

Redes de sensores sem fio (WSN) em soluções IoT aplicadas à agricultura: uma revisão sistemática

Márcio José Araújo, Marcieli Paula Langer, Claudio Leones Bazzi, Gloria Patricia Lopez Sepulveda

Resumo: É notável a importância da automação de tarefas no setor agrícola, apesar disso, essa automação tem encontrado variados desafios na prática. Redes de sensores sem fio (WSN) são utilizadas para a coleta dos mais variados tipos de dados, consideráveis para as tomadas de decisões, entretanto, as dificuldades encontradas referem-se principalmente ao uso de tecnologias apropriadas aos cenários aplicados. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma revisão sistemática de literatura sobre a implementação de redes de sensores sem fio na agricultura, com enfoque em tecnologias utilizadas no meio rural. Como resultado, percebe-se uma diversidade de tecnologias disponíveis, mencionadas por diferentes autores, bem como a tendência de indicações da tecnologia ZigBee.

Palavras chave: Agricultura Inteligente, Agricultura de Precisão, Internet das Coisas

Wireless Sensor Networks (WSN) in IoT Solutions Applied to Agriculture: A Systematic Review

Abstract: The importance of task automation in the agricultural sector is remarkable, yet it has encountered several challenges in practice. Wireless sensor networks (WSN) are used to collect the most varied types of data, considered as decision captures, however, as identified difficulties mainly refer to the use of appropriate technologies to the programs used. In this sense, this paper presents a systematic review of the literature on the implementation of wireless sensor networks in agriculture, focusing on the technologies used in rural areas. As a result, there is a diversity of available technologies mentioned by different authors, as well as a trend towards indications of ZigBee technology.

Key-words: Smart Farm, Precision Agriculture, Internet of Things

1. Introdução

A agricultura e a pecuária e suas subáreas têm sido vistas atualmente e ao longo dos anos como precursoras de matéria-prima para a indústria, motivo pelo qual Gondchawar e Kawitkar (2016) ressaltam a importância do setor agropecuário e a preocupação com o fato de que diversos agricultores ainda utilizam mecanismos convencionais de produção, o que não permite atingir níveis de rendimento e produtividade otimizados. Assim, foi apontada a importância de se proporem soluções de automação no setor, em que parte dessas automações implicam o uso de uma rede de sensores sem fio (WSN - *Wireless Sensor Network*) que permite a coleta e a transmissão de dados, para apoio à tomada de decisões.

Para Suma et al. (2017), há uma tendência no uso de tecnologias e implementações computacionais nos mais diversos setores, incluindo-se o setor agrícola, o qual tem tido vasto número de trabalhos no segmento, dada sua importância econômica e ganhos financeiros e ambientais relacionados. Nesse sentido, os autores lembram ainda que as automações agrícolas não devem se restringir a monitorar as condições climáticas, pois elas não são as únicas responsáveis pelas restrições de produtividade. Como a produtividade corresponde à

resposta da cultura, sabe-se da necessidade e da viabilidade da aplicação de tecnologias computacionais, apesar de existirem inúmeros limitadores que freiam seu uso. Dentre esses problemas, está a dificuldade quanto à disponibilidade de energia elétrica no campo, em muitos casos, superada pelo uso de painéis fotovoltaicos. Ainda, a ausência de meios de comunicação por cabeamento físico, os locais insalubres, com temperaturas extremas e umidade bastante variável, além do relevo íngreme, em certos casos, fazem com que a transmissão de dados seja um grande empecilho para o uso de tecnologias.

Vistos os desafios dessa área, é essencial que a escolha de soluções seja assertiva, para que se possa viabilizar a transmissão de dados no campo. Dessa forma, as redes de sensores sem fio têm sido apresentadas como uma alternativa para realizar a comunicação entre os equipamentos no campo de forma eficiente, apesar de sua implementação necessitar ainda de estudos dirigidos quanto à definição de tecnologias e protocolos que irão compor a solução como um todo, visando a diversidade de ambientes e necessidades presentes no setor.

O objetivo desta pesquisa é comparar diferentes estudos realizados em torno de WSN aplicados à agricultura, a fim de avaliar a aplicabilidade das diferentes tecnologias de comunicação entre sensores disponíveis no mercado. A partir disso, como resultado espera-se responder aos seguintes questionamentos:

- a) Q1: Os estudos realizados nos últimos dez anos são capazes de indicar as tecnologias WSN aplicadas às soluções de IoT (do inglês *Internet of Things*, ou Internet das Coisas) na agricultura?
- b) Q2: Tais estudos sobre as tecnologias WSN são suficientes para direcionar outros pesquisadores quanto ao emprego correto de tecnologias e protocolos de rede eficientes nos principais cenários de IoT na agricultura?
- c) Q3: Os estudos disponíveis compreendem em sua metodologia comprovação de resultados por meio de aplicação real ou experimental?

