

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Dienefer Fialho dos Santos

**Um Mapeamento de Técnicas de Simulação  
Envolvendo Redes de Sensores Sem Fio para  
Problemas de Agricultura e uma  
Instanciação para uma Estratégia de Ensino  
em Problemas de Aquaponia**

Alegrete  
2022



**Dienefer Fialho dos Santos**

**Um Mapeamento de Técnicas de Simulação  
Envolvendo Redes de Sensores Sem Fio para  
Problemas de Agricultura e uma Instanciação para  
uma Estratégia de Ensino em Problemas de  
Aquaponia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Engenharia de  
Software da Universidade Federal do Pampa  
como requisito parcial para a obtenção do tí-  
tulo de Bacharel em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Paulo Basso

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Caggiani  
Luizelli

Alegrete  
2022



**Dienefer Fialho dos Santos**

**Um Mapeamento de Técnicas de Simulação Envolvendo Redes de Sensores Sem Fio para Problemas de Agricultura e uma Instanciação para uma Estratégia de Ensino em Problemas de Aquaponia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia de Software da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 11 de março de 2022.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Fábio Paulo Basso

Orientador

(UniPampa)

---

Prof. Dr. Marcelo Caggiani Luizelli

(UniPampa)

---

Profa. Dr. Fábio Diniz Rossi

(IFFAR)

---

Prof. Dr. Valdemar Vicente Graciano Neto  
(UFG)

---



Assinado eletronicamente por **Valdemar Vicente Graciano Neto, Usuário Externo**, em 11/03/2022, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **FABIO PAULO BASSO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/03/2022, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **Fábio Diniz Rossi, Usuário Externo**, em 11/03/2022, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **MARCELO CAGGIANI LUIZELLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/03/2022, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0745220** e o código CRC **0D165CB2**.

---

"Isto foi um triunfo.  
Estou anotando aqui.  
Grande sucesso."  
(Jonathan Coulton)



## RESUMO

O avanço das tecnologias de redes de sensores sem fio (WSN) permite monitorar ambientes de forma assistida por software. Entre os vários contextos de emprego, a agricultura inteligente desempenha um papel importante na sociedade, caracterizando um potencial para a realização de estudos aplicados. No entanto, os custos associados aos equipamentos em cenários envolvendo diversos sensores dificultam o exercício da aprendizagem baseada em problemas. Estudos voltados para simulações computacionais têm o potencial de explorar o tema sem tais custos, portanto, um potencial de exploração em disciplinas de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Esse trabalho tem como objetivo elaborar uma estratégia de ensino, que tem como público alvo interessados em conduzir e executar estudos práticos de simulações em WSN voltadas para a agricultura em disciplinas conduzidas na metodologia de ABP.

**Palavras-chave:** Engenharia de Software, Redes de Sensores Sem Fio, Simulação, Aprendizagem Baseada em Problemas



## ABSTRACT

The advancement of wireless sensor networks (WSN) technologies allows monitoring environments in a software-assisted manner. Among the various employment contexts, smart agriculture plays an important role in society, thus a potential for carrying out applied studies. However, the costs associated with equipment in scenarios involving multiple sensors make it difficult to exercise problem-based learning. Studies aimed at computational simulations have the potential to explore the topic without such costs, therefore, a potential for exploration in problem-based learning (PBL). This work aims to develop a teaching strategy, whose target audience are those interested in conducting and executing practical studies of WSN simulations focused on agriculture in courses taught using the PBL methodology.

