



INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO (PROPIP)
CAMPUS SALGUEIRO
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM RECURSOS HÍDRICOS PARA O SEMIÁRIDO**

Ailton Alves de Carvalho

**O PAPEL DO ARDUINO E SENSORES DE BAIXO CUSTO NA
AGROPECUÁRIA DIGITAL: AVANÇOS E PERSPECTIVAS NO
BRASIL**

Salgueiro - PE

2023

Ailton Alves de Carvalho

**O PAPEL DO ARDUINO E SENSORES DE BAIXO CUSTO NA
AGROPECUÁRIA DIGITAL: AVANÇOS E PERSPECTIVAS NO
BRASIL**

Monografia apresentada ao curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Recursos Hídricos para o Semiárido, ofertado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos para o Semiárido.

Orientador: Dr. Pedro Lemos de Almeida Junior

Coorientador: Dr. Thieres George Freire da Silva

Salgueiro - PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

d0 de Carvalho, Ailton Alves.

O PAPEL DO ARDUINO E SENSORES DE BAIXO CUSTO NA AGROPECUÁRIA DIGITAL: AVANÇOS E PERSPECTIVAS NO BRASIL / Ailton Alves de Carvalho. - Salgueiro, 2023.
36 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Recursos Hídricos) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Pedro Lemos de Almeida Junior.
Coorientação: Dr. Thieres George Freire da Silva.

1. Ciências Agrárias. 2. Solo. 3. planta. 4. Atmosfera. 5. inteligência artificial na agricultura. I. Título.

CDD 630



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **O papel do arduino e sensores de baixo custo na agropecuária digital: avanços e perspectivas no Brasil**, sob orientação de Pedro Lemos de Almeida Junior, apresentada pelo aluno **Ailton Alves de Carvalho (202127030020)** do Curso **Pós-Graduação em Especialização em Recursos Hídricos para o Semiárido (Salgueiro)**. Os trabalhos foram iniciados às 10:00h pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Pedro Lemos de Almeida Junior** (Presidente)
- **Francisco Dirceu Duarte Arraes** (Examinador Interno)
- **Marcelo Batista de Lima** (Examinador Externo)
- **Marcelo Anderson Batista dos Santos** (Examinador Suplente Interno)
- **Iug Lopes** (Examinador Suplente Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à argüição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado

Reprovado

Nota (quando exigido): 100

Observação / Apreciações:

Realizar as apreciações da banca e entregar o trabalho final dentro do prazo estipulado pelo regimento da Especialização em Recursos Hídricos.

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Pedro Lemos de Almeida Junior** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Salgueiro / PE, 30/06/2023

Marcelo Batista de Lima

Marcelo Batista de Lima

Pedro Lemos de Almeida
Junior:07967021444

Assinado de forma digital por Pedro
Lemos de Almeida Junior:07967021444
Dados: 2023.07.03 09:10:49 -03'00'

Pedro Lemos de Almeida Junior

Iug Lopes

Marcelo Anderson Batista dos Santos

Francisco Dirceu Duarte Arraes

Documento assinado digitalmente



FRANCISCO DIRCEU DUARTE ARRAES

Data: 01/07/2023 18:59:11-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Metodologia.....	10
3. Revisão técnica-científica.....	11
□ Automação de irrigação com arduino.....	11
□ Monitoramento do solo usando arduino (Soil monitoring arduino).....	13
□ Monitoramento da água usando arduino	14
□ Monitoramento da planta usando arduino	16
□ Monitoramento do clima usando arduino.....	18
3. Resultados e discussão.....	20
4. Conclusões.....	30
5. Referências bibliográficas	30

RESUMO

O Brasil é reconhecido como um dos principais produtores e exportadores globais de produtos agropecuários, devido à sua vasta extensão territorial, fontes hídricas supridoras e solos férteis. No entanto, ao longo dos últimos anos, esses recursos têm sido intensamente explorados e degradados. Ademais, a escassez acentuada de recursos hídricos, sobretudo em decorrência das mudanças climáticas, requer uma intensificação significativa da implementação tecnológica na agropecuária, especialmente na região semiárida brasileira, para agricultura familiar. Nesse contexto, esta revisão tem como objetivo realizar uma prospecção científica do papel do arduino nos processos de produção agropecuária, monitoramento de água-solo-planta-clima, e na automação de irrigação no Brasil, verificando os avanços e perspectivas futuras. Uma revisão sistemática dos artigos mais recentes foi realizada de acordo com as três etapas a seguir: (i) avaliação da elegibilidade, (ii) triagem e (iii) inclusão dos artigos e extração de informações. Houve um aumento no número de publicações científicas sobre produtos abordando a aplicação do Arduino na agricultura, os quais têm desfrutado de ampla aceitação na comunidade científica. Os microcontroladores que possuem integração de conectividade Wi-Fi representam uma parcela reduzida entre os artigos avaliados, o que acarreta uma restrição para o avanço da comunicação e da Internet das Coisas. Nesse sentido, a interação entre as áreas de pesquisa e a aproximação das ciências agrárias com a área de computação são essenciais para ampliar e aprimorar a qualidade dos trabalhos. Além disso, foram observadas correlações significativas nas calibrações dos sensores, evidenciando um promissor potencial desses sensores em aplicações práticas nas atividades agropecuárias.

Palavras-chave: Solo, planta, atmosfera, inteligência artificial na agricultura.

ABSTRACT

Brazil is recognized as one of the main global producers and exporters of agricultural products, due to its vast territorial extension, water supply sources, and fertile soils. However, over the past few years, these resources have been intensely exploited and degraded. Moreover, the acute scarcity of water resources, especially due to climate change, requires a significant intensification of technological implementation in agriculture, especially in the Brazilian semiarid region, for family farming. In this context, this review aims to perform a scientific prospecting of the role of Arduino in agricultural production processes, water-soil-plant-climate monitoring, and irrigation automation in Brazil, verifying advances and future perspectives. A systematic review of the most recent articles was carried out according to the following three stages: (i) eligibility assessment, (ii) screening, and (iii) inclusion of articles and information extraction. There has been an increase in the number of scientific publications on products addressing the application of Arduino in agriculture, which has enjoyed wide acceptance in the scientific community. Microcontrollers that have Wi-Fi connectivity integration represent a small fraction among the evaluated articles, which restricts the advancement of communication and the Internet of Things. In this sense, the interaction between research areas and the approximation of agricultural sciences with the area of computer science are essential to expand and improve the quality of work. In addition, significant correlations were observed in sensor calibrations, demonstrating a promising potential of these sensors in practical applications in agricultural activities.

Keywords: Soil, plant, atmosphere, artificial intelligence in agriculture.

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas científicas na agropecuária no Brasil geralmente requerem o uso de dispositivos para medição e coleta de dados, o que muitas vezes implica em custos significativos para o desenvolvimento de projetos. No entanto, o surgimento de novos dispositivos tem possibilitado a realização de projetos de pesquisa de forma mais acessível e econômica (CARVALHO et al., 2020; JUNIOR; DA SILVA; ANDRADE, 2023).

Obter informações agrícolas em tempo real é um desafio importante para monitorar as culturas e prever seu rendimento. O uso de dados em tempo real permite o monitoramento das culturas, a modelagem do rendimento e tomadas de decisão rápidas e precisas em termos de gestão agrícola. Essa abordagem proporciona uma visão mais precisa das condições atuais das plantas, permitindo uma resposta mais ágil e eficiente para maximizar a produção agrícola (GAIKWAD et al., 2021).

A escassez hídrica impõe a gestão da água como um desafio de extrema importância nas regiões áridas e semiáridas. A administração dos recursos hídricos e o incremento da eficiência no uso da água figuram entre as alternativas de gestão mais eficazes para a preservação dos recursos hídricos, notadamente na agricultura irrigada (PRAMANIK et al., 2022).

A exploração não sustentável dos recursos hídricos e as mudanças climáticas irão agravar as tensões existentes em relação aos recursos disponíveis. Apesar dos investimentos em equipamentos modernos e onerosos como estações agroclimáticas altamente equipadas com sensores de solo, planta e atmosfera, o desempenho da agricultura irrigada ainda é insuficiente, principalmente devido à escassez de dados hidroagrícolas disponíveis e à utilização limitada de ferramentas de apoio à tomada de decisão. Além do mais, embora exista uma variedade de sensores, seu uso não é amplamente difundido entre os agricultores devido ao alto custo e complexidade. O acesso a informações em níveis sem precedentes, por meio de sensores de baixo custo e tecnologia simplificada facilmente acessíveis, pode ser uma importante alavanca para identificar melhorias viáveis no desempenho e orientar os envolvidos rumo a uma gestão hídrica mais eficiente (VANDÔME et al., 2023).

Os países estão empenhados em promover a sustentabilidade na agricultura, por meio da integração de diversas tecnologias de monitoramento e manejo do agroecossistema visando aprimorar sua operação. A implementação de aperfeiçoamentos nos sistemas de irrigação desempenha um papel fundamental na otimização do uso da água, além de contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pelas Nações Unidas (OBAIDEEN et al., 2022).

