadas conforme a tarefa muda. Você pode visualizar e ajustar quase qualquer parte da rota de voo antes da decolagem e voar sobre grandes áreas simultaneamente. Quando as baterias do drone acabam, o FieldAgent o leva de volta ao ponto de partida.

4. OpenIoT⁷: Auxilia os melhoristas de plantas a determinar o estado de diversas variedades de trigo, calculando a umidade e a temperatura do ar e do solo. Isso permite prever datas de colheita, cronogramas de irrigação e necessidades de nutrientes para o desenvolvimento das plantas.

5. FarmBot⁸: Utiliza *hardware* e *software* de código aberto para IoT na agricultura. Desenvolvido com a intenção de criar uma máquina autônoma para a agricultura inteligente, o FarmBot ajuda os usuários a cultivar seus próprios alimentos. O CEO da FarmBot Inc., Rory Aronson, afirma que o FarmBot é mais do que apenas entender a origem dos alimentos e convida todos a participar e ajudar a construir o futuro da agricultura através dessa tecnologia de código aberto.

6. SmartFarmNet⁹: Responde em tempo real a solicitações de dados em streaming via sensores. Integra arrays de armazenamento NoSQL e conceituais, gerenciando dados de usuários, sensores e cache de dados. O SmartFarmNet coleta, extrai e agrega fluxos de dados de quase todos os sistemas IoT. Para ingestão de dados, o *gateway* SmartFarmNet utiliza o recurso OpenIoT X-GSN. Utiliza *wrappers* para interagir com sensores, permitindo que o *gateway* recupere e transmita dados entre o sistema IoT subjacente e a rede SmartFarmNet, que suporta ingestão de dados de mais de trinta plataformas de *interface* IoT.

7. iSOYLscout¹⁰: É um aplicativo intuitivo de inspeção de campo que rotula áreas manualmente ou usando o GPS integrado, tanto a pé quanto em veículos. O aplicativo monitora a produção das culturas, infestações de ervas daninhas e outras funções no campo. Cada função registrada estima imediatamente a área. Pontos de interesse são marcados com uma etiqueta de texto e podem incluir notas ou fotos. Os arquivos iSOYLscout são automaticamente importados para o mySOYL, permitindo um rápido compartilhamento de dados entre o campo e o escritório.

8. AgVault 2.0¹¹: Facilita a navegação em campos inteiros com o uso de drones. O *software* permite configurar a altura do UAV, as configurações dos sensores, sobreposição, ângulo de direção e região de

⁴ [Nutrient ROI Calculator - eKonimics](#)

⁵ [SIRRUS](#)

⁶ [FieldAgent - Sentra](#)

⁷ [PhenoNet](#)

⁸ [FarmBot](#)

⁹ [SmartFarmNet](#)

¹⁰ [Soyl](#)

¹¹ [AgVault LLC](#)

levantamento. O UAV é lançado pelo aplicativo, completa o caminho predefinido de forma autônoma e retorna automaticamente. O AgVault ajuda na inspeção de áreas do campo para analisar o crescimento das culturas, infestação de insetos, etc.

9. AgriSync¹²: Ajuda agricultores e consultores a se comunicar e colaborar sobre questões de serviço agrícola. Os agricultores podem se conectar com vários consultores de diferentes organizações em tempo real por meio de vídeo para solicitar e oferecer assistência. Os consultores monitoram as solicitações dos clientes por meio de um console e vídeo remoto, permitindo ver exatamente o que o agricultor está enfrentando em tempo real. A empresa do consultor visualiza casos abertos, status de resolução e avaliações dos agricultores em um painel de suporte ao cliente baseado na web.

