

## IoT na irrigação agrícola: uma revisão sistemática de literatura

Márcio José Araújo, Marcieli de Paula Langer, Cláudio Leones Bazzi

**Resumo:** A água é um recurso indispensável para a produção agrícola, e, devido ao crescimento populacional, às intervenções do homem no meio-ambiente e à demanda por alimentos, é cada vez mais importante que seja utilizada de forma racional. A aplicação de tecnologias computacionais no campo agrícola mostra-se uma eficiente ferramenta para a otimização de recursos hídricos. A utilização de sensores de características do solo, conectados a atuadores e à Internet, permite o monitoramento e controle das variações da umidade no solo. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre o uso dessas tecnologias como ferramenta para auxiliar na irrigação agrícola. A partir de 2017, houve aumento considerável na quantidade de trabalhos publicados sobre o tema em questão. O país que mais contribui com pesquisas para o uso racional da água, no período analisado, é a Índia, e a técnica mais utilizada é o uso de redes de sensores sem fio.

**Palavras chave:** Irrigação inteligente, Sensores sem fio, *Smart farming*.

### IoT in agricultural irrigation: A Systematic Review

**Abstract:** Water is an indispensable resource for agricultural production and due to population growth, human intervention in the environment and the demand for food, it is increasingly important that it be used rationally. The use of computational technologies in the agricultural field proves to be an efficient tool for the water resources optimization. The use of soil characteristic sensors, connected to actuators and the Internet, allows to monitoring and control soil moisture variations. This paper presents a systematic literature review about the use of these technologies as a tool to assist in agricultural irrigation. From 2017 onwards, there has been a considerable increase in the number of papers published spotlighted topic. The country that most contributes to research on the rational use of water over the period analyzed is India, and the most widely used technique is the use of wireless sensor networks (WSN).

**Key-words:** Smart Irrigation, Wireless Sensors, Smart farming

#### 1. Introdução

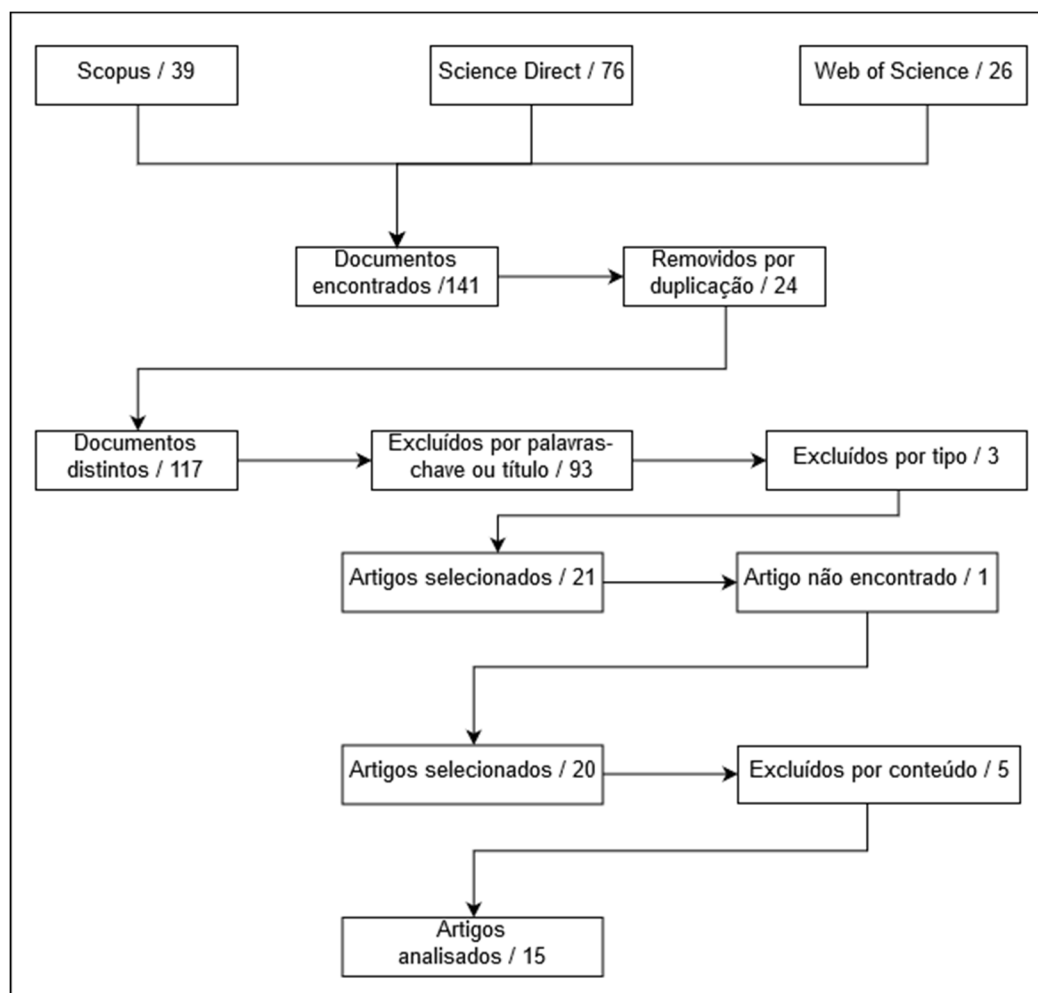
A agricultura é o principal produtor de alimentos, e é uma das principais forças que alavancam a economia de um país. O aumento da demanda por alimentos impulsiona a necessidade de elevar a produção agrícola. O setor agrícola está cada vez mais agregando recursos tecnológicos para reduzir custos e aumentar a produtividade. A partir da implantação de sensores e atuadores, os agricultores têm acesso a recursos para monitorar e controlar vários fatores importantes em seus sistemas agrícolas. O conceito de Smart Farming visa não apenas a aumentar os benefícios financeiros dos agricultores e reduzir o risco de produção (BAKHTIARI e HEMATIAN, 2013) como também pretende atender às necessidades alimentares da comunidade mundial no futuro. Os modernos sistemas de irrigação com excelente desempenho mantêm menos consumo de água, garantindo máxima produtividade da colheita (KONTOGIANNIS, 2017).