Com o advento da Agricultura 4.0, a quarta revolução tecnológica no setor agrícola, houve avanços significativos para aprimorar e tornar mais eficiente as atividades agrícolas. Por meio da aplicação de tecnologias de ponta, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA), Computação em Nuvem e Sensoriamento Remoto, foram coletados e processados grandes volumes de dados agrícolas, desempenhando um papel fundamental na tomada de decisões mais eficientes (JUNIOR; DA SILVA; ANDRADE, 2023)

Com o rápido avanço das tecnologias e da eletrônica, é crucial acompanhar as últimas tendências e direções inovadoras, como o uso de controladores lógicos e sensores acessíveis, para eliminar redundâncias (JUNIOR; DA SILVA; ANDRADE, 2023).

Os controladores lógicos programáveis são amplamente empregados como unidades de automação para controle dos processos, juntamente com sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados, responsáveis pela obtenção e exibição das informações operacionais. Uma tendência relevante para facilitar essa implantação é o movimento de código aberto, no qual o microcontrolador Arduino se destaca. Essa plataforma de baixo custo, tem despertado cada vez mais interesse tanto na academia quanto na indústria. No entanto, ainda há a necessidade de integração para combinar esse dispositivo com os equipamentos industriais confiáveis (GONZÁLEZ; CALDERÓN, 2019), que permita elevar o monitoramento e manejo agrônômico e ambiental. Nesse contexto, o presente estudo proporciona uma revisão e análise dos progressos e das perspectivas futuras da utilização do microcontrolador Arduino tanto globalmente quanto no cenário brasileiro. Esse enfoque é direcionado para o monitoramento e gestão dos recursos hídricos, do solo e planta e das condições climáticas.

2. METODOLOGIA

Este trabalho tem com base metodológica, revisão sistemática de três estágios: planejamento, busca e relatório (COMPAGNONI, 2022; TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003), tomando como base, um protocolo transparente, buscando reunir todo o conhecimento sobre cada temática. Com base nesses princípios, foi realizada uma pesquisa abrangente de trabalhos relacionados ao uso do microcontrolador Arduino, publicados na forma de artigos científicos, em plataformas acadêmicas e científicas relevantes (Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico, Science Direct, Spring e MDPI). Posteriormente, as investigações embasaram-se em cinco critérios pertinentes ao emprego do arduino nas ciências agrárias, havendo, em seguida, uma filtragem em relação à presença dos termos da pesquisa no título, resumo ou palavras-chave, nos artigos no período de 2019-2023. Logo após, foi aplicado outro filtro na análise do objetivo, e caso se enquadrasse no contexto, o artigo prosseguia para leitura, obtenção de informações e análise dos dados (Figura 1).

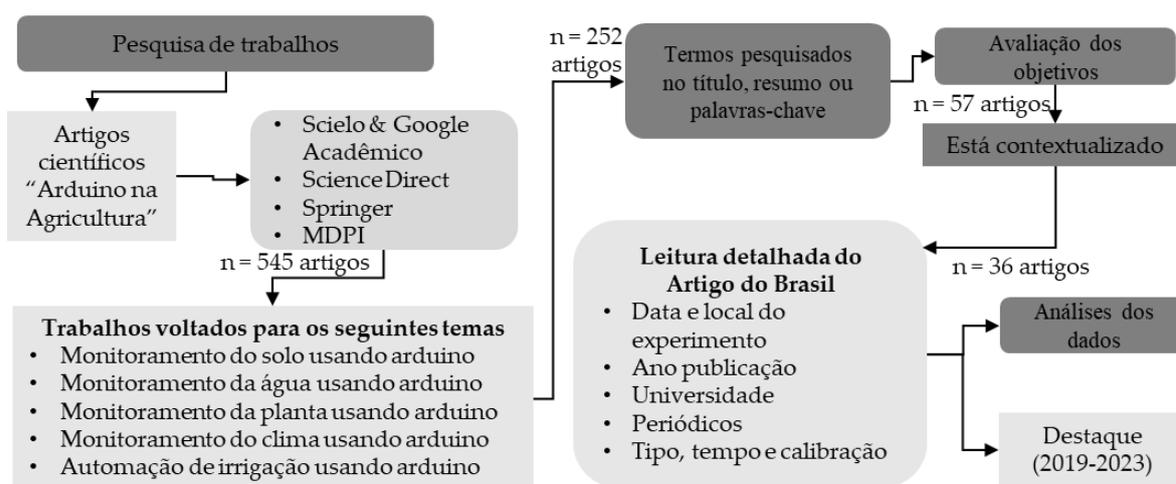


Figura 1. Fluxograma com etapas e protocolos de pesquisa dos trabalhos e da análise dos dados.

Para fornecer uma visão geral deste recurso nos níveis de pesquisa do uso de arduino e sensores, uma revisão sistemática da literatura é a opção mais recomendada para resumir os resultados dos trabalhos publicados conforme (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003), favorecendo uma abordagem generalizada do objeto de estudo e ajuda a identificar futuros linhas de pesquisa.

Foram analisadas as principais publicações científicas que se dedicam à divulgação de artigos relacionados às temáticas de estudo. Ademais, foram identificadas as instituições e regiões que apresentam um maior investimento no emprego do Arduino para atividades relacionadas ao monitoramento e manejo hidroagrícola.

Para representação das palavras-chave, adotamos um conector booleano (COMPAGNONI, 2022). Além das palavras-chave, utilizamos o pacote stripchart (R CORE TEAM, 2021) para identificar os sensores de maior relevância, gerar gráficos de dispersão unidimensionais (ou gráficos de pontos) com base nos dados fornecidos.

3. REVISÃO TÉCNICA-CIENTÍFICA

✓ Automação de irrigação com arduino

A irrigação baseada em sensor pode ser usada para otimizar a produção agrícola e fornecer água com precisão sob demanda. No entanto, os sistemas de controle disponíveis comercialmente podem ser caros. Para reduzir o custo dos sistemas de irrigação automatizados, os pesquisadores têm usado plataformas alternativas de código aberto de baixo custo acopladas a sensores capacitivos que podem monitorar o conteúdo volumétrico de água do solo em tempo real, permitindo o fornecimento de água sob demanda para as plantas (CAMPOS et al., 2021).

A automatização do sistema de irrigação, fundamentada na utilização de sensores de umidade do solo, permite estabelecer um sistema baseado em IoT, por meio de uma conexão sem fio entre a central de controle automatizada e os sensores de umidade do solo. Esses sensores, por sua vez, podem ser operados remotamente (PRAMANIK et al., 2022).

Para manejo de irrigação automatizados, encontram-se testes utilizando uma rede de nanosensores sem fio para o controle de irrigação. Diversos métodos de automação podem ser aplicados, incluindo irrigação simples baseada em Arduino, GSM (Global System for Mobile Communications), Controlador Lógico Programável, sistemas de irrigação IoT, Machine Learning e Deep Learning (SELVARAJ et al., 2022).

A contribuição da irrigação usando IoT podem contribuir para melhorar a gestão das culturas, taxa de crescimento ideal para as culturas, monitoramento das condições do produto em tempo real, previsão e tomada de decisões informadas,

redução do consumo geral de água, prevenção de doenças, preservação da estrutura e nutrientes do solo, redução de recursos, processos mais limpos e eficientes (OBAIDEEN et al., 2022).

Comprovou-se em teste de campo a viabilidade de um sistema de irrigação de baixo custo, de código aberto, que utiliza uma plataforma de prototipagem conectada a sensores de umidade do solo. Esse sistema possibilita o monitoramento e controle automatizado da irrigação, por meio de um microcontrolador do tipo Arduino Mega (CAMPOS et al., 2021).

Foi desenvolvido um dispositivo como uma alternativa de baixo custo às estações de monitoramento dos medidores de vazão da Campbell Scientific, que incluem registrador de dados. Esse dispositivo foi projetado para ter um custo reduzido, facilidade de construção e capacidade de emular as funções e saídas dos equipamentos da Campbell Scientific. Durante um período de dois anos, o dispositivo foi testado em condições de campo e apresentou resultados equivalentes aos equipamentos da Campbell Scientific. Ele é composto por um Arduino MEGA, um Adafruit Datalogging Shield e um modem celular Adafruit FONA (SPINELLI; GOTTESMAN, 2019).

Uma solução de automação para sistemas de irrigação em fazendas foi desenvolvida com o objetivo principal de resolver problemas como irrigação excessiva, erosão do solo e irrigação específica para diferentes culturas, proporcionando uma gestão eficiente dessas questões. A solução se baseia na implementação de um sistema de monitoramento composto por uma rede de sensores sem fio distribuídos, em que cada região da fazenda é coberta por vários módulos sensores que transmitem dados para um servidor centralizado. Algoritmos de aprendizado de máquina são utilizados para prever padrões de irrigação com base em informações específicas das culturas e cenários climáticos. Isso permite otimizar o processo de irrigação de forma mais precisa e eficiente (VIJ et al., 2020). A utilização de redes de sensores sem fio como tecnologia de comunicação para a automação da irrigação, tanto em sistemas de irrigação em geral quanto na irrigação por gotejamento em culturas irrigadas de forma específica, representa um campo de pesquisa completamente inovador e futurista (SIDHU et al., 2021).

A automação dos sistemas de irrigação pode ser facilmente alcançada mediante a utilização de um minilímetro controlado por um microcontrolador Arduino.