10. FARMapper¹³: É um aplicativo web da próxima geração que permite criar rapidamente mapas agrícolas. O mapa é armazenado na nuvem e pode ser acessado por dispositivos móveis, tablets e desktops. O aplicativo permite visualizar o projeto agrícola de quase qualquer plataforma com navegador web, adicionar informações a pontos clicados e destacar parcelas. Utilizando as ferramentas de desenho do aplicativo, é possível criar polígonos personalizados rapidamente e manter informações sobre recursos hídricos, servidões e cultivo. Todos os mapas são armazenados na nuvem e podem ser acessados a qualquer momento com um único clique, facilitando o monitoramento de várias parcelas.

V. DISCUSSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O uso da IoT e sensores têm o potencial de revolucionar a agricultura, oferecendo uma resposta eficaz aos desafios da produção sustentável em um cenário de crescimento populacional acelerado. Com o aumento contínuo da demanda por alimentos, é necessário que o setor agrícola busque soluções que aumentem a produtividade, mas também preservem os recursos naturais. A IoT desempenha um papel importante nesse processo, permitindo a coleta de dados em tempo real sobre o solo, as culturas e o ambiente, fornecendo aos agricultores informações precisas para tomar decisões mais precisas. Conforme observado, a agricultura de precisão baseada em IoT oferece benefícios, como a redução no uso de água e fertilizantes, otimização da irrigação e melhor gestão das culturas. No entanto, existem barreiras significativas que impedem a adoção em larga escala, especialmente entre pequenos e médios produtores.

A infraestrutura necessária para suportar sistemas IoT representam altos custos iniciais, o que limita o acesso à tecnologia para esses agricultores. Necessita de políticas públicas e estratégias de investimento que incentivem a adoção de tecnologias inteligentes no campo. Governo, setor privado e outras partes interessadas devem colaborar para criar um ambiente propício à inovação na agricultura. Além disso, questões de segurança e privacidade de dados são obstáculos críticos à medida que a IoT se expande. A

coleta massiva de dados sensíveis exige sistemas robustos de proteção para garantir que as informações coletadas sejam usadas de forma ética e segura. Este é um dos principais desafios para a IoT na agricultura, especialmente em regiões onde a infraestrutura tecnológica é limitada. Outro aspecto essencial para o sucesso da IoT na agricultura é a padronização das tecnologias utilizadas. A falta de padronização pode resultar em incompatibilidade entre sistemas, dificultando a integração de dados e a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes. A padronização da IoT é crucial para garantir a interoperabilidade entre sensores, redes de comunicação e plataformas de análise de dados, permitindo que as soluções tecnológicas funcionem de maneira coesa e eficiente.

Mesmo com esses desafios, o crescimento exponencial da IoT no setor agrícola é evidente. Para que a IoT beneficie uma quantidade maior de agricultores, especialmente aqueles em áreas rurais com recursos limitados, é crucial que os custos sejam reduzidos e que soluções sustentáveis sejam implementadas. Essa popularização do acesso à IoT poderia melhorar a qualidade de vida dos agricultores e aumentar significativamente a eficiência do setor agrícola [4,6]. Na sequência, a Tabela III apresenta uma comparação entre os benefícios e os desafios da IoT na Agricultura de Precisão.

Tabela III
COMPARAÇÃO ENTRE BENEFÍCIOS E DESAFIOS DA IoT

Aspecto	Benefícios	Desafios
Eficiência	Uso racional de água e insumos	Alto custo inicial de implementação
Sustentabilidade	Redução de impactos ambientais	Falta de infraestrutura adequada
Produtividade	Monitoramento em tempo real	Problemas de conectividade
Tomada de Decisão	Dados para decisões baseadas em evidências	Necessidade de treinamento

Algumas das principais tendências futuras na agricultura inteligente incluem o desenvolvimento de plataformas genéricas que possam ser aplicadas a diversos tipos de culturas e à pecuária, a melhoria da Qualidade de Serviço (QoS) [6].