A partir disso, este trabalho apresenta o estado da arte sobre o uso de tecnologias da Internet das Coisas, do inglês Internet of Things (IoT), por meio de uma revisão sistemática da

literatura. Traz respostas para as seguintes perguntas de pesquisa: “Quais são as principais tecnologias estudadas para irrigação inteligente utilizando dispositivos IoT?” (Q1); “Quais são os principais benefícios da implementação de soluções IoT para irrigação agrícola?” (Q2); e “Quais características do solo ou do ambiente podem ser utilizadas para acionar um sistema de irrigação?” (Q3). A fim de responder a essas perguntas, uma pesquisa foi realizada e os resultados foram agrupados de acordo com a afinidade ao tema proposto.

## 2. Materiais e Métodos

A revisão sistemática da literatura (RSL) apresentada é realizada por meio da aplicação das diretrizes propostas por Kitchenham e Charters (2007) sobre o uso de IoT como ferramenta para auxiliar ou realizar a irrigação agrícola. Esta revisão orienta-se pelas perguntas da pesquisa mencionadas na introdução. Para selecionar o conjunto de artigos abordados aqui, bem como para garantir a consistência e o rigor adequados e a possibilidade de replicação, a pesquisa segue alguns passos sequenciais. A sequência das etapas descritas no próximo parágrafo e o número de itens encontrados em cada etapa são apresentados na Figura 1.



Fonte: Autoria própria.

Figura 1: Passos executados para a seleção dos artigos.

Foram escolhidos três bancos de dados de trabalhos acadêmicos, acessíveis via Internet: Scopus, Science Direct e Web of Science. Eles hospedam todos os periódicos relevantes indexados ao Journal Citation Reports (JCR). Utilizaram-se dois termos para a consulta: “*smart farming*” e *irrigation*. Dessa forma, esperava-se que a busca retornasse apenas artigos cujo

título, *abstract* ou palavras-chave contivessem ao menos um dos dois termos. A pesquisa foi realizada no dia 27 de agosto de 2019, e o ano de publicação mais antigo dos artigos retornados foi 2016. Os critérios de exclusão foram: (i) artigos repetidos, (ii) artigos cujo título e palavras-chave não contivessem nenhuma das palavras: *water*, *irrigation* ou *moisture*, e (iii) artigos que eram revisão de literatura ou capítulo de livro. Isso posto, foi necessário realizar o *download* dos arquivos, um deles estava com seu *link* indisponível, gerando assim o item (iv) arquivos não encontrados. Finalmente, foram lidos os resumos e resultados, para análise do último critério de exclusão (v) artigos em que o conteúdo dos trabalhos relatados não fazia menção ao uso de IoT.