Essa solução permite a coleta de dados, o processamento das informações e a determinação precisa da quantidade de água a ser reposta à cultura, levando em consideração sua fase de cultivo. Além disso, é possível integrar esse sistema automatizado ao controle da irrigação de forma eficiente (MCCAUELY; NACKLEY, 2022) e com baixo custo para o processo de automação da irrigação (CUNHA, 2022).

O desempenho experimental do sistema de irrigação por gotejamento, aprimorado com tecnologia IoT inteligente, demonstra uma solução inovadora para o monitoramento contínuo e controle da irrigação, por meio de aplicativos baseados na web, permitindo o acompanhamento remoto e evitando a necessidade de vigilância constante, além de minimizar o desperdício de água (JAIN, 2023).

Foi realizado um estudo avaliando um robô de irrigação por aspersão adaptativo. Para esse propósito, foram projetados dois conjuntos de módulos transmissor e receptor, os quais foram interligados por meio de uma comunicação ZigBee, visando aumentar a eficiência do processo de prototipagem. Em comparação com os sistemas de irrigação de plantas já existentes, esse projeto de sistema demonstrou eficiência significativa em termos de portabilidade, ao contrário dos sistemas convencionais de aspersão que são estáticos e utilizam válvulas acopladas para irrigar as plantas (BODUNDE et al., 2019).

Experimentos realizados com automação de irrigação por meio da tensiometria eletrônica, utilizando a plataforma de hardware Arduino, revelaram resultados de alta precisão. Foi empregado um sistema eletrônico de controle da irrigação, o qual é acionado com base no potencial matricial de água presente no solo (PEREIRA et al., 2020b).

A avaliação da automação utilizando Arduino em conjunto com um inversor de frequência voltado para a irrigação por meio de válvulas resultou em um controle satisfatório de todo o sistema de irrigação. Esse controle adequado permitiu a manutenção da pressão de saída das válvulas, reduzindo as perdas de carga no sistema e, conseqüentemente, aprimorando a eficiência da motobomba (PEREIRA et al., 2020a).

✓ **Monitoramento do solo usando arduino (Soil monitoring arduino)**

Uma importante plataforma de detecção colorimétrica microfluídica habilitada para IoT para monitoramento contínuo de nitrogênio e fósforo no solo, se mostrando econômica, abrindo novas possibilidades para o desenvolvimento de dispositivos miniaturizados para análise instantânea no campo (PAL; DUBEY; GOEL, 2022)

O sistema FeatherFlame é um dispositivo utilizado em pastagens que conta com termopares para medir a temperatura, especialmente em áreas agrícolas sujeitas a condições extremas de incêndios florestais. Esse sistema é uma solução confiável e de baixo custo para a amostragem de incêndios florestais (MCGRANAHAN, 2021).

Uma estação fotovoltaica de monitoramento de umidade do solo de baixo custo para programação de irrigação com base em leituras de umidade do solo diferentes profundidades, para análise no domínio da frequência, na qual os sensores da sonda são conectados a um microcontrolador Arduino que também inclui sensores de umidade do ar, temperatura do ar e temperatura do solo, os resultados são carregados em um cartão de memória SD (RAMADAN et al., 2018). Sistema semelhante, que monitora parâmetros como umidade do solo, temperatura, umidade do ar e temperatura no nível do campo agrícola em tempo real, são amplamente encontrados (CARVALHO; MEDEIROS; GONÇALVES, 2021; GAIKWAD et al., 2021), permitindo elevada redução dos custos de estações de monitoramento (Araújo et al., 2021).

A avaliação da demanda por irrigação foi verificada com base nos níveis de umidade do solo, determinando o tempo de irrigação apropriado por meio da estimativa da evapotranspiração da cultura (TORRES et al., 2020). Uma opção adicional seria a utilização de um tensiômetro automatizado de baixo custo para o gerenciamento da irrigação, fundamentado em monitoramento em tempo real (SANCHES et al., 2022).

✓ **Monitoramento da água usando arduino**

O monitoramento de qualidade de água em termos de agricultura moderna, conservacionista se torna fundamental atualmente, levando em consideração que ocorreu uma expansão de reservatórios e rios cada vez mais poluídos. Além disso, é uma alternativa fundamental para monitorar a qualidade de água de lençol freático, uma fonte de água cada vez mais usada na agricultura (CARVALHO; MEDEIROS; GONÇALVES, 2021).

A utilização de microcontroladores e sensores versáteis e acessíveis tem viabilizado o monitoramento em tempo real da densidade óptica de culturas de microalgas em sistemas de cultivo aberto e fechado. As microalgas demonstram um elevado potencial como biorrecursos na agricultura contemporânea (BARBOSA; SOARES; ARÊDES MARTINS, 2020).

O monitoramento da variação do lençol freático ao longo do ano e a identificação das principais forças que influenciam as flutuações de alta frequência foram realizadas por meio de sistemas de sensores eletrônicos de baixo custo, fundamentados na plataforma Arduino. Esses sensores foram instalados em poços tubulares com o propósito de monitorar essa variação (LEAL-ALVES et al., 2022).

Um sistema de coleta de dados de baixo custo foi desenvolvido para obter parâmetros relacionados à luminosidade, umidade do solo, umidade do ar e temperatura em casas de vegetação. Esse sistema possibilita uma redução de até 3000% do valor em comparação com o uso de Dataloggers comerciais (MARQUES FILHO; RODRIGUES; DAL PONTE, 2021).

O desenvolvimento de um protótipo econômico utilizando a plataforma Arduino para análise de turbidez e condutividade da água, por meio de dois sensores dedicados a essas medições, oferece uma opção viável para monitorar e armazenar dados sobre a qualidade da água em residências. Além disso, permite a construção de um banco de dados confiável para esse fim (OLIVEIRA et al., 2021).

O desenvolvimento de dispositivos de baixo custo, como sensores controlados por microcontroladores Arduino, torna-se fundamental para o monitoramento da qualidade da água em comunidades remotas que dependem de sistemas alternativos de abastecimento. Um dispositivo foi desenvolvido para acompanhamento em tempo real dos parâmetros pH e turbidez, indicadores importantes para o controle qualitativo da água e identificação de possíveis riscos à saúde humana. O uso de sistemas de monitoramento remoto proporcionou maior segurança ao permitir a detecção imediata de alterações na qualidade da água (TARGINO et al., 2021).

Foi desenvolvido um sistema automatizado de baixo custo que auxilia no tratamento de água residuária em uma lagoa anaeróbia. Utilizando um potenciômetro, determina-se o nível atual do efluente na lagoa, juntamente com um sensor de temperatura para avaliar a eficácia da operação. A automação desse processo de monitoramento facilitou as operações diárias na estação de tratamento de efluentes,

permitindo estimar o tempo de retenção hidráulica do efluente no sistema de tratamento. O sistema foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino e a comunicação online via TinkerCAD. Com isso, é possível estimar a concentração de demanda biológica de oxigênio presente no efluente (PACHECO et al., 2022).

Foi desenvolvida uma solução de automação de baixo custo para o monitoramento hidrológico na gestão de recursos hídricos. Essa solução consiste em uma plataforma de coleta de dados com microcontrolador, projetada para aprimorar a rede de monitoramento hidrológico, abrangendo medições de chuva, nível de pequenos rios e temperatura da água. Essa abordagem permite uma ampliação eficiente da rede de monitoramento, proporcionando uma solução acessível e econômica para coletar dados importantes sobre os sistemas hidrológicos (GARBOSSA; NOVAES; LAPA, 2019).

Foi desenvolvido e implementado um aerobarco robótico para medir a qualidade da água em lagos, cujo interior abrigava bateria, minicomputador Raspberry Pi, roteador Wi-Fi para conexão a notebook, tablet ou celular e sensores conectados para a plataforma Arduino (MELO et al., 2019).

✓ **Monitoramento da planta usando arduino**

Desenvolveu-se um dispositivo para avaliar a capacidade de troca gasosa em um sistema de fluxo aberto. O sistema, construído com base no Arduino, incluiu três subsistemas: crescimento de explantes, suplementação de ar, amostragem de ar e monitoramento ambiental (LEE; HO; CHANG, 2023).

Foi desenvolvido um sistema de monitoramento da barra de pulverizadores para a aplicação de agrotóxicos em áreas de plantio. Esse sistema permite obter dados de medição da altura vertical da barra, com o objetivo de fornecer informações mais detalhadas durante o processo de aplicação e facilitar sua operação (FERREIRA-ALTHMAN et al., 2020).

Foi desenvolvido um dispositivo modular baseado em software livre para determinar as taxas respiratórias de produtos. O respirômetro permite medir a concentração de CO₂, pressão barométrica, diferencial de pressão e temperatura, possibilitando calcular a produção de CO₂ e estimar a taxa de consumo de O₂ e o quociente respiratório do produto, sem a necessidade de um sensor de O₂. Esse

sistema é simples, adaptável e de baixo custo, desenvolvido com base em Arduino (GONZÁLEZ-BUESA; SALVADOR, 2019).

Foi desenvolvido um sistema experimental de injeção em linha de pré-mistura automática, utilizando a plataforma Arduino, para solucionar o problema de sobra de mistura em tanques associados a pulverizadores de pomar de taxa variável. O sistema consiste em uma bomba de medição de fluido de precisão, uma bomba de água, um misturador estático, um tanque de pré-mistura e um tanque de compensação. Esse sistema permite bombeamento preciso de água e concentrados químicos para o tanque de pré-mistura, resultando em uma mistura adequada para os bicos de vazão variável do pulverizador. A proporção química é mantida constante para todos os bicos, independentemente das diferenças na vazão de pulverização (ZHANG et al., 2019).