2. Materiais e Métodos

A metodologia utilizada para estruturação e elaboração desta revisão sistemática segue a proposta de Kitchenham (2004), que utiliza como estratégia de pesquisa e seleção fontes de consulta, palavras-chave, idioma, período, tipos de trabalho, coerência do título e resumo com o tema e presença de tecnologias-chave no conteúdo dos trabalhos.

Para a seleção dos artigos, foram consideradas as bases de pesquisa, conforme o Quadro 1. As bases foram assim selecionadas, dada sua propriedade de indexar trabalhos de cunho científico de qualidade.

| Mecanismo de pesquisa | Endereço eletrônico |
|-----------------------|--|
| Science Direct | https://www.sciencedirect.com |
| Scopus | https://www2.scopus.com |
| Plataforma CAPES | www-periodicos-capes-gov-br |

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 1 – Relação de nome e endereço eletrônico das bases pesquisadas

Consideraram-se resultados no idioma inglês, por ser o idioma predominantemente utilizado na produção de conteúdos nas áreas de tecnologia computacional. As palavras-chave utilizadas para consulta também foram em inglês e inseridas em duas combinações, conforme o Quadro 2. Foi utilizada a expressão “AND” ou sua equivalência “Mais” (+) entre as palavras, para que os resultados considerassem ambas as palavras, e não apenas parte delas.

| Base de pesquisa | Combinação de palavras-chave |
|------------------|--|
| Science Direct | "Wireless sensor networks" WSN Agriculture |
| Scopus | "Wireless sensor networks" WSN Agriculture |
| Plataforma CAPES | "Wireless Sensor Network" Agriculture IoT |

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 2 – Combinações de palavras-chave utilizadas na pesquisa.

As palavras-chaves e suas combinações foram assim definidas, objetivando identificar as contribuições na literatura de outros autores, no que se refere à utilização e projeção de redes de sensores sem fio, suas tecnologias e estratégias utilizadas na aplicação de WSN em soluções IoT empregadas na agricultura.

Foi considerado o intervalo de tempo entre 2016 e 2020, com o intuito de selecionar resultados mais atualizados. O ano de 2020 foi considerado, pois se refere a trabalhos aceitos por periódicos com publicação prevista para este ano.

Refinaram-se então os resultados, para que fossem considerados apenas trabalhos do tipo artigos de pesquisa (Research Articles ou apenas Articles).

As consultas retornaram os resultados quantificados no Quadro 3.

| Base de pesquisa | Número de artigos retornados |
|------------------|------------------------------|
| Science Direct | 386 |
| Scopus | 130 |
| Plataforma CAPES | 384 |

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 3 – Resultados quantificados da pesquisa.

Com base nos resultados obtidos nas consultas, empregando as restrições descritas, a primeira pré-seleção levou em consideração o título dos trabalhos e sua correlação com o tema objetivo da revisão.

Os critérios de inclusão foram:

- Abordar o uso de pelo menos uma tecnologia WSN no emprego da solução de automação de atividades agrícolas;
- Abordar cenários aplicados à automação de atividades na agricultura.

Os critérios de exclusão foram:

- Estudar e propor novas tecnologias ou protocolos de comunicação para redes de sensores sem fio, excedendo-se aos já comercialmente existentes.

O resultado da primeira pré-seleção está contido no Quadro 4. Apenas um artigo selecionado repetiu-se nas buscas entre as bases: ele foi selecionado tanto na busca na base Science Direct quanto na Plataforma CAPES, e então foi removido da seleção da plataforma CAPES.

Após o primeiro processo de pré-seleção, foram lidos os resumos (*abstracts*) dos artigos selecionados e buscadas algumas tecnologias-chave em seu conteúdo: Bluetooth, ZigBee, LoRa, WiFi. A utilização dessas palavras deu-se pelo fato de serem as tecnologias recentemente mais empregadas na comunicação entre sensores nas soluções IoT, de modo geral. Como resultado, uma nova seleção foi realizada, da qual foram extraídos os trabalhos selecionados para revisão sistemática (Quadro 4 e Quadro 5).

| Base de pesquisa | Número de artigos retornados | |
|------------------|------------------------------|---------------|
| | Primeira pré-seleção | Seleção final |
| Science Direct | 9 | 5 |
| Scopus | 9 | 8 |
| Plataforma CAPES | 4 | 1 |