Não é objetivo do artigo proposto detalhar os trabalhos relatados nos documentos revisados, mas sim propiciar uma descrição satisfatória que permita a identificação das tendências e dos avanços na utilização dos recursos investigados.

Os artigos selecionados foram inteiramente lidos, para que os resultados pudessem ser analisados.

### 3. Resultados e Discussão

Os trabalhos sobre pesquisas que abordam IoT na irrigação agrícola estão cada vez mais presentes a partir de 2017. O Quadro 1 apresenta os artigos incluídos nesta revisão, ordenados por ano de publicação. Os artigos também são identificados de acordo com o nome do suporte e do país de origem.

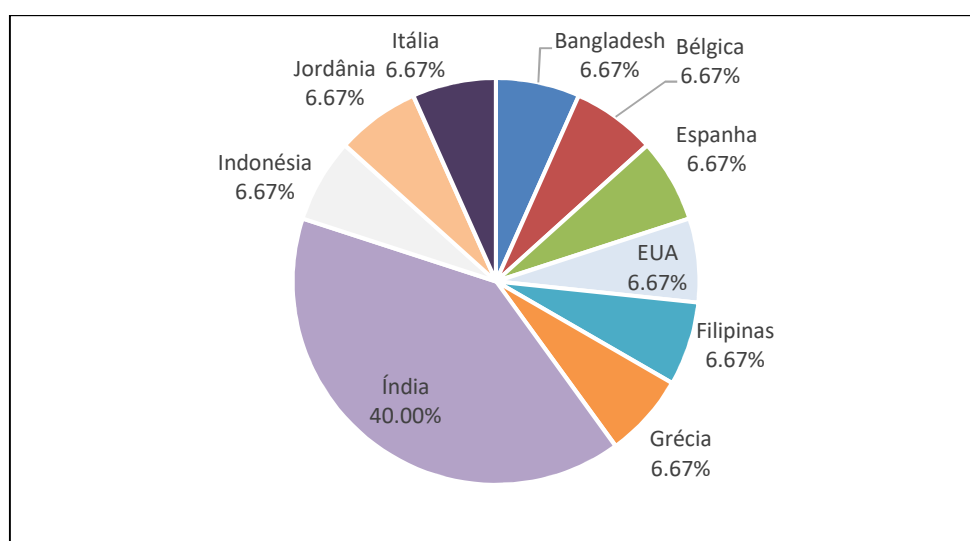
AUTOR	ANO	SUORTE DA PUBLICAÇÃO	PAÍS
Bhattacharyya et al.	2020	Lecture Notes in Electrical Engineering	Índia
Nawandar & Satpute	2019	Computers and Electronics in Agriculture	Índia
Maha et al.	2019	1st International Conference on Robotics Electrical and Signal Processing Techniques	Bangladesh
Mekonnen et al.	2019	GHTC 2018 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference Proceedings	EUA
AlZu'bi et al.	2019	Multimedia Tools and Applications	Jordânia
Pathan & Chakole	2019	International Journal of Engineering and Advanced Technology	Índia
Yadav & Daniel	2018	5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical Electronics and Computer Engineering	Índia
Kodali et al.	2018	4th International Conference on Computing Communication and Automation	Índia
Hate et al.	2018	International Conference on Smart City and Emerging Technology	Índia
Cambra et al.	2018	Sensors (Switzerland) 18	Espanha
Debauche et al.	2018	Proceedings - 2018 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking	Bélgica
Kamelia et al.	2018	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	Indonésia
Culibrina & Dadios	2018	Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering 10 (1)	Filipinas
Karagiovanidis et al.	2018	Rivista di Studi sulla Sostenibilita	Itália
Kokkonis et al.	2017	FUTURE INTERNET	Grécia

Fonte: Autoria própria.

Quadro 1: Artigos por ano, suporte e país de origem dos artigos selecionados.