Foi desenvolvido um sistema de monitoramento de baixo custo, controlado por Arduino, para medir o teor de água do caule em espécies florestais brasileiras. Após a construção e calibração dos sensores de umidade do caule, eles foram aplicados para monitorar as plantas, apresentando resultados consistentes (ARAÚJO et al., 2021).

Foi desenvolvido um sensor versátil e de baixo custo baseado em vários comprimentos de onda para estimar em tempo real a concentração de biomassa de microalgas em sistemas de cultivo. O sensor utiliza comprimentos de onda ultravioleta e infravermelho próximo, e sua precisão foi validada comparando-o com um espectrofotômetro. Ele demonstrou uma resposta linear forte e medições precisas da concentração de biomassa em base de peso seco (BARBOSA; SOARES; ARÊDES MARTINS, 2020)

As respostas de estresse de alta temperatura são cruciais para a sobrevivência das plantas. Os mecanismos envolvidos na detecção e sinalização dessas altas temperaturas ainda não são totalmente compreendidos e podem ocorrer por meio de diferentes vias. Neste estudo, apresentamos o desenvolvimento do RootScope, um sistema de microscopia automatizado projetado para quantificar as respostas de choque térmico nas raízes das plantas. Esse sistema utiliza tanto fontes de luz LED, controladas por um Arduino (KAST et al., 2013).

Foram conduzidos dois bioensaios independentes para investigar o impacto da temperatura de campo na emergência de *Telenomus podisi* (Hymenoptera:

Scelionidae) após serem liberados como pupas protegidas (encapsuladas) ou desprotegidas próximo à emergência dos adultos. Em cada ponto de liberação, foram instalados termômetros com 8 sensores de temperatura LM35 para cada réplica. Esses sensores foram fabricados utilizando uma placa controladora Arduino, que permitiu o registro de temperatura na faixa de -55 a $100 \pm 0,5$ °C (COLOMBO et al., 2023). Estudos semelhantes, anteriormente foram conduzidos (BRAZ et al., 2021).

Um dispositivo pneumático automatizado, foi desenvolvido, chamado pneumatron, e aplicado em raízes intactas de *Corylus avellana*, comparando-o com a abordagem pneumática manual. Esses testes são importantes para o desenvolvimento de protocolos diretos que estimem a vulnerabilidade de embolia nas raízes, permitindo comparações entre os órgãos das plantas. O pneumatron é um aparelho pneumático automatizado que utiliza um microcontrolador (placa Arduino Uno), um sensor de pressão (PX26-015GV), uma minibomba de vácuo (DQB380-FB2), duas miniválvulas solenoides (DSF2-A) e um shield de registro de dados (Adafruit Industries) (WU et al., 2020).

Medidas de fluxos de CO₂ utilizando covariância turbulenta foram realizadas ao longo de um ano hidrológico em pastagens dentro de uma fazenda de gado no Pantanal brasileiro, sujeita a inundações sazonais. Essas medições foram realizadas por meio de um sistema automatizado de câmeras, que consistia de uma câmera Hero 3 (GoPro) conectada a um microcontrolador Arduino Nano. O sistema registrava uma foto por dia para análise dos fluxos de CO₂ (DALMAGRO et al., 2022).

✓ **Monitoramento do clima usando arduino**

Os princípios da agricultura inteligente, que visam à produção em massa altamente automatizada voltada para a auto-suficiência agrícola, podem ser aplicados em propriedades rurais, por meio do uso de componentes eletrônicos mais acessíveis, software de código aberto e monitoramento climático. Isso permite a adoção de tecnologias avançadas e a implementação de sistemas inteligentes para monitorar e adaptar-se às condições climáticas específicas, proporcionando uma gestão mais eficiente dos recursos agrícolas e aumentando a resiliência das operações agrícolas (CARVALHO; MEDEIROS; GONÇALVES, 2021).

A temperatura de globo negro é amplamente utilizada em estudos de conforto térmico, sendo especialmente empregada no cálculo da temperatura radiante média

necessária na análise bioclimática. Com o auxílio do Arduino, foi desenvolvido um conjunto de termômetros de globo preto de baixo custo, visando estabelecer uma combinação adequada de transdutores de temperatura, materiais e diâmetros de globo. Isso possibilita uma medição precisa e acessível da temperatura de globo negro, contribuindo para uma avaliação mais precisa do conforto térmico e otimização de estratégias de projeto bioclimático (VEGA et al., 2020).

Um sistema autônomo baseado na IoT foi desenvolvido para determinar a evapotranspiração de referência (ET_o) e controlar a irrigação de forma precisa. Ele coleta dados climáticos relevantes, como temperatura, umidade do ar e radiação solar, que são armazenados em um banco de dados em nuvem. Com base nessas informações, o sistema realiza cálculos precisos da ET_o e fornece recomendações para a irrigação eficiente. Isso permite otimizar o uso da água na agricultura, reduzindo desperdícios (JUNIOR; DA SILVA; ANDRADE, 2023).

Diferentes metodologias foram utilizadas para estimar a quantidade de água necessária para irrigação diária de pimentão verde cultivado em casa de vegetação. O monitoramento do estado da água no solo foi realizado por meio de sensores de teor de água no solo e tensiômetros, enquanto a demanda evaporativa atmosférica foi medida utilizando um lisímetro de pesagem e um evaporímetro de Piché. Além disso, os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram registrados por um sensor DHT22 conectado a uma placa Arduino (DE ALMEIDA et al., 2023).

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) transmitida pelo dossel, que inclui a radiação direta e difusa, foi avaliada por meio de um radiômetro linear composto por dez sensores conectados a um microcontrolador Arduino. Além disso, foram realizadas medições da PAR em áreas abertas próximas às parcelas experimentais, a fim de obter uma comparação. Os resultados obtidos foram consistentes entre as medições realizadas no dossel e nas áreas abertas, proporcionando uma avaliação precisa da quantidade de PAR disponível para a fotossíntese das plantas (PAULA et al., 2022).

Foi desenvolvido um sistema que permite quantificar e relacionar a qualidade das plantas colhidas com a linha de classificação, visando a tomada de decisões. O sistema é composto por um hardware que registra a localização da bolsa da colhedora durante a colheita e descarga, e um software que processa os dados coletados. O dispositivo de rastreamento foi implementado utilizando um software embarcado no

Arduino, um receptor de sinal GNSS, um cartão micro SD, um microcontrolador ESP32 e uma placa de circuito impresso (BAZZI et al., 2022).

Este estudo apresenta uma proposta de utilização de redes de sensores sem fio em um sistema de apoio e controle para pulverização de culturas. O sistema é implementado utilizando Arduino, com a integração de sensores de umidade, anemômetro e um sensor ultrassônico de vento. O veículo pulverizador é equipado com um nó receptor, que recebe as informações dos demais sensores espalhados pela área de cultivo. Essa abordagem permite um monitoramento mais preciso das condições ambientais e auxilia no controle da pulverização, proporcionando uma aplicação mais eficiente dos produtos fitossanitários (SANTOS et al., 2014).

O sistema de monitoramento de temperatura e umidade de código aberto e baixo custo, chamado HIGROTERM, é projetado para aplicações laboratoriais. Esse sistema permite registro de dados de oito canais, que é acessível em termos de custo e baseado em sensores DHT22 para monitorar a temperatura e umidade. O HIGROTERM oferece uma solução eficiente e econômica para monitorar as condições ambientais em um laboratório, permitindo o acompanhamento preciso e em tempo real desses parâmetros essenciais (RIBEIRO; BAUER; LAMEIRAS, 2021).

Foi desenvolvido um sistema de irrigação automatizado que utiliza uma microestação meteorológica de baixo custo para determinar a demanda de água, por meio da temperatura e umidade relativa do ar (medido com DHT22) e controlar o tempo de acionamento do sistema. Esse sistema possibilita a comparação entre o manejo aplicado por agricultores e o manejo baseado em informações climáticas para diferentes cultivos. Além disso, o sistema permite a inserção de informações básicas sobre o cultivo e o solo para iniciar o funcionamento adequado (CARVALHO; MEDEIROS; GONÇALVES, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de publicações de artigos voltados para a Arduino na agricultura está em constante crescimento em todas as plataformas de periódicos científicos (Figura 2).