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 4 – Resultados quantificados das pesquisadas após seleção final.

| Base de pesquisa | Título do trabalho |
|------------------|--|
| Science Direct | <i>Machine-to-machine wireless communication technologies for the Internet of Things: Taxonomy, comparison and open issues</i> |
| | <i>Next generation IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks: Current status, future directions and open challenges</i> |
| | <i>Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture</i> |
| | <i>Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges</i> |
| | <i>Wireless sensor networks for greenhouses: An end-to-end review</i> |
| Scopus | <i>An analysis of energy efficiency in Wireless Sensor Networks (WSNs) applied in smart agriculture</i> |

| | |
|------------------|--|
| | <i>Power reduction with sleep/wake on redundant data (SWORD) in a wireless sensor network for energy-efficient precision agriculture</i> |
| | <i>Development of smart farming - a detailed study</i> |
| | <i>A poultry farming control system using a ZigBee-based wireless sensor network</i> |
| | <i>Adaptive management of energy consumption, reliability and delay of wireless sensor node: Application to IEEE 802.15.4 wireless sensor node</i> |
| | <i>Implementing wireless sensor networks for smart irrigation</i> |
| | <i>Wireless sensor network and internet of things (IoT) solution in agriculture</i> |
| | <i>Maximization of wireless sensor network lifetime using solar energy harvesting for smart agriculture monitoring</i> |
| Plataforma CAPES | <i>On the Application of IoT: Meteorological Information Display System Based on LoRa Wireless Communication</i> |

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 5 – Relação de artigos selecionados por meio da seleção por resumo.

Durante as buscas, houve preocupação com a qualidade dos periódicos nos quais os trabalhos consultados foram publicados. Para tanto, considerou-se a busca na Plataforma Sucupira (Qualis Capes), por meio da qual se verificou a classificação de cada período de publicação dos trabalhos. Foram consideradas as áreas de conhecimento: Ciência da Computação; Interdisciplinar; e Ciências Agrárias I. Para fins de análise, quantificaram-se os trabalhos selecionados de acordo com sua maior classificação nas áreas recém citadas.

Por fim, os artigos resultantes das seleções anteriores foram lidos na íntegra e considerados como insumo para os resultados deste trabalho.

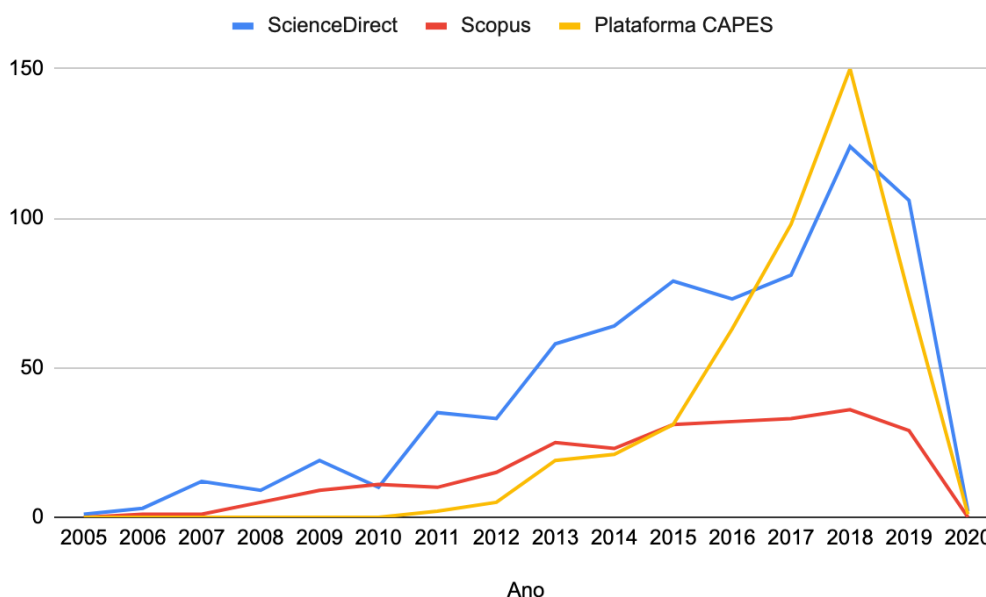
3. Resultados e Discussão

Tzounis et al. (2017) apontam que o termo “Internet of Things” (IoT) foi proposto pelo visionário britânico Kevin Ashton, em 1999, com o propósito de oferecer um universo tecnológico, no qual muitas “coisas” poderiam desempenhar um papel. Essas coisas podem ser sensores, ferramentas e equipamentos cotidianos, enriquecidos pelo poder da computação e pelos recursos de rede. A agricultura é citada pelos autores como um dos setores que devem ser altamente influenciados pelos avanços no domínio da IoT.