Nota-se que a maioria dos artigos foi publicada em 2018, todavia, a pesquisa foi realizada no início do segundo semestre de 2019, que pode ter influenciado na menor quantidade de artigos selecionados para esse ano. Quanto ao suporte de publicação, 6 (40%) artigos foram publicados em revistas, ou outros 9 (60%) em anais de eventos. Já, em se tratando da contribuição por país de origem, a Índia, conforme a Figura 2, é o que mais contribui, com 40% dos trabalhos selecionados.

Dentre os trabalhos analisados produzidos na Índia, Bhattacharyya et al. (2020) e Nawandar & Satpute (2019) relatam, na introdução, o crescimento populacional na região como fator preocupante à subsistência. Já o trabalho de Pathan & Chakole (2019) diz que 70% da população indiana depende direta ou indiretamente da agricultura, a qual emprega 58% da população ativa. Além disso, o último artigo destaca que, em algumas regiões, o fracasso na colheita é uma das principais razões para suicídios em massa de agricultores em todo o país.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Representatividade por país em que o trabalho foi desenvolvido.

A utilização de recursos de IoT em sistemas de irrigação agrícola pode ser aplicada de diversas formas. Na Tabela 2, os artigos selecionados aparecem classificados de acordo com as principais técnicas mencionadas na metodologia e também pelo objetivo de cada trabalho. A partir desse quadro, foi possível gerar os gráficos, presentes nas Figura 3 e 4, que respondem respectivamente às questões Q1 (“Quais são as principais tecnologias utilizadas para irrigação inteligente utilizando dispositivos IoT”) e Q2 (“Quais são os principais benefícios da implementação de soluções IoT para irrigação”).

Autor	Ano	Técnica utilizada	Objetivo do trabalho
<b>Bhattacharyya et al.</b>	2020	Braço robótico para fornecer água e fertilizante para diferentes zonas do campo	Propor o controle automático baseado na zona agrícola da umidade e macronutrientes do solo, para que o desperdício de água e fertilizantes seja reduzido se torne mais ecológico.
<b>Nawandar &amp; Satpute</b>	2019	Tomada de decisão por rede neural e visualização remota de dados usando MQTT e HTTP para manter	Desenvolver um sistema inteligente e autônomo, de baixo custo, para irrigação inteligente usando IoT.

o usuário informado sobre a situação atual da colheita.