Pesquisas futuras podem focar os estudos em uma arquitetura distribuída, aberta e compartilhável, permitindo a integração de sistemas heterogêneos e a partilha de recursos, o que proporciona informações agrícolas mais específicas e detalhadas. Além disso, é essencial o desenvolvimento de padrões abrangentes de percepção da informação, com foco na investigação de gateways incorporados e no design de gateways de conversão multiprotocolo, a fim de solucionar problemas de interface e protocolo entre dispositivos. A integração da tecnologia 5G, juntamente com realidade virtual e aumentada, também é vista como fundamental para a

¹² <https://www.agrisyncer.com/>

¹³ <https://farmapper.com/>

criação de um sistema de rede unificado que conecte máquinas agrícolas, agronomia e agricultores, permitindo a implementação do conceito de gêmeo digital no processo produtivo, o que facilita a tomada de decisões inteligentes, o monitoramento de processos e a rastreabilidade inteligente [7]. Além disso, o uso de redes neurais convolucionais (CNNs) apresenta um campo promissor para análises agrícolas. A integração de CNNs com IoT ampliará as possibilidades de automação e precisão.

Embora esta revisão tenha explorado a aplicação e o uso de sensores IoT na agricultura de precisão, foi abordado um exemplo de cada tipo de sensor. Futuras pesquisas podem se concentrar em ampliar a investigação sobre sensores específicos, detalhando as diferenças entre tecnologias similares e as suas respectivas aplicações práticas no campo.

Por exemplo, sensores infravermelhos podem ser divididos em ativos e passivos. No entanto, mais estudos são necessários para comparar seu desempenho em cenários variados, como condições climáticas extremas ou culturas específicas.

Além disso, sensores de temperatura, umidade e NPK poderiam ser analisados com maior profundidade, considerando não apenas sua funcionalidade básica, mas também aspectos como durabilidade, custo-benefício e integração com redes IoT. Isso incluiria a revisão de dispositivos inovadores, como sensores baseados em nanotecnologia, que têm mostrado promessas significativas em estudos recentes.

A ampliação dessa investigação permitiria um entendimento mais detalhado das limitações e potencialidades de cada sensor, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas IoT mais robustos e personalizados às necessidades da agricultura de precisão.

VI. CONCLUSÃO

O uso da Internet das Coisas (IoT) e sensores na agricultura de precisão representa uma inovação significativa para enfrentar os desafios da produção sustentável com a estimativa de aumento na demanda por alimentos. A integração de sensores inteligentes, algoritmos de análise de dados e tecnologias de comunicação permite maior eficiência no uso de recursos naturais, como água e fertilizantes, enquanto otimiza a produção agrícola e reduz impactos ambientais.

Apesar dos benefícios claros, desafios importantes permanecem, como os altos custos iniciais, a falta de infraestrutura tecnológica e a necessidade de padronização dos sistemas IoT. Esses fatores limitam a adoção em larga escala, especialmente por pequenos e médios agricultores. Além disso, questões de segurança e privacidade de dados ainda precisam ser abordadas para garantir o uso ético e seguro das informações coletadas.

Conclui-se que a IoT tem o potencial de transformar a agricultura em uma atividade mais eficiente e sustentável. Com esforços colaborativos entre governos, setor privado e pesquisadores, é possível superar as barreiras existentes e ampliar o acesso às tecnologias IoT, promovendo uma revolução tecnológica na agricultura global.