Apesar do termo IoT estar em uso na indústria e universidades desde sua concepção no Massachusetts Institute of Technology (MIT) (REDA et al., 2017 apud LIU, ZHOU e PANT, 2012), continuamente e recentemente pesquisas em torno do tema são realizadas com ênfase nos desafios e avanços futuros que passam a nortear os diversos cenários onde as soluções se aplicam (REDA et al., 2017 apud F. WANG et al., 2016; GUPTA, 2016). Khanna e Kaur (2019) apontam que, nos últimos anos, a visão de Internet vem se expandindo constantemente em todos os aspectos da vida, chegando a alcançar a ideia de o termo “coisas associadas à

Internet” ser identificado como IoT.

Tratando-se de WSN aplicadas à agricultura, apesar das publicações a respeito do tema terem iniciado em 2005, sua aplicação e resultados efetivos são observados após 2010. Esse fenômeno pode ser associado ao período em que o assunto automação tomou maiores proporções. Conforme lembram Bandur et al. (2019), desde que a IoT teve seu grande potencial reconhecido e aplicado aos diversos aspectos da vida moderna, sensores, redes sem fio e aplicativos de *software* se tornaram um ativo importante e valioso da infraestrutura agrícola moderna. O crescimento no número de publicações durante o período de 2005 a 2019 pode ser observado no Gráfico 1.

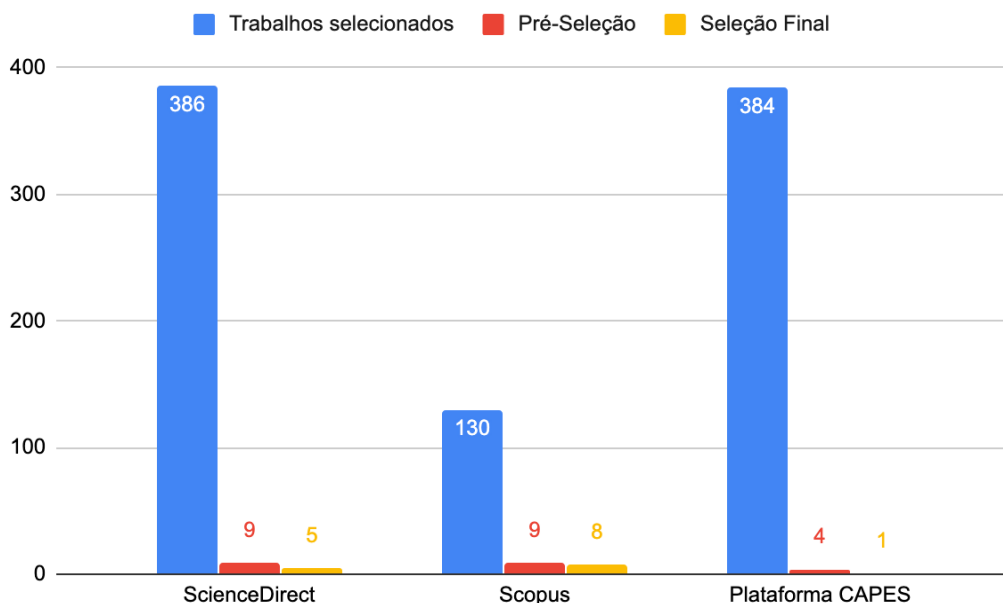


Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 1 - Número de indexações de artigos de pesquisa nas bases consultadas durante o período de 2005 a 2020.

O maior índice foi atingido no ano de 2018, quando na Plataforma CAPES foram indexados 150 artigos de pesquisa falando sobre o tema. Não se pode dizer que o paradigma da Internet das Coisas representa uma nova tecnologia, tendo em vista que IoT na verdade compreende uma combinação de abordagens que se aproveitam dos avanços da pesquisa nos campos de semicondutores, redes e processamento de informações (MONTORI et al., 2018).