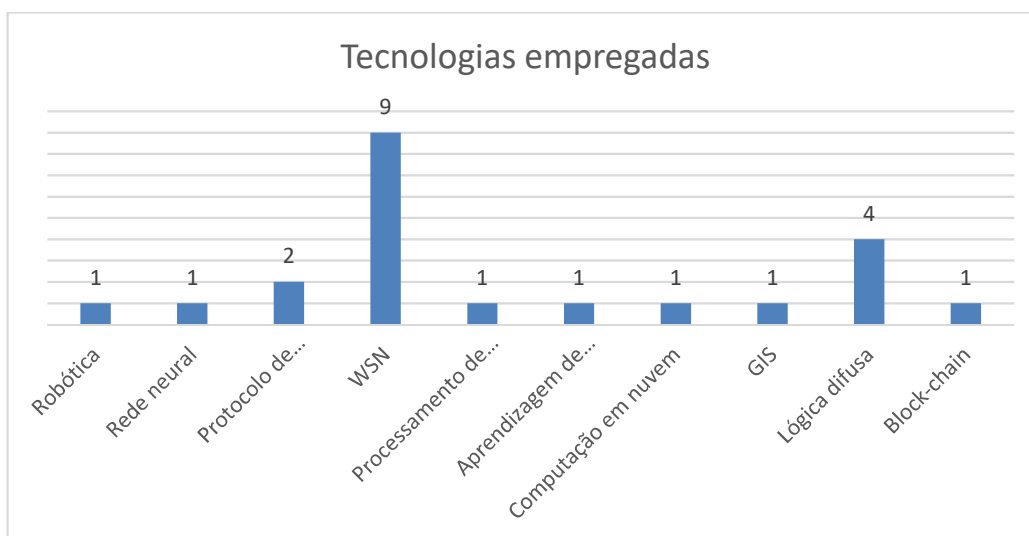
Autor	Ano	Técnica utilizada	Objetivo do trabalho
Maha et al.	2019	Sistema de sensor inteligente suportado por atuadores para automatizar a agricultura	Utilizar a automação para todas as etapas da agricultura fornecendo um sistema automatizado de agricultura inteligente.
Mekonnen et al.	2019	Sistema de irrigação inteligente automatizado que usa dados em tempo real de redes de sensores sem fio para agendar uma irrigação	Apresentar o design e a implementação de um protótipo de fazenda inteligente para investigar e modelar o consumo de energia, água e alimentos no futuro.
AlZu'bi et al.	2019	Processamento de imagem com sensores IOT e métodos de aprendizado de máquina para tomar a decisão de irrigação	Detectar o nível de sede de plantas na agricultura inteligente
Pathan & Chakole	2019	Sensores de umidade, temperatura e umidade do solo detectam a necessidade de água do solo	Mitigar e fornecer uma solução econômica para resolver problemas de escassez hídrica.
Yadav & Daniel	2018	Lógica difusa	Levar a agricultura inteligente para um crescimento efetivo da agricultura na Índia.
Kodali et al.	2018	Sensores de umidade e computação em nuvem	Estimar de forma precisa a umidade do solo.
Hate et al.	2018	Sensores usados aqui são umidade do solo, umidade e nível de água e sensor de temperatura	Projetar uma rede inteligente de sensores sem fio para monitorar um ambiente agrícola.
Debauche et al.	2018	Sistema de automação baseado na Internet das Coisas (IoT), Sistema de Informações Geográficas (GIS)	Automatizar o consumo de água de grão fino sem diminuir o rendimento.
Cambra et al.	2018	Sensor de pH auto-calibrável conectado a uma WSN	Detectar e ajustar os desequilíbrios nos níveis de pH da solução nutritiva usada na agricultura hidropônica.
Kamelia et al.	2018	Sensor de umidade conectado a uma WSN	Implementar um sistema automático de cultivo monitorando e controlando a umidade do solo.
Culibrina & Dadios	2018	Lógica difusa para controle de irrigação	Otimizar sistema de irrigação agrícola.
Karagiovanidis et al.	2018	Sensores para bombeamento de água	Otimizar sistema de irrigação agrícola.
Kokkonis et al.	2017	Algoritmo de decisão Neuro-Fuzzy	Desenvolver sistemas de irrigação autônoma.

Fonte: A autoria própria.

Tabela 2: Técnicas empregadas e objetivos dos trabalhos analisados.

Nota-se, na Figura 3, que a tecnologia mais empregada é a utilização de WSN. Além disso, a utilização de lógica difusa (lógica-*fuzzy*) também aparece em boa parte dos trabalhos como forma de resolver problemas na irrigação inteligente. Entretanto, a tecnologia IoT pode ser aplicada na irrigação agrícola por meios diversos.

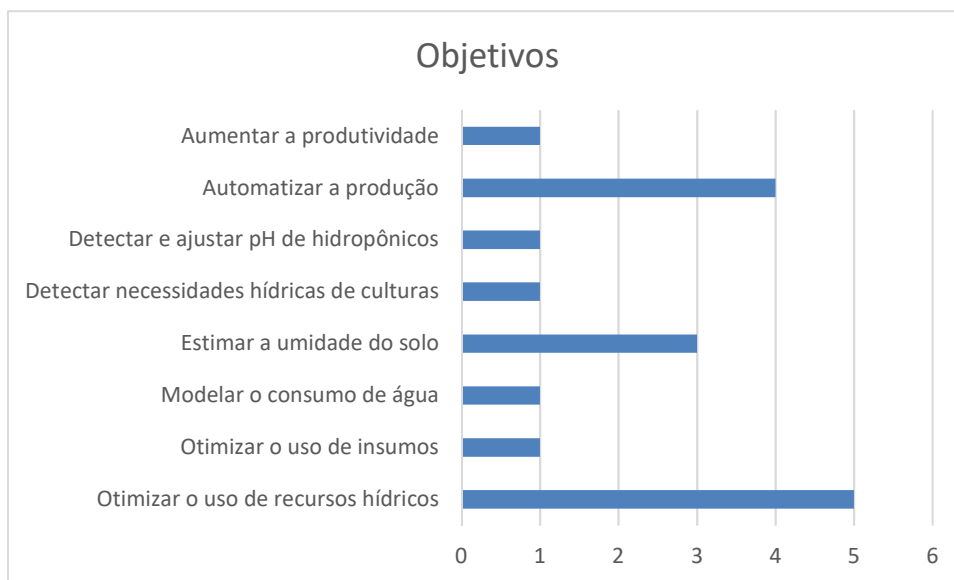
Nos trabalhos que fazem uso de WSN, 4 deles utilizam o padrão *wi-fi* (AlZu'bi et al., 2019; Pathan & Chakole, 2019; Kodali et al., 2018; e Kamelia et al., 2018), 3 utilizam o ZigBee (Maha et al., 2019; Mekonnen et al., 2019; e Pathan & Chakole). Cambra et al. fizeram uso do padrão GFSK, acessível pelo módulo NRF24L01. Os trabalhos de Hate et al. (2018) e Kamelia et al. (2018) não mencionam o padrão de comunicação *wireless* utilizado.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3: Tecnologias abordadas pelos artigos selecionados.