Número de publicações

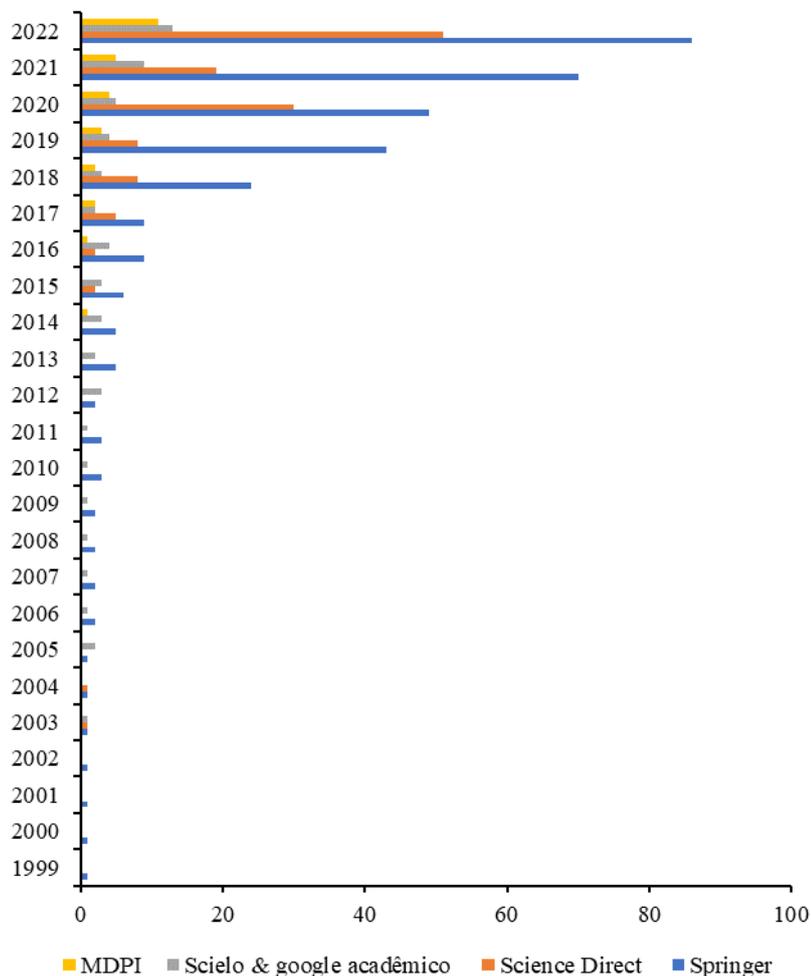


Figura 2. Número anual de publicações científicas identificadas na base Science Direct, Springer, MDPI e Scielo & google acadêmico.

A editora Springer (329 artigos) e a Elsevier (329 artigos) detêm as maiores bases de dados em relação aos artigos relacionados ao Arduino na agricultura, com os picos mais significativos registrados em 2022, com 86 e 51 artigos, respectivamente. A tendência de crescimento é semelhante nas demais plataformas, embora com menor intensidade. Nas bases de dados da MDPI e Scielo & Google Acadêmico, os maiores picos foram observados em 2022, com 13 e 11 artigos, respectivamente.

Os 15 periódicos de destaque no campo do uso do Arduino na agricultura são apresentados na Figura 3.

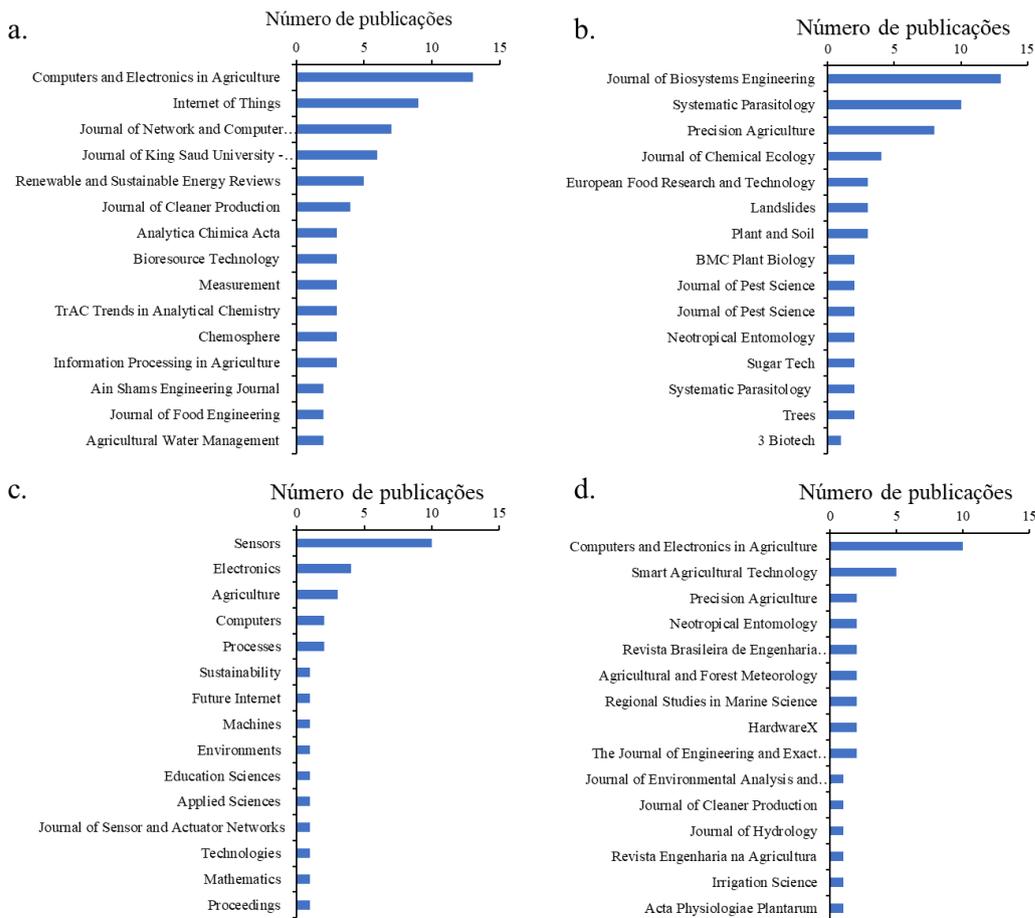


Figura 3. Periódicos de destaque das plataformas Science Direct (a), Springer (b), MDPI (c) e Scielo & google acadêmico (d).

O número de publicações na ScienceDirect, a base de dados da Elsevier, registrou um total de 127 artigos na subárea de agricultura, com destaque para a revista *Computers and Electronics in Agriculture*, que apresentou 13 artigos (Figura 3a). A revista também se destacou na plataforma Scielo & Google Acadêmico, com um total de 10 artigos (Figura 2d). Na Springer (Figura 3b), o periódico *Journal of Biosystems Engineering* foi o que mais apresentou trabalhos nessa área, com 13 artigos. Na MDPI (Figura 3c), a revista de maior destaque foi a *Sensors*, com 10 artigos.

No contexto brasileiro, observa-se uma maior concentração de artigos relacionados ao uso de Arduino nos estados do Nordeste (32%) e Sudeste (29%) (Figura 4a). Esse destaque ocorreu principalmente no ano de 2022 (Figura 4b). Em relação às universidades que se sobressaíram em publicações nos últimos cinco anos, destacam-se a UnB, Ufes, Unesp, UFCG, UFV, IFCE e UFRPE, com 2 artigos cada (Figura 4c).

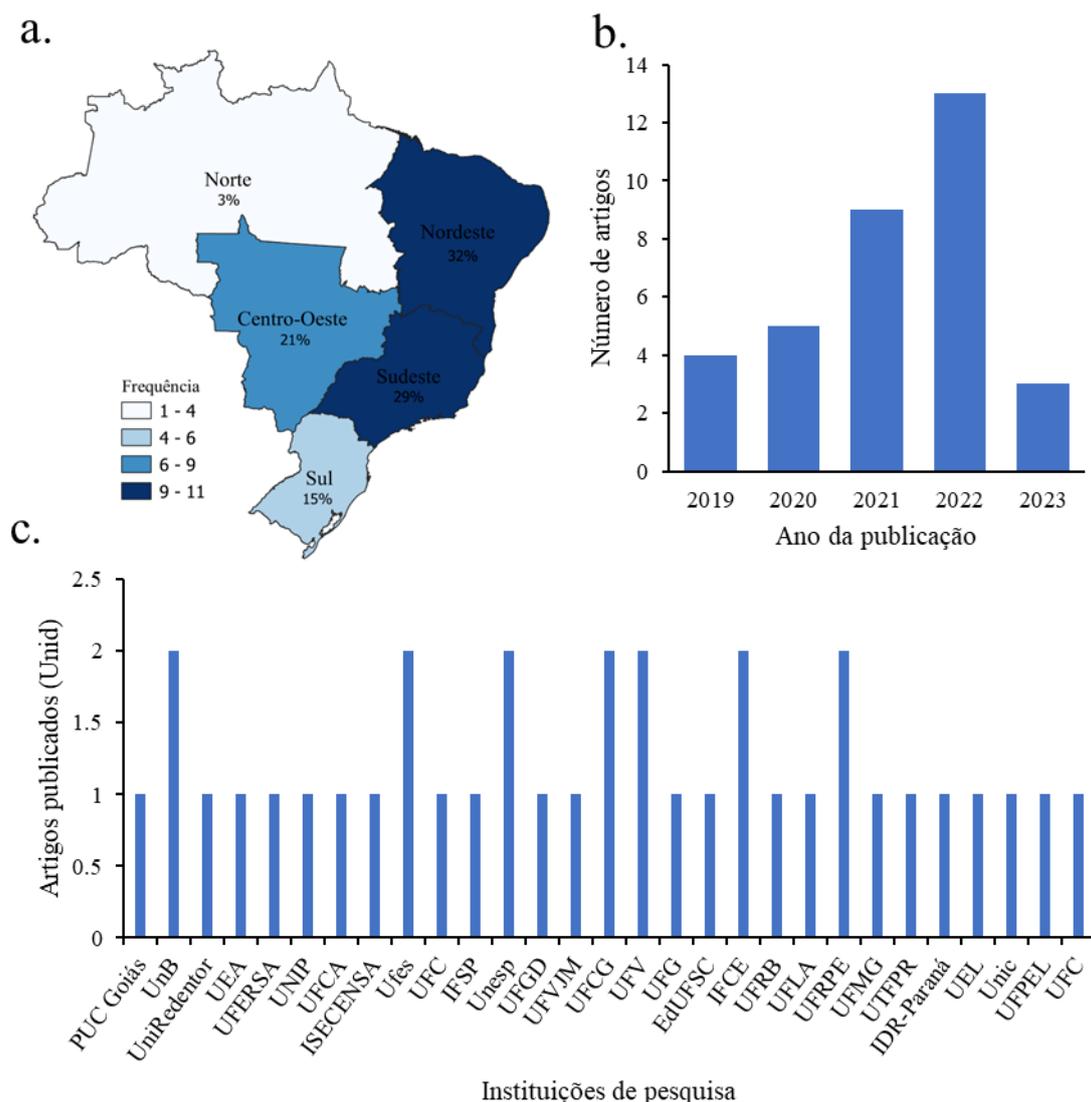


Figura 4. Distribuição dos artigos nas regiões do Brasil (a), de acordo com os anos de publicação (b) e das instituições de pesquisa (c), nos últimos 5 anos.