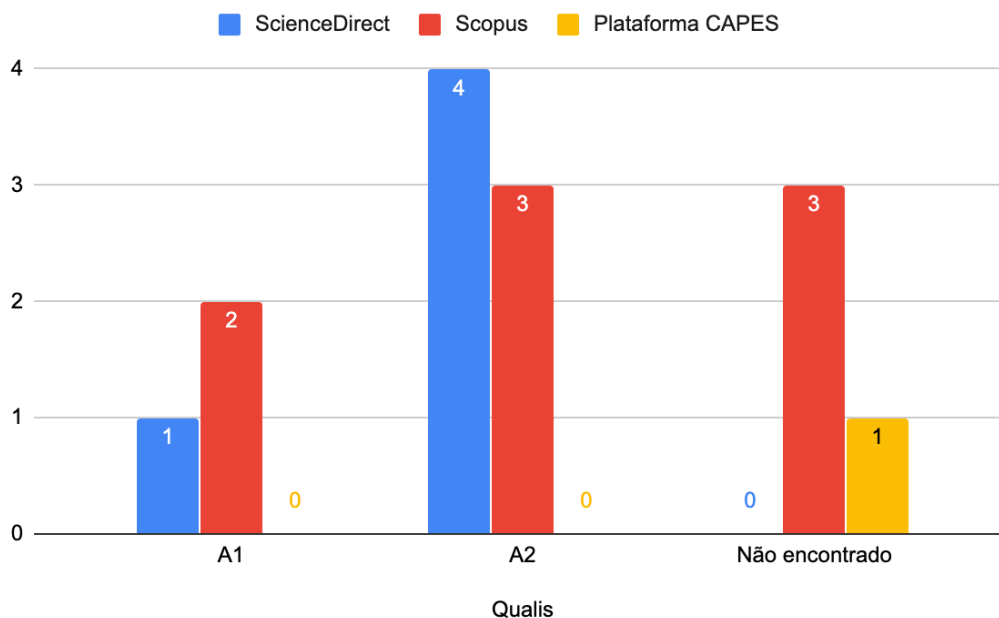
Quanto ao aproveitamento dos resultados obtidos desde a pesquisa inicial até a seleção final, o Gráfico 2 indica que poucos são os trabalhos cuja contribuição é suficientemente adequada ao tema proposto.



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 2 - Número de trabalhos selecionados em cada fase da pesquisa.

O Gráfico 3 indica que, apesar de poucos trabalhos selecionados, eles foram publicados em periódicos com bom Qualis (B1 ou superior), podendo assim ser considerados trabalhos de qualidade.



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 3 - Número de trabalhos classificados por Qualis e por base consultada.

4.1 Resposta à Q1

Como resposta à Q1: “Os estudos realizados nos últimos cinco anos são capazes de indicar as tecnologias WSN aplicadas às soluções de IoT (do inglês, *Internet of Things* ou Internet das Coisas) na agricultura?”, foi percebida grande diversidade de tecnologias propostas por

diferentes autores, embora haja tendência à indicação da tecnologia ZigBee como a mais adequada às soluções IoT na agricultura.

ZigBee é citada por Jawad et al. (2018) como uma solução apropriada para áreas de curta distância, visando a baixo consumo de energia e baixo custo. Entretanto, o autor complementa dizendo que o trabalho proposto pode ser estendido, aplicando-se a tecnologia LoRa, a qual também emprega protocolo baseado na estratégia Sleep/Wake, tido como chave para a melhor gestão do consumo de energia dos dispositivos.

O padrão IEEE 802.15.4 é citado pelos autores Jawad et al. (2018), Bandur et al. (2019) e Kone, Mathias e Sousa (2017) como um padrão técnico que define a operação de redes sem fio de baixa taxa, na qual é baseada a tecnologia Zigbee. Além das tecnologias baseadas no padrão IEEE 802.15.4, Montori et al. (2018) abordam as diferentes classificações de tecnologias e suas topologias, citando como alternativas as tecnologias *Bluetooth Low Energy* (BLE), SigFox, LoRa, entre outras.

Avanços no protocolo IEEE 802.11, que opera na camada MAC, citados por Bandur et al. (2019), também serão responsáveis por disponibilizar uma nova geração de soluções em redes locais sem fio, segundo Bellata et al. (2016). Como parte desses avanços, os autores citam as ramificações IEEE 802.11aa, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11af e IEEE 802.11ah.

Reda et al. (2017) implementam em seu estudo o padrão IEEE 802.15.4g, no qual é baseado o protocolo LoRa, indicado para comunicações de longa distância. A definição da tecnologia foi resultado da revisão de uma extensa gama de artigos, em que alguns destes artigos relatam o possível uso de WSN integrado à IoT para soluções de monitoramento agrícola e ambiental, contudo, segundo esses autores, a implementação de WSN baseado em LoRa até então não havia sido relatada na literatura. Associada à solução baseada em nós LoRa sem fio, os autores sugerem a implementação de painéis solares para garantir a interoperabilidade da solução em longos períodos de tempo. Os autores também citam em seus trabalhos relacionados o uso de ZigBee, SigFox, redes de celulares, 6LoWPAN, entretanto, justificam a escolha por LoRa devido a sua capacidade de comunicação sem fio de alcance ultralongo, baixo consumo de energia, alta duração da bateria, fácil implantação e baixo custo.