**Key-words:** Software Engineering, Wireless Sensor Networks, Simulation, Problem Based Learning



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo da execução do TCC 1 . . . . .	23
Figura 2 – Subprocesso de mapeamento sistemático . . . . .	23
Figura 3 – Processo da execução do TCC 2 . . . . .	23
Figura 4 – Exemplo de uma arquitetura básica para WSN . . . . .	27
Figura 5 – Classificação de arquitetura de WSN . . . . .	29
Figura 6 – Porcentagem de artigos por base de dados . . . . .	37
Figura 7 – Modelo de Features com as Possibilidades para Instanciação em Estratégias de Ensino . . . . .	45
Figura 8 – Comandos para executar o simulador . . . . .	51
Figura 9 – Tela de criação de simulação . . . . .	51
Figura 10 – Menu de escolha de sensor . . . . .	52
Figura 11 – Sensores utilizados . . . . .	52
Figura 12 – Compilação de código para o sensor . . . . .	53
Figura 13 – Topologia da simulação . . . . .	54
Figura 14 – Simulação sendo executada . . . . .	55
Figura 15 – Coleta de dados . . . . .	55
Figura 16 – Média de consumo de energia . . . . .	56
Figura 17 – Modelo de <i>Features</i> Contendo a Seleção das Características Utilizadas ao Longo da Disciplina de ABP . . . . .	61



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sensores . . . . .	28
Tabela 2 – Sumário de Simuladores em WSN . . . . .	31
Tabela 3 – Bases de dados . . . . .	38
Tabela 4 – Trabalhos selecionados para análise e extração dos dados . . . . .	38
Tabela 5 – Domínios de pesquisa . . . . .	39
Tabela 6 – Ferramentas de simulação . . . . .	41
Tabela 7 – Análise de exequibilidade . . . . .	42
Tabela 8 – Métodos de avaliação . . . . .	43
Tabela 9 – Tipos de ameaças à validade . . . . .	44
Tabela 10 – Parâmetros Associados com Sistemas Aquapônicos . . . . .	49
Tabela 11 – Análise de cobertura de parâmetros associados com elementos de IoT propostos na estratégia de ensino . . . . .	60



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**UNIPAMPA** Universidade Federal do Pampa



## LISTA DE SIGLAS

**ABP** Aprendizagem Baseada em Problemas

**IoT** *Internet of Things*

**TCC** Trabalho de Conclusão de Curso

**WSN** *Wireless Sensor Network*



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	21
1.1	Motivação . . . . .	21
1.2	Objetivos . . . . .	22
1.3	Contribuições . . . . .	22
1.4	Metodologia da Pesquisa . . . . .	22
1.5	Organização . . . . .	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .	25
2.1	<i>Internet of Things</i> . . . . .	25
2.2	<i>Wireless Sensor Networks</i> . . . . .	27
2.2.1	Arquitetura de WSNs para uso agrícola . . . . .	28
2.3	Aprendizagem Baseada em problemas . . . . .	29
2.4	Aquaponia . . . . .	30
3	TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .	31
4	REVISÃO DE LITERATURA . . . . .	35
4.1	Estudo Secundário de Mapeamento Sistemático . . . . .	35
4.1.1	Protocolo . . . . .	35
4.1.1.1	Questões de Pesquisa . . . . .	36
4.1.1.2	Questões de Qualidade . . . . .	36
4.1.2	Condução e Execução . . . . .	37
4.1.3	Análise . . . . .	38
4.1.3.1	Respostas para as Questões de Pesquisa . . . . .	38
4.1.3.2	Questões de Qualidade . . . . .	42
4.1.4	Ameaças à Validade . . . . .	43
4.2	Análise de Domínio de Arquiteturas WSN Aplicáveis a Problemas de IoT para a Agricultura . . . . .	44
5	ESTRATÉGIA DE ENSINO . . . . .	47
5.1	Caracterização de um problema . . . . .	47
5.1.1	Seleção da Arquitetura WSN . . . . .	48
5.2	Seleção dos Simuladores . . . . .	48
5.2.1	COOJA . . . . .	50
5.2.1.1	Instalação . . . . .	50
5.3	Demonstração Conceitual Genérica de Simulação . . . . .	50
5.4	Recomendação . . . . .	53
5.4.1	TOSSIM . . . . .	54
5.4.2	J-Sim . . . . .	56

5.5	Organização da Estratégia de Ensino . . . . .	57
5.5.1	Marco 1 . . . . .	57
5.5.2	Marco 2 . . . . .	58
5.5.3	Marco 3 . . . . .	59
5.5.4	Exemplos de Problemas Adicionais . . . . .	59
5.6	Análise de Cobertura . . . . .	60
6	CONCLUSÃO . . . . .	63
6.1	Trabalhos Futuros . . . . .	63
6.2	Considerações Finais . . . . .	64
	REFERÊNCIAS . . . . .	65
	Índice . . . . .	71