As maiores concentrações de publicações relacionadas ao emprego de Arduino na agricultura estão localizadas nas Regiões Nordeste e Sudeste, possivelmente como consequência da necessidade de aumentar o uso de instrumentação para monitoramento de fatores agroclimatológicos, principalmente nos últimos períodos em função dos efeitos das alterações climáticas, além do intuito de reduzir o preço de aquisição de dispositivos destinados a essas medições. Ademais, existe grande concentração de instituições de pesquisa e ensino que se debruçam sobre a temática e desejam alavancar a produção agrícola. As alterações climáticas vistas nos últimos

Figura 5. Nuvem de palavras com as palavras-chave dos artigos desenvolvidos no Brasil, repetidas com mais frequência.

Nesta análise de revisão, identificamos importantes ênfases nos estudos relacionados à água, automação, agricultura de precisão e irrigação. Esse resultado retrata a uma alta solicitação por progressos nesse cenário no Brasil, onde os recursos hídricos tornam-se cada vez mais escassos. Além disso, a automação representa uma necessidade essencial, pois por meio dela é possível intensificar a administração e a precisão no processo produtivo.

A automação de sistemas de irrigação é uma demanda crescente no Brasil, devido à procura por maior eficiência no uso de recursos hídricos e na otimização do processo de irrigação em diferentes culturas. Nesse sentido, o Arduino tem-se destacado como uma alternativa viável e acessível para implementar sistemas de automação (CARVALHO; MEDEIROS; GONÇALVES, 2021; LINO et al., 2017).

Os microcontroladores mais presentes nos artigos foram o Arduino Uno (37%), Arduino Mega (27%) e Arduino Nano (21%) (Figura 6).

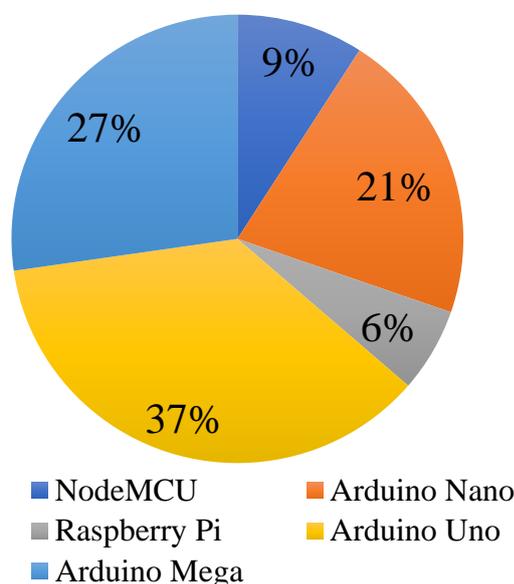


Figura 6. Principais microcontroladores constatados nos artigos desenvolvidos no Brasil

O Arduino Uno é uma placa microcontroladora das mais populares, acessível, fácil de usar. Contudo, limita-se em termos de armazenamento e performance

(RAMLI; JABBAR, 2022). O Arduino Mega possui recursos mais avançados e inclui maior capacidade de memória e densidade computacional. O Arduino Nano é uma versão reduzida do Arduino Uno, sendo por isso uma excelente opção para projetos em limitado espaço e possui menos pinos disponíveis (DURAN, 2022). O Raspberry Pi funciona como um computador de placa única e oferece alto desempenho juntamente com recursos como comunicações Wi-Fi e Bluetooth (CHIGWADA et al., 2022; RAMLI; JABBAR, 2022). Ele é ideal para projetos que exigem maior poder de processamento e funcionalidades de computação, mas pode ser um pouco mais caro e complexo de configurar. O NodeMCU é uma placa de desenvolvimento que se beneficia do moderno chip ESP8266, unindo em sua estrutura a configuração Wi-Fi integrada e a simplicidade de utilização do Arduino, possibilitando a construção de projetos para a IoT (JAIN, 2023).

Projetos que se baseiam em Arduino, apresentam limitações em relação à comunicação, sendo necessário acoplar sensores de comunicação como Bluetooth ou Wi-Fi. Além disso, alguns projetos com microcontroladores, tipo nodeMCU e Raspberry Pi, que já possuem placas Wi-Fi acopladas, frequentemente não conseguem avançar para o controle remoto (CARVALHO; MEDEIROS; GONÇALVES, 2021; CHIGWADA et al., 2022; MELO et al., 2019), entretanto, em diversas situações, não há avanço nos projetos para uso remoto. Considerando isso, torna-se necessário progredir neste setor de controle remoto para a agricultura, incluindo irrigação, climatização de galpões e gado. Para resultados mais rápidos, é imprescindível a colaboração entre departamentos das universidades e institutos. No estudo em questão, 80% dos trabalhos foram totalmente elaborados na área de Ciências Agrícolas, com apenas 20% interagindo na área de Ciência da Computação. Logo, observa-se a necessidade de maior integração entre as áreas para melhoria dos protótipos e dos produtos relacionados à agronomia.

A Revolução Eletrônica é, atualmente, uma realidade em nosso tempo e evidencia-se um movimento na maneira como a sociedade engaja-se com a informação. Todavia, o professor, que frequentemente não tem uma qualificação adequada, necessita estar integrado com as inúmeras linguagens tecnológicas (plataformas de hardware e software, recursos audiovisuais e redes sociais) a fim de se transformarem em mediadores efetivos na obtenção de conhecimento com os alunos cada vez mais conectados a essas tecnologias (MARIANO, 2022a). Esta

interação com a variedade de linguagens de programação seria benéfica se integrada na montagem de iniciativas direcionadas para o setor agropecuário.

A automatização de sistemas de irrigação desponta como uma das mais importantes abordagens nos trabalhos publicados, que empregam sensores controlados pela placa Arduino. Os componentes mais usualmente referidos foram o sensor de umidade do solo (LM393), os sensores de temperatura e umidade do ar (DHT22, DHT11) e o sensor de distância ultrassônico (HC-SR04). Estes elementos se destacam como os principais e mais mencionados na literatura científica brasileira nos últimos cinco anos de investigação de pesquisa no Brasil (Figura 7).

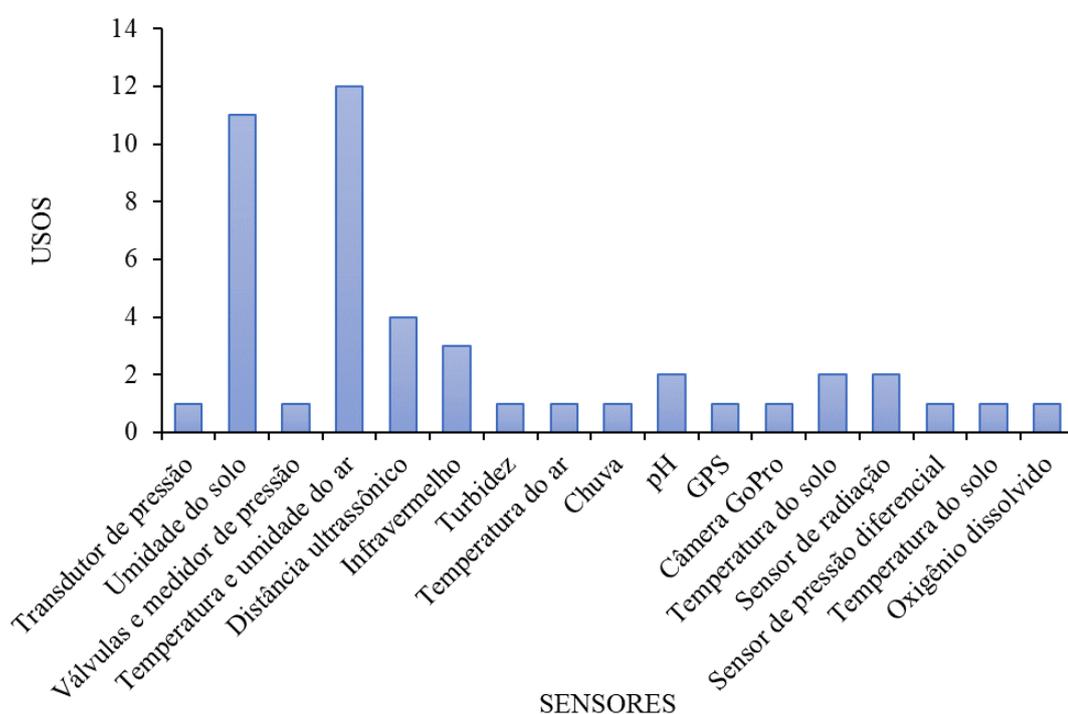


Figura 7. Principais sensores encontrados na pesquisa.