Para soluções de automação de sistemas de irrigação, Difallah et al. (2017) citam alguns padrões e tecnologias que podem ser utilizados: ZigBee IEEE 802.15.4, WiFi IEEE 802.11 e Bluetooth IEEE 802.15.1. Os autores apontam que a escolha do protocolo ideal de comunicação depende dos seguintes parâmetros: número de sensores, a faixa de preço, a disponibilidade de sistema de energia e a amplitude da área de estudo. Nesse sentido, descrevem o Bluetooth como ideal para redes pequenas com até 7 nós, envio de baixa quantidade de dados e para pequenas distâncias, enquanto WiFi pode suportar 32 nós, enviando maior quantidade de dados em maiores distâncias. Por fim, concluem que ZigBee, em cenários de irrigação, é a escolha ideal, por fornecer transmissão de pequena quantidade de dados por longas distâncias e com o mínimo possível de consumo de energia.

Chidambaranathan, Handa e Ramanamurthy (2018) apresentam em seus trabalhos a implementação de módulos ZigBee, com a vantagem de ser seguros e prover compatibilidade com diferentes dispositivos em sua camada de aplicação, além de minimizar o consumo de energia e reduzir o custo e a infraestrutura da rede. Como alternativa aos problemas de perda de dados e atraso do pacote de dados, os autores sugerem a implementação de um protocolo MAC como o *Berkeley Medium Access Control* (B-MAC), visando a garantir um alto grau de confiabilidade e eficiência.

Kochhar e Kumar (2019), através de revisão bibliográfica, apresentam algumas tecnologias para conexão de sensores em aplicações de estufas: ZigBee, GPRS, WiFi, LoRa, Bluetooth, XStream, e realizam comparações quanto à *performance* dessas tecnologias. Como resultado, indicam que WiFi Bluetooth provêm maiores taxas de dados e consomem mais energia, se comparados às demais tecnologias, entretanto, ZigBee, XStream e LoRa operam no modo de comunicação ponto a ponto e oferecem ampla faixa de comunicação com baixa taxa de dados. LoRa deixa a desejar quando o cenário requer mais dispositivos em rede, pois possui alta latência. O XStream tem o diferencial de frequência operacional, tamanho da rede e suporte de serviços baseados em nuvem. Para estufas, os autores apontam ZigBee como capaz de fornecer solução apropriada e LoRa como uma boa opção quando a operação requer número reduzido de dispositivos dispostos em grandes áreas.

Tzounis et al. (2017) nomeiam alguns protocolos criados sobre os padrões sem fio, para comunicação entre os sensores e dos sensores para os *gateways*: ZigBee, ONE-NET, SigFox, WirelessHART, ISA100.11a e 6LoWPan, Bluetooth Low Energy, LoRa/LoRaWAN, DASH7 e WiFi (802.11ah). Os autores apontam as principais características dos padrões sem fio mais populares, através das quais pode ser observada uma ampla variedade de medidas de largura de banda, alcance de comunicação, consumo de energia e segurança. Os autores lembram que é muito importante considerar fatores como alta temperatura e alta umidade em implementações agrícolas e que esses fatores podem ter efeito significativo na força do sinal recebido e propagação de ondas de rádio. Como sugestão, os autores apontam considerar a distância entre os nós, a altura da antena e a frequência de operação como fatores determinantes na escolha de tecnologias e protocolos aplicados a soluções agrícolas.

Khanna e Kaur (2019), através de uma extensa revisão bibliográfica em torno do tema IoT e Smart Farm, elencam as principais tecnologias de comunicação na IoT, dentro do que os autores chamam de “uma opção quase desconcertante de opções de conectividade”: RFID (Radio-frequency Identification), IEEE 82.15.4, Z-Wave (Zensys Wave), LTE (Long Term Evolution), LoRa (LongRange), NFC (Near-field communication), UWB (Ultra-wide band), M2M (Machine to Machine), 6LoWPAN (IPv6 Low-power Wireless Personal Area Network), apresentando um comparativo entre as principais características requeridas por WSNs.

Com a proposta de construir uma Smart Farm aplicada à criação de aves domésticas, Ghazal, Al-Khatib e Chahine (2017) propõem a utilização de WSN baseada na tecnologia ZigBee.