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de agricultura é um dos mais avançados no mundo. No entanto, segundo previsões da Organização das Nações Unidas (ONU), até 2050 a população mundial vai chegar a 9.7 bilhões de pessoas, o que cria uma necessidade de aumento de produção de alimentos. O aumento da expectativa de vida e a urbanização global também gera demanda de uma maior variedade de alimentos. Isso exige que a produção agrícola não só aumente como se torne mais eficiente (ONU, 2021).

Com tal finalidade, *Wireless Sensor Networks* (WSNs) são usadas em diversas áreas envolvendo monitoramento e controle de ambientes, sendo a agricultura um dos principais setores da economia que é beneficiado por tais tecnologias. WSNs são, portanto, uma das formas de se buscar uma produção mais eficiente, de melhorar a qualidade dos produtos e reduzir o impacto ambiental das práticas agrícolas (SHINGHAL; SRIVASTAVA et al., 2017).

WSNs são redes compostas por nós sensores que auxiliam no monitoramento de áreas nas quais são colocados. As redes podem ser estruturadas ou não estruturadas e o número de sensores pode chegar aos milhares. WSNs estruturadas são aquelas nas quais a implantação dos sensores é feita de forma precisa e oferecem fácil acesso aos sensores para manutenção. De forma oposta, WSNs não estruturadas são normalmente utilizadas em áreas de difícil acesso, os sensores são implantados em grande quantidade sem seguir uma arquitetura planejada. (THAKUR et al., 2019)

Neste contexto, a modelagem e implementação de WSNs enfrenta desafios, não só pela limitação dos dispositivos utilizados, como também a dificuldade de testar as soluções de forma satisfatória antes da implantação. Simulações, por outro lado, permitem a realização de testes próximos do ambiente real sem exigir dispositivos físicos (KHAN; PATHAN; ALRAJEH, 2016).

### 1.1 Motivação

O curso de Engenharia de Software na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) possui disciplinas de Resolução de Problemas. Esses componentes curriculares tem como base a metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) (DOURADO, 2015). Os alunos são organizados em equipes e devem trabalhar colaborativamente para encontrar soluções para problemas propostos pelos professores.

Cenários voltados para a pesquisa de WSN no contexto de disciplinas de Resolução de Problemas tornam os desafios citados anteriormente ainda mais aparentes. O ambiente acadêmico onde os recursos são escassos e os laboratórios não dispõem de equipamentos apropriados apresentam barreiras para a prática de desenvolvimento de WSNs. Considerando isso, a alternativa de utilizar simulações torna viável as práticas educativas em cenários que apresentem tais limitações.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é elaborar uma estratégia de ensino para o uso de simulações em WSN voltadas para a agricultura em disciplinas conduzidas na metodologia de ABP. Para atingir tal objetivo geral, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- Verificar o estado da arte do uso de simulações de WSNs em agricultura através da realização de um estudo de mapeamento sistemático.
- Aprender sobre as ferramentas de simulação utilizadas na área, buscando identificar a melhor alternativa para a utilização em ambiente acadêmico.
- Elaborar uma estratégia de ensino para utilização em disciplinas que utilizem a metodologia de ABP.

Buscando evitar dúvidas quanto a definição de metodologia de ensino e estratégia de ensino, será definido o significado de cada um em relação ao presente trabalho. Metodologia de ensino se entende como algo mais geral que pode ser utilizado em diferentes contextos. Estratégia de ensino possui foco em um domínio específico.

## 1.3 Contribuições

A primeira contribuição desse trabalho foi a publicação do estudo de mapeamento sistemático sobre simulações de WSN na agricultura (FIALHO et al., 2021a). A seguir, um trabalho detalhando a demonstração conceitual da simulação foi publicado na Escola Regional de Engenharia de Software (ERES) (FIALHO et al., 2021b).