O controle da umidade do solo em cultivos agrícolas, por meio do monitoramento diário de sensores de umidade, pode se tornar tecnicamente praticável, conferindo a possibilidade de fazer uso de sondas capacitivas de notável excelência e representatividade para o acompanhamento desta variável (ANDRADE et al., 2022; MATOSO et al., 2021; VANDÔME et al., 2023).

Os sensores de temperatura e umidade do ar (DHT11 e DHT22) oferecem uma opção bastante importante para monitoramento climático e gestão de irrigação. Experiências demonstraram desempenhos satisfatórios desses sensores em

aplicações em campo (CARVALHO; MEDEIROS; GONÇALVES, 2021; MARIANO, 2022b; SANCHES et al., 2022).

Os sensores ultrassônicos em conjunto com o Arduino são amplamente empregados no monitoramento dos níveis em reservatórios e cursos de rios (PEREIRA et al., 2022). Nesta ocasião, pesquisadores podem personalizar sua aquisição e exibição de informações, minimizar gastos na obtenção de materiais e adquirir uma maior combinação de conhecimentos, ao serem utilizados para propósitos pedagógicos (MARIANO, 2022a).

Os sensores de infravermelho apresentam um elevado potencial para medição da radiação (PAULA et al., 2022) e concentração de biomassa de organismos biológicos, despontam como uma possibilidade futura (MELO et al., 2019).

Em relação ao período de experimentação, os artigos apresentaram uma mediana de 16 dias, o primeiro quartil 3 dias e o terceiro 77 dias. Uma análise evidencia testes em laboratório e situações reais de 365 dias (DALMAGRO et al., 2022), sem apresentar problemas. Em relação aos testes dos dispositivos, 88% evidenciaram avaliações práticas, 8% foram submetidos a uma análise de banca e 4% não realizaram testes, somente montagem dos componentes (Figura 8a). O acompanhamento do tempo durante a execução dos experimentos com os microcontroladores torna-se vital para criar credibilidade no uso desses dispositivos por parte dos pesquisadores. Isso fornece grandes oportunidades para utilização destes microcontroladores e sensores em âmbito real.

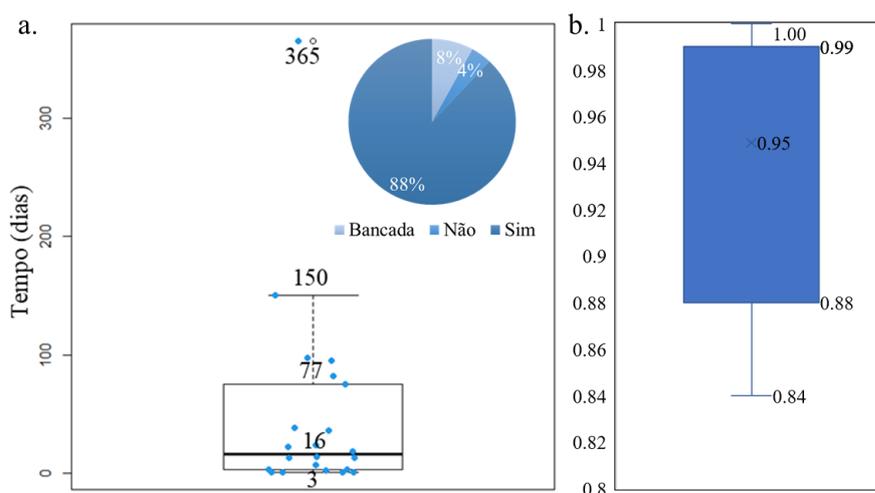


Figura 8. Tempo e tipo de experimentação dos microcontroladores (a) e box-plot dos coeficientes de determinação obtidos (b).

A calibração dos sensores apresentou excelentes resultados, sendo que a variação de 0,84 até 1 deu origem a coeficientes de determinação elevados (Figura 8b). A mediana de 0,95 demonstra uma alta precisão dos sensores (Figura 8b).

Apesar do ambiente ser dinâmico, o emprego de sensores de custo reduzido tem trazido resultados satisfatórios, tal como a leitura de umidade do solo, que foi calibrada com um R^2 de 0,97 em conexão sem fio e sonda capacitiva (VANDÔME et al., 2023) e 0,98 (ANDRADE et al., 2022).

A calibração de sensores de umidade do solo (VANDÔME et al., 2023) e ultrassônicos torna-se fundamental para aumentar a exatidão dessas medições, pois, em casos específicos, necessita ser avaliada levando em conta a oscilação do ambiente (PEREIRA et al., 2022).

Apesar da importância, apenas 43% dos artigos relataram ter realizado a calibração dos sensores. Dentre os sensores calibrados, 50% foram de umidade do solo e 30% de temperatura e umidade do ar. A ausência de dados em relação à calibração pode ser descrita como falta de interação interdisciplinar entre os pesquisadores, de forma que possa melhorar o procedimento de desenvolvimento dos dispositivos.

Outro ponto crucial, em situações de leituras de umidade do solo, a medição da condutividade elétrica é essenciais para melhorar a precisão (COELHO; VELLAME; COELHO FILHO, 2005). Essa questão não foi observada em nenhum artigo avaliado.

O uso do Arduino como uma solução para numerosas necessidades de gestão em atividades agrícolas no Brasil, apresenta variadas vantagens, como custo reduzido, flexibilidade e capacidade de integração com outros equipamentos. No entanto, é essencial avaliar minuciosamente as necessidades do projeto antes de tomar uma determinação, e quando possível, aumentar a interação entre diversos campos de estudo para aprimorar a qualidade dos produtos atrelados ao uso de arduino na agricultura. Além disso, a calibração se transforma num processo fundamental para fomentar os progressos com uso de sensores de baixo custo na agricultura

4. CONCLUSÕES

Verificou-se um considerável incremento no número de artigos abordando a aplicação do Arduino na agricultura, os quais têm desfrutado de ampla aceitação em periódicos científicos de alta relevância.

As regiões Nordeste e Sudeste evidenciaram-se em termos de produção de artigos concernentes à utilização do Arduino na agricultura.

As principais temáticas investigadas estão correlacionadas à água, ao manejo de água na agricultura, automação e irrigação.

Os microcontroladores integrados com conectividade Wi-Fi são uma minoria entre os artigos avaliados, o que acarreta uma limitação para o progresso da comunicação e da Internet das Coisas.

Os sensores que mais se destacaram foram os de umidade do solo, temperatura e umidade do ar, além do sensor ultrassônico.

Foram observadas correlações significativas nas calibrações dos sensores, demonstrando um potencial promissor desses sensores controlados por microcontroladores em aplicações práticas nas atividades agropecuárias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. I. F. et al. Photosynthetic efficiency and root plasticity promote drought tolerance in coffee genotypes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, n. 11, p. 109, 6 nov. 2022.

ARAÚJO, G. P. et al. A low-cost monitoring system of stem water content: Development and application to Brazilian forest species. **Smart Agricultural Technology**, v. 1, p. 100012, dez. 2021.

BARBOSA, R. C.; SOARES, J.; ARÊDES MARTINS, M. Low-cost and versatile sensor based on multi-wavelengths for real-time estimation of microalgal biomass concentration in open and closed cultivation systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 176, p. 105641, set. 2020.

BAZZI, C. L. et al. Yield map generation of perennial crops for fresh consumption. **Precision Agriculture**, v. 23, n. 2, p. 698–711, 13 abr. 2022.

BODUNDE, O. P. et al. Architectural design and performance evaluation of a ZigBee technology based adaptive sprinkler irrigation robot. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 160, p. 168–178, maio 2019.

BRAZ, É. C. et al. Temperature Impact on *Telenomus podisi* Emergence in Field Releases of Unprotected and Encapsulated Parasitoid Pupae. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 3, p. 462–469, 10 jun. 2021.

CAMPOS, H. DE M. et al. Low-cost open-source platform for irrigation automation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 190, p. 106481, nov. 2021.

CARVALHO, A. A.; MEDEIROS, V. W. C. DE; GONÇALVES, G. E. Aplicação de sensores de baixo custo na estimativa da evapotranspiração potencial. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 6, n. 2, p. 119–127, 14 abr. 2021.

CARVALHO, A. A. DE et al. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 15–23, jan. 2020.

CHIGWADA, J. et al. Remote poultry management system for small to medium scale producers using IoT. **Scientific African**, v. 18, p. e01398, nov. 2022.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 475–480, dez. 2005.

COLOMBO, F. C. et al. Emergence Response of *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Scelionidae) to Field Temperature Originated from Colonies Reared at Different Temperature Regimes. **Neotropical Entomology**, 1 mar. 2023.