Zulkifli e Noor (2017) apud Zulkifli et al. (2011) citam ZigBee como uma tecnologia crescente, que trará vantagens para o setor agrícola. Os autores propõem a combinação de tecnologia RFID (*Active Radio Frequency Identification*) e WMSN (*Wireless Mesh Sensor Network*) e ZigBee.

4.2. Resposta à Q2

Os próximos parágrafos propõem-se a responder à pergunta Q2: “Tais estudos (realizados nos últimos cinco anos) sobre as tecnologias WSN são suficientes para direcionar outros pesquisadores quanto ao emprego correto de tecnologias e protocolos de rede eficientes aos principais cenários de IoT na agricultura?”.

Os autores consultados preocupam-se em expor os aspectos principais requeridos pelas soluções WSN aplicadas à agricultura. Entretanto, conforme lembram Khanna e Kaur (2019), a tecnologia está em constante mudança, o que faz com que a tarefa de identificar claramente o potencial ideal da tecnologia esteja constantemente envolvida no trabalho dos

pesquisadores.

Apesar disso, a pesquisa aponta que há diversos estudos nos quais são avaliados e comparados protocolos e tecnologias para emprego na comunicação de redes de sensores sem fio, tanto na agricultura como em outras áreas nas quais IoT é aplicada.

Os estudos também mostram que há grande importância em se observar a eficiência energética das tecnologias aplicadas às soluções de agricultura inteligente. Esse assunto é amplamente abordado no trabalho de Bandur et al. (2019), citando como fator de grande importância o protocolo utilizado na camada MAC das WSNs, uma vez que esse protocolo controla os rádios, e estes são grandes consumidores de bateria dos dispositivos de transmissão. Jawad et al. (2018) também citam em seu trabalho a importância de se empregarem tecnologias e protocolos que visam ao baixo consumo de energia, dadas as severas limitações impostas pelos cenários reais onde soluções WSN são empregadas. Esse tema é firmado por Kone, Mathias e Sousa (2017), que descrevem que desenhar uma WSN para alcançar padrões aceitáveis de *performance* e durabilidade é uma tarefa desafiadora. Geralmente, os nós WSN são alimentados por fontes limitadas de energia e baterias não recarregáveis, podendo operar por poucos dias, dependendo do ciclo de trabalho a que se destina o aplicativo (SHARMA, HAQUE e JAFFERY, 2019).

Montori et al. (2018) complementam os requisitos de uma WSN ideal, citando, além do consumo de energia, o baixo custo, escalabilidade, confiabilidade, baixa latência, maior alcance na comunicação e segurança. Bandur et al. (2019) contribuem dizendo que é difícil esperar que uma só solução atenda perfeitamente a todos os requisitos para se tornar ideal para a aplicação em agricultura inteligente. Essa citação reafirma a necessidade de estudar minuciosamente as alternativas disponíveis quanto às tecnologias e protocolos a ser empregados em tais soluções.

Sharma, Haque e Jaffery (2019) citam os avanços no padrão IEEE 802.15.4, no qual é baseado o ZigBee, que define os parâmetros da camada física e da camada MAC para redes de sensores sem fio (WSN), para permitir a coleta de energia nos nós WSN. Assim, propõem em seu trabalho o uso de ZigBee para a transmissão de dados dos sensores até a nuvem IoT.

4.3. Resposta à Q3

Em resposta à pergunta Q3: “Os estudos disponíveis compreendem em sua metodologia comprovação de seus resultados por meio de aplicação real ou experimental?”, percebe-se que a maior parte dos trabalhos selecionados apresenta aplicação real ou experimental, o que traz maior confiança em seus resultados e condições de reprodução dos trabalhos. Apesar disso, alguns dos conteúdos limitam-se a revisões bibliográficas e determinação de cenários, sem aplicação real ou experimental, o que, associado ao baixo número de trabalhos encontrados sobre o tema IoT + WSN + Agricultura, torna necessária a produção de pesquisas com emprego de experimentos em cenários práticos.

5. Considerações Finais

É crescente o número de publicações em torno de temas relacionados à automação na agricultura, haja vista que, conforme apontado pelos autores consultados, propor e implementar soluções tecnológicas no setor é muito importante, senão inevitável, para se alcançar satisfatórios níveis de produtividade. Os pesquisadores respondem a essa necessidade produzindo conteúdos de qualidade e proporcionando embasamento para a configuração adequada de soluções para os diferentes cenários.