Além disso, o resultado do trabalho foi o desenvolvimento de uma estratégia de ensino para auxiliar professores ministrantes de disciplinas que utilizem a metodologia de ABP que desejem utilizar simulações de WSN. Assim, contribuindo para o avanço na pesquisa de WSNs para agricultura e da prática do ensino dessa temática em disciplinas de ABP.

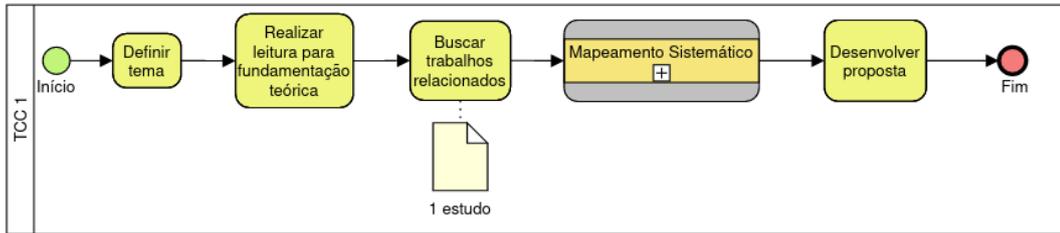
## 1.4 Metodologia da Pesquisa

A pesquisa foi realizada seguindo o modelo para condução de mapeamentos sistemáticos em engenharia de software proposto por (PETERSEN et al., 2008), utilizando também sua atualização mais recente como complemento (PETERSEN; VAKKALANKA; KUZNIARZ, 2015).

A Figura 1 mostra as atividades realizadas durante a pesquisa para o desenvolvimento do TCC 1. As atividades envolvem tarefas relacionadas a definição do tema, pesquisa para a escrita da fundamentação teórica que é vista no Capítulo 2, a busca de

Figura 1 – Processo da execução do TCC 1

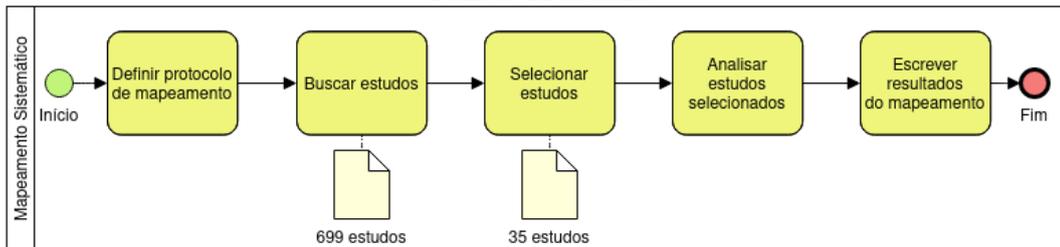
Fonte: A autora



trabalhos relacionados cujo resultado pode ser visto no Capítulo 3, mapeamento sistemático que é descrito em detalhes na Figura 2 e pode ser lido no Capítulo 4 e a última atividade é referente à proposta apresentada no TCC 1.

Figura 2 – Subprocesso de mapeamento sistemático

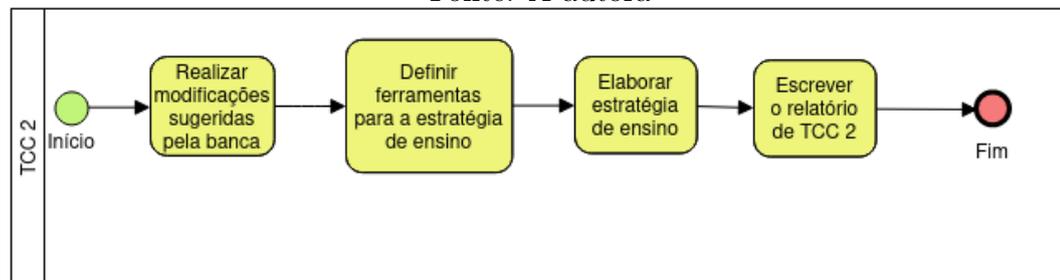
Fonte: A autora



A Figura 3 apresenta as atividades referentes ao desenvolvimento do TCC 2. Estas envolvem a realização das modificações sugeridas pela banca avaliadora durante a defesa do TCC 1, definir as ferramentas a serem discutidas no Capítulo 5, elaborar a estratégia de ensino apresentada no mesmo capítulo e por fim, concluir a escrita do relatório de TCC.