COMPAGNONI, M. Is Extended Producer Responsibility living up to expectations? A systematic literature review focusing on electronic waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 367, p. 133101, set. 2022.

CUNHA, M. S. S. **Gerência e automação de irrigação de plantio com a utilização de arduino**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2022.

DALMAGRO, H. J. et al. Net carbon dioxide exchange in a hyperseasonal cattle pasture in the northern Pantanal wetland of Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 324, p. 109099, set. 2022.

DE ALMEIDA, C. D. G. C. et al. Assessing different methodologies for irrigation scheduling in protected environment: a case study of green bell pepper. **Irrigation Science**, v. 41, n. 1, p. 107–120, 2 jan. 2023.

DURAN, E. Arduino Nano Tabanlı Bir Eğitim Robotu Geliştirilmesi: myNanoBot. **Bilişim Teknolojileri Dergisi**, v. 15, n. 1, p. 25–33, 31 jan. 2022.

FERREIRA-ALTHMAN, M. P. et al. Monitorando a oscilação vertical de barras de pulverização através de um Sistema Eletrônico. **Revista Tecnologia em Marcha**, 27 fev. 2020.

GAIKWAD, S. V. et al. An innovative IoT based system for precision farming. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 187, p. 106291, ago. 2021.

GARBOSSA, L. H. P.; NOVAES, A. L.; LAPA, K. R. **Low-Cost Automation for Hydrological Monitoring in Water Resources Management**. The 4th International Electronic Conference on Water Sciences. **Anais...**Basel Switzerland: MDPI, 12 nov. 2019.

GONZÁLEZ, I.; CALDERÓN, A. J. Integration of open source hardware Arduino platform in automation systems applied to Smart Grids/Micro-Grids. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 36, p. 100557, dez. 2019.

GONZÁLEZ-BUESA, J.; SALVADOR, M. L. An Arduino-based low cost device for the measurement of the respiration rates of fruits and vegetables. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 14–20, jul. 2019.

JAIN, R. K. Experimental performance of smart IoT-enabled drip irrigation system using and controlled through web-based applications. **Smart Agricultural Technology**, v. 4, p. 100215, ago. 2023.

JUNIOR, A. A.; DA SILVA, T. J. A.; ANDRADE, S. P. Smart IoT lysimetry system by weighing with automatic cloud data storage. **Smart Agricultural Technology**, v. 4, p. 100177, ago. 2023.

KAST, E. J. et al. The RootScope: a simple high-throughput screening system for quantitating gene expression dynamics in plant roots. **BMC Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 158, 12 dez. 2013.

KUMAR, K. A.; KARTHIKEYAN, J. Review on implementation of IoT for environmental condition monitoring in the agriculture sector. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 13, n. 1, p. 183–200, 1 jan. 2022.

LEAL-ALVES, D. C. et al. Seasonal water table dynamics and effects of a rising sea-level in the low-lying sandy coast of Cassino Beach, southern Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 50, p. 102157, fev. 2022.

LEE, Y.-C.; HO, M.-C.; CHANG, J.-C. Re-identification of non-facultative crassulacean acid metabolism behavior for red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) micropropagules in vitro using an Arduino-based open system. **Scientia Horticulturae**, v. 309, p. 111646, fev. 2023.

LINO, D. R. et al. Irrigação automatizada com plataforma de desenvolvimento Arduino na horta didática da Universidade Federal Do Ceará. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 85–93, 2 out. 2017.

MARIANO, E. DE F. Comparação de dados coletados com termo-higrômetro comercial e com sensor DHT-11 associado a uma placa Arduino e seu potencial de uso em pesquisa e ensino de ciências. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e30611427329, 19 mar. 2022a.

MARIANO, E. DE F. Comparação de dados coletados com termo-higrômetro comercial e com sensor DHT-11 associado a uma placa Arduino e seu potencial de uso em pesquisa e ensino de ciências. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e30611427329, 19 mar. 2022b.

MARQUES FILHO, A. C.; RODRIGUES, J. P.; DAL PONTE, G. B. PLATAFORMA ARDUINO APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE COLETA DE DADOS MICRO-AMBIENTAIS EM CASAS DE VEGETAÇÃO. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 2, p. 190–206, 31 ago. 2021.

MATOSO, E. S. et al. Sugarcane is Less Impacted by Water Deficit using a Mixture of Five Diazotrophs Bacteria. **Sugar Tech**, v. 23, n. 6, p. 1284–1294, 22 dez. 2021.

MCCAUELY, D. M.; NACKLEY, L. L. Development of mini-lysimeter system for use in irrigation automation of container-grown crops. **HardwareX**, v. 11, 2022.

MCGRANAHAN, D. A. FeatherFlame: An Arduino-Based Thermocouple Datalogging System to Record Wildland Fire Flame Temperatures in Agris. **Rangeland Ecology & Management**, v. 76, p. 43–47, maio 2021.

MELO, M. et al. Development of a Robotic Airboat for Online Water Quality Monitoring in Lakes. **Robotics**, v. 8, n. 1, p. 19, 7 mar. 2019.

OBAIDEEN, K. et al. An overview of smart irrigation systems using IoT. **Energy Nexus**, v. 7, p. 100124, set. 2022.

OLIVEIRA, G. H. B. DE et al. Protótipo de baixo custo utilizando plataforma arduino para análise de turbidez e condutividade da água. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 4, 18 out. 2021.

PACHECO, J. C. C. et al. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento automatizado de baixo custo para sistema biológico de tratamento de efluentes por lagoa anaeróbia. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 8, p. 14818–01e, 27 out. 2022.

PAL, A.; DUBEY, S. K.; GOEL, S. IoT enabled microfluidic colorimetric detection platform for continuous monitoring of nitrite and phosphate in soil. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 195, p. 106856, abr. 2022.

PAULA, R. R. et al. Exploring the forestry potential of two legume species with contrasting ecological strategies in a seasonally dry tropical region. **Trees**, v. 36, n. 4, p. 1413–1424, 10 ago. 2022.

PEREIRA, F. A. L. et al. AUTOMAÇÃO DE PRECISÃO UTILIZANDO ARDUINO E INVERSOR DE FREQUÊNCIA APLICADO A SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR VÁLVULAS. **IRRIGA**, v. 25, n. 1, p. 27–37, 19 mar. 2020a.

PEREIRA, R. M. et al. Automation of irrigation by electronic tensiometry based on the arduino hardware platform. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 15, n. 4, p. 1, 28 jul. 2020b.

PEREIRA, T. S. R. et al. Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5512, 4 maio 2022.

PRAMANIK, M. et al. Automation of soil moisture sensor-based basin irrigation system. **Smart Agricultural Technology**, v. 2, n. December 2021, p. 100032, 2022.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2021.

RAMADAN, K. M. et al. Design and implementation of a low cost photovoltaic soil moisture monitoring station for irrigation scheduling with different frequency domain analysis probe structures. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 148, n. March 2017, p. 148–159, 2018.

RAMLÍ, R. M.; JABBAR, W. A. Design and implementation of solar-powered with IoT-Enabled portable irrigation system. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, v. 2, p. 212–225, 2022.

RIBEIRO, R. R.; BAUER, E.; LAMEIRAS, R. HIGROTERM: An Open-Source and Low-Cost Temperature and Humidity Monitoring System for Laboratory Applications. **Inventions**, v. 6, n. 4, p. 84, 15 nov. 2021.

SANCHES, A. C. et al. Low-cost and high-efficiency automated tensiometer for real-time irrigation monitoring. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 390–395, maio 2022.

SANTOS, I. M. et al. Computational simulation of wireless sensor networks for pesticide drift control. **Precision Agriculture**, 2 mar. 2014.

SELVARAJ, S. K. et al. Wireless nanosensor network for irrigation control. Em: **Nanosensors for Smart Agriculture**. [s.l.] Elsevier, 2022. p. 463–478.

SIDHU, R. K. et al. Automation in drip irrigation for enhancing water use efficiency in cereal systems of South Asia: Status and prospects. Em: [s.l.: s.n.]. p. 247–300.

SPINELLI, G. M.; GOTTESMAN, Z. L. A low-cost Arduino-based datalogger with cellular modem and FTP communication for irrigation water use monitoring to enable access to CropManage. **HardwareX**, v. 6, p. e00066, 2019.

TARGINO, I. F. et al. Sistema de baixo custo para monitoramento remoto da qualidade da água. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 665–680, 28 maio 2021.

TORRES, A. B. B. et al. Multilevel data fusion for the internet of things in smart agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 171, p. 105309, abr. 2020.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, set. 2003.

VANDÔME, P. et al. Making technological innovations accessible to agricultural water management: Design of a low-cost wireless sensor network for drip irrigation monitoring in Tunisia. **Smart Agricultural Technology**, v. 4, p. 100227, ago. 2023.

VEGA, F. A. O. et al. Assessment of black globe thermometers employing various sensors and alternative materials. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 284, p. 107891, abr. 2020.

VIJ, A. et al. IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System. **Procedia Computer Science**, v. 167, p. 1250–1257, 2020.

WU, M. et al. Root xylem in three woody angiosperm species is not more vulnerable to embolism than stem xylem. **Plant and Soil**, v. 450, n. 1–2, p. 479–495, 20 maio 2020.

ZHANG, Z. et al. Improved premixing in-line injection system for variable-rate orchard sprayers with Arduino platform. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 389–396, jul. 2019.