REFERÊNCIAS

- [1] X. Tian, B. A. Engel, H. Qian, E. Hua, S. Sun, and Y. Wang, "Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand?," *Journal of Cleaner Production*, vol. 294, p. 126285, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126285.
- [2] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/comst.2015.2444095.
- [3] J. Chen and A. Yang, "Intelligent Agriculture and Its Key Technologies Based on Internet of Things Architecture," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 77134–77141, 2019, doi: 10.1109/access.2019.2921391.
- [4] A. Morchid, R. El Alami, A. A. Raetzah, and Y. Sabbar, "Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 3, p. 102509, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.asej.2023.102509.
- [5] W. Tao, L. Zhao, G. Wang, and R. Liang, "Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 189, p. 106352, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.compag.2021.106352.
- [6] B. B. Sinha and R. Dhanalakshmi, "Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey," *Future Generation Computer Systems*, vol. 126, pp. 169–184, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.future.2021.08.006.
- [7] J. Xu, B. Gu, and G. Tian, "Review of agricultural IoT technology," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 6, pp. 10–22, 2022, doi: 10.1016/j.aiia.2022.01.001.
- [8] E. Said Mohamed, Aa. Belal, S. Kotb Abd-Elmabod, M. A. El-Shirbeny, A. Gad, and M. B. Zahran, "Smart farming for improving agricultural management," *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol. 24, no. 3, pp. 971–981, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.ejrs.2021.08.007.
- [9] G. Suciu, I. Marcu, C. Balaceanu, M. Dobrea, and E. Botezat, "Efficient IoT system for Precision Agriculture," in *2019 15th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, Jun. 2019. Accessed: Sep. 01, 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/emes.2019.8795102>
- [10] G. S. Prasanna Lakshmi, P. N. Asha, G. Sandhya, S. Vivek Sharma, S. Shilpashree, and S. G. Subramanya, "An intelligent IOT sensor coupled precision irrigation model for agriculture," *Measurement: Sensors*, vol. 25, p. 100608, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.measen.2022.100608.
- [11] N. Lin, X. Wang, Y. Zhang, X. Hu, and J. Ruan, "Fertigation management for sustainable precision agriculture based on Internet of Things," *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, p. 124119, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124119.
- [12] Y. Dong, Z. Fu, Y. Peng, Y. Zheng, H. Yan, and X. Li, "Precision fertilization method of field crops based on the Wavelet-BP neural network in China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 246, p. 118735, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118735.
- [13] M. G. Nayagam, B. Vijayalakshmi, K. Somasundaram, M. A. Mukunthan, C. A. Yogaraja, and P. Partheeban, "Control of pests and diseases in plants using IOT Technology," *Measurement: Sensors*, vol. 26, p. 100713, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100713.
- [14] E. C. Tetila *et al.*, "YOLO performance analysis for real-time detection of soybean pests," *Smart Agricultural Technology*, vol. 7, p. 100405, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100405.
- [15] Akhil Panwar, Arpit Kumar, Aryan Poonia, Ashish Chauhan, Ruchin Taliyan, and Vijay kumar Sharma, "Agricultural Crop Analysis using IoT And Machine Learning", *kuey*, vol. 30, no. 5, pp. 11035–11041, May 2024.
- [16] A. Islam *et al.*, "Crop Yield Prediction: A Fusion of IoT and Machine Learning for Precision Agriculture," in *2023 26th*

- International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, Dec. 2023, vol. 490, pp. 1–6. Accessed: Sep. 12, 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/iccit60459.2023.10441217>
- [17] G. B. Neumann, V. P. de Almeida, and M. Endler, “Smart Forests: fire detection service,” in *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, Jun. 2018. Accessed: Sep. 12, 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/iscc.2018.8538719>
- [18] P. Kanakaraja, P. Syam Sundar, N. Vaishnavi, S. Gopal Krishna Reddy, and G. Sai Manikanta, “IoT enabled advanced forest fire detecting and monitoring on Ubidots platform,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 3907–3914, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.343.
- [19] N. J. Chapungo and O. Postolache, “Sensors and Communication Protocols for Precision Agriculture,” in *2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, Mar. 2021, vol. 1, pp. 1–6. Accessed: Sep. 13, 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/atee52255.2021.9425126>
- [20] H. Yin, Y. Cao, B. Marelli, X. Zeng, A. J. Mason, and C. Cao, “Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture,” *Advanced Materials*, vol. 33, no. 20, Apr. 2021, doi: 10.1002/adma.202007764.
- [21] S. Aguiar and E. Barros, “A Soil pH Sensor and a Based on Time-Series Prediction IoT System for Agriculture,” in *2023 XIII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, Nov. 2023, vol. 67, pp. 1–6. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/sbesc60926.2023.10324263>