A Figura 4 evidencia que a maioria dos trabalhos tem como um de seus objetivos otimizar o uso de recursos hídricos. O principal problema que tem soluções propostas por parte dos trabalhos é a escassez de água, seguido da automatização da produção e da estimativa da umidade do solo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Objetivos propostos nos artigos analisados.

### 3.1 Acionamento do sistema de irrigação

Este tópico responde à questão Q3 (“Quais características do solo ou do ambiente podem ser utilizadas para acionar um sistema de irrigação?”).

Os trabalhos selecionados possuem características variadas quanto ao modo de acionamento

do sistema de irrigação. Todavia, 6 dos 15 artigos selecionados utilizam a leitura da umidade do solo como único parâmetro para acionamento do sistema de irrigação. Nos artigos de Bhattacharyya et al. (2018), Kamelia et al. (2018) e Kodali et al. (2018), aciona-se automaticamente o sistema de irrigação, conforme o resultado da leitura de sensores de umidade de solo. Hate et al. (2018) também levam em conta apenas a umidade do solo em seu trabalho, entretanto, não há acionamento automático, o sistema por eles apresentado envia, por canal GSM, um alerta para usuários cadastrados quando a umidade do solo não está adequada. O trabalho de Debauche et al. (2018) diferencia-se pela leitura em diferentes profundidades (20, 30 e 50 cm), para controlar se a quantidade de água calculada está correta ou deve ser ajustada. O sistema verifica a necessidade de água 8 vezes por dia. Já AlZu'bi et al. (2019) propõem uma arquitetura híbrida, utilizando abordagens da Internet das Coisas Multimídia (IoMT) com conceitos de Machine Learning (ML), para irrigação em fazendas inteligentes. Isso resulta em um sistema de irrigação ideal, que reduz o desperdício de água e de mão de obra.

Em outros dois estudos foram adicionadas duas variáveis, além da umidade do solo, a temperatura e a umidade do ambiente. Nawandar & Satpute (2019) acionam automaticamente a irrigação, a partir dessas três variáveis, por meio de algoritmos de redes neurais. Já Yadav & Daniel (2018) apresentam um modelo de lógica difusa que calcula a necessidade de água e aciona o sistema de bombas, para manter a umidade do solo, a temperatura e a umidade da colheita.

Outra característica encontrada que influencia o sistema de irrigação é o fator pH. No trabalho de Maha et al. (2019) acionam-se os atuadores a partir das leituras de pH, umidade e temperatura do solo. Cambra et al. (2018) também descrevem a leitura de pH do solo, entretanto, objetivam neutralizar bicarbonatos, a fim de otimizar a funcionalidade da irrigação para aumentar a qualidade das culturas produzidas e apresentar informações sobre parâmetros e recomendações para apoiar a tomada de decisões.

A partir das leituras da luminosidade e temperatura do ambiente e do fluxo de água diário, Kokkonis et al. (2017) utilizam 5 tipos de algoritmos, baseados em lógica difusa, para tomar decisões sobre a irrigação, que ocorre de forma automática.

Dados de temperatura e umidade do ambiente, pressão atmosférica, pluviômetro, anemômetro, radiação solar, temperatura do solo, umidade do solo e umidade das folhas são coletados a cada intervalo de hora, no trabalho de Mekonnen et al. (2019) para, a partir de algoritmos de decisão, acionar ou não sistema de irrigação.

Finalmente, em Culibrina & Dadios (2018), além do controle de umidade do solo, o sistema de irrigação também controla a temperatura do cultivo de tomates.