A qualidade dos trabalhos produzidos pode ser considerada satisfatória, vista a qualificação (Qualis CAPES) dos periódicos onde os trabalhos consultados foram publicados, entretanto, cabe destacar que, dos trabalhos selecionados desde a primeira etapa, nenhum corresponde a publicações nacionais, o que remete a refletir sobre o quanto a comunidade de pesquisadores brasileiros está publicando e à qualidade dos períodos onde esses trabalhos estão sendo publicados. Essa reflexão é levantada, dado o fato de que a implementação de soluções WSN depende muito de fatores externos, como relevo, clima, culturas, o que está diretamente ligado à região onde os estudos são realizados. É importante para o setor agrícola brasileiro contar com estudos que abordam características locais, trazendo assim mais assertividade na escolha das tecnologias frente aos diferentes cenários.

Para concluir, é possível perceber que, embora muitas sejam as opções de tecnologias e protocolos disponíveis no mercado, na maioria dos trabalhos selecionados para compor esta revisão, os autores indicam ou usam a tecnologia ZigBee, sob o protocolo IEEE 802.15.4, dadas suas características, que o tornam adequado a aplicações IoT agrícolas.

Agradecimentos

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

Referências

BANĐUR, Đoko et al. An analysis of energy efficiency in Wireless Sensor Networks (WSNs) applied in smart agriculture. **Computers and electronics in agriculture**, v. 156, p. 500-507, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.016>

BELLALTA, Boris et al. Next generation IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks: Current status, future directions and open challenges. **Computer Communications**, v. 75, p. 1-25, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.10.007>

CHIDAMBARANATHAN, C. M., HANDA, S.S., RAMANAMURTHY, M.V. Development of smart farming - a detailed study. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, p. 56-58, 2018. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.4.10042

DIFALLAH, W. A. F. A. et al. Implementing wireless sensor networks for smart irrigation. **Taiwan water conservancy**, v. 65, n. 3, p. 44-54, 2017.

GHAZAL, Bilal; AL-KHATIB, Khaled; CHAHINE, Khaled. A Poultry Farming Control System Using a ZigBee-based Wireless Sensor Network. **International Journal of Control and Automation**, v. 10, n. 9, p. 191-198, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/ijca.2017.10.9.16>

GONDCHAWAR, Nikesh; KAWITKAR, R. S. IoT based smart agriculture. **International Journal of advanced research in Computer and Communication Engineering**, v. 5, n. 6, p. 838-842, 2016. DOI: 10.17148/IJARCCCE.2016.56188

JAWAD, Haider et al. Power reduction with sleep/wake on redundant data (SWORD) in a wireless sensor network for energy-efficient precision agriculture. **Sensors**, v. 18, n. 10, p. 3450, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18103450>

KHANNA, Abhishek; KAUR, Sanmeet. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. **Computers and electronics in agriculture**, v. 157, p. 218-231, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>

KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for Undertaking Systematic Reviews**: Joint Technical Report. Computer Science Department, Keele University (TR/SE0401) and National ICT Australia Ltd. (0400011T.1), 2004. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2019.

KOCHHAR, Aarti; KUMAR, Naresh. Wireless sensor networks for greenhouses: An end-to-end review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 163, p. 104877, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104877>

KONE, Cheick Tidjane; MATHIAS, Jean-Denis; DE SOUSA, Gil. Adaptive management of energy consumption, reliability and delay of wireless sensor node: Application to IEEE 802.15.4 wireless sensor node. **PloS one**, v. 12, n. 2, p. e0172336, 2017. DOI: [10.1371/journal.pone.0172336](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172336)

MONTORI, Federico et al. Machine-to-machine wireless communication technologies for the Internet of Things: Taxonomy, comparison and open issues. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 50, p. 56-81, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2018.08.002>

REDA, Haftu Tasew et al. On the application of IoT: Meteorological information display system based on LoRa wireless communication. **IETE Technical Review**, v. 35, n. 3, p. 256-265, 2018. DOI: [10.1080/02564602.2017.1279988](https://doi.org/10.1080/02564602.2017.1279988)

SHARMA, Himanshu; HAQUE, Ahteshamul; JAFFERY, Zainul Abdin. Maximization of wireless sensor network lifetime using solar energy harvesting for smart agriculture monitoring. **Ad Hoc Networks**, v. 94, p. 101966, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.101966>

SUMA, N. et al. IOT based smart agriculture monitoring system. **International Journal on Recent and Innovation Trends in computing and communication**, v. 5, n. 2, p. 177-181, 2017.

TZOUNIS, Antonis et al. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, v. 164, p. 31-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>

ZULKIFLI, C. Z.; NOOR, N. N. Wireless Sensor Network and Internet of Things (IoT) Solution in Agriculture. **Pertanika Journal of Science & Technology**, v. 25, n. 1, 2017.