## 5. Considerações Finais

O crescimento populacional e outros fatores provocados pela ação do homem na natureza suscitam a necessidade de novas tecnologias para que a água seja utilizada de forma racional, a fim de atender à demanda por alimentos. Esta revisão sistemática apresentou o estado da arte atual da utilização de tecnologias IoT como suporte a sistemas de irrigação agrícola e respondeu às três perguntas da pesquisa.

A tecnologia mais empregada para a realização da irrigação inteligente utilizando-se IoT é a implantação de WSN. Além disso, a algoritmos de lógica difusa também são objetos de estudo

de vários trabalhos com a finalidade de resolver problemas de irrigação. O fator mais comum para o acionamento de sistemas de irrigação agrícola é a umidade do solo. A principal motivação para implantar esses sistemas está em mitigar o problema de escassez da água. Outras duas aplicações também se destacam nesses estudos: a automatização da produção e a estimativa da umidade do solo.

## 6. Agradecimento

Agradecemos ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) o apoio financeiro para a execução desta pesquisa.

## Referências

ALZU'BI, S. E. A. An efficient employment of internet of multimedia things in smart and future agriculture. **Multimedia Tools and Applications**, p. 1-25, 2019.

BAKHTIARI, A. A.; HEMATIAN, A. Precision Farming Technology, Opportunities and Difficulty. **Int. J. Sci. Emerg. Technol. with Latest Trends**, v. 5, n. 1, p. 1–14, 2013.

BHATTACHARYYA, S. E. A. **Prototype Model for Controlling of Soil Moisture and pH in Smart Farming System**. Computational Advancement in Communication Circuits and Systems. Singapore: Springer. 2020. p. 405-411.

CAMBRA, C. E. A. Smart system for bicarbonate control in irrigation for hydroponic precision farming. **Sensors**, v. 18, n. 5, p. 1333, 2018.

CULIBRINA, F. B.; DADIOS, E. P. Fuzzy logic implementation for Power Efficiency and Reliable Irrigation System (PERIS) of tomatoes smart farm. **Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)**, v. 10, n. 1-6, p. 65-71, 2018.

DEBAUCHE, O. E. A. **Irrigation pivot-center connected at low cost for the reduction of crop water requirements**. International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet). [S.l.]: IEEE. 2018. p. 1-9.

HATE, M.; JADHAV, S.; PATIL, H. **Vegetable Traceability with Smart Irrigation**. International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET). [S.l.]: IEEE. 2018. p. 1-4.

KAMELIA, L. E. A. **Implementation of Automation System for Humidity Monitoring and Irrigation System**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [S.l.]: IOP Publishing. 2018. p. 012092.

KARAGIOVANIDIS, M.; FRAGOS, J. V.; ANDREOPOULOU, Z. Rural sustainability: Managing energy and water consumption using emerging technologies on irrigation pumps. **Rivista di studi sulla sostenibilita'**, 2018.

KODALI, R. K.; NIMMANAPALLI, K. P.; JYOTHIRMAY, S. **Micro: Bit Based IRRIGATION MONITORING**. 2018 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA). [S.l.]: [s.n.]. 2018. p. 1-3.



KONTOGIANNIS, S. E. A. Proposed fuzzy-NN algorithm with LoRaCommunication protocol for clustered irrigation systems. **Future Internet**, v. 9, n. 4, p. 78, 2017.

MAHA, M. M.; BHUIYAN, S.; MASUDUZZAMAN, M. **Smart Board for Precision Farming Using Wireless Sensor Network**. International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST). [S.l.]: IEEE. 2019. p. 445-450.

MEKONNEN, Y. E. A. **IoT Sensor Network Approach for Smart Farming: An Application in Food, Energy and Water System**. IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC). [S.l.]: IEEE. 2018. p. 1-5.

NAWANDAR, N. K.; SATPUTE, V. R. IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 979-990, 2019.

TARANNUM U. PATHAN, S. C. Sensor Based Smart Farming and Plant Diseases Monitoring. **International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)**, v. 8, p. 442-446, jan. 2019.

YADAV, R.; DANIEL, A. K. **Fuzzy Based Smart Farming using Wireless Sensor Network**. 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON). [S.l.]: IEEE. 2018. p. 1-6.