Figura 3 – Processo da execução do TCC 2

Fonte: A autora



## 1.5 Organização

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre *Internet of Things*, *Wireless Sensor Networks* e Aprendizagem Baseada em Problemas. No Capítulo 3 é feita

uma análise dos trabalhos relacionados. No Capítulo 4 discute-se a revisão de literatura contendo um estudo secundário de mapeamento sistemático sobre simulações de WSNs na agricultura. No Capítulo 5 descreve-se a estratégia de ensino definida neste trabalho. No Capítulo 6 relatam-se as considerações finais e por fim, as referências bibliográficas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos de *Internet of Things* (IoT), *Wireless Sensor Networks* (WSN) e Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

### 2.1 *Internet of Things*

Inicialmente, a IoT foi inspirada por membros da comunidade *radio-frequency identification* (RFID), com o termo sendo utilizado pela primeira vez em 1999 por Kevin Ashton, co-fundador do *Auto-ID Center* que também foi responsável pela criação das etiquetas RFID. O conceito de que a primeira variante da internet era sobre dados criados por pessoas, enquanto que a próxima versão é sobre dados criados por coisas, é a ideia central que define IoT (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015).

Para que a ideia de IoT funcione, é necessário haver uma combinação de elementos como sensores, rede, tecnologias de comunicação e computação. Entretanto, a tentativa de agregar diferentes tecnologias pode fazer com que surjam problemas de interoperabilidade devido à heterogeneidade dos dispositivos e de seus sinais emitidos (GIGLI; KOO, 2011).

Em seu trabalho, (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015), compilam uma lista de tecnologias relacionadas a área de IoT:

- *Internet Protocol* (IP): é o principal protocolo de comunicação no conjunto de protocolos da internet para a retransmissão de datagramas através de limites de rede. Possui duas versões, IPv4 e IPv6, porém o termo genérico IP normalmente se refere ao IPv4.
- *Wireless Fidelity* (Wi-Fi): é uma tecnologia de rede que tem como objetivo permitir a comunicação de computadores e outros dispositivos por meio de um sinal sem fio. Se tornou um padrão de conectividade entre dispositivos, com cidades inteiras ligadas por pontos de acesso sem fio.
- *Radio-frequency identification* (RFID): é um sistema que transmite a identidade de um objeto ou pessoa usando ondas de rádio em forma de um número de série. Em IoT é utilizado como uma solução de baixo custo para resolver problemas de identificação de objetos ao nosso redor.
- *Wireless Sensor Network* (WSN): é uma rede sem fio que consiste de dispositivos autônomos distribuídos utilizando sensores para cooperativamente monitorar condições físicas e ambientais. Uma WSN é um importante elemento no paradigma IoT, seu uso tem ganhado atenção em diversas áreas como agricultura de precisão, detecção de fogo, detecção de enchentes, saúde e monitoramento de ambientes.
- *Electronic Product Code* (EPC): é um código de 64 bits ou 98 bits gravado eletronicamente em uma etiqueta RFID e com a intenção de modelar uma melhora no

sistema de código de barras EPC. Um código EPC pode armazenar informações sobre o tipo de EPC, número de série único do produto, suas especificações, fabricante, entre outros.

- Código de barras: é uma variante de codificação de números e letras que utiliza uma combinação de barras e espaços com variação de largura. Uma alternativa para código de barras é o *Quick Response (QR) code*, que tem se tornado mais popular devido a sua rapidez e capacidade de armazenamento. Existem 3 tipos de códigos de barras: alfa numérico, numérico e bidimensional. Normalmente são lidos por *lasers*, porém também podem ser lidos por câmeras.
- *Bluetooth*: é uma tecnologia de rádio barata e de curta distância que elimina a necessidade de cabos proprietários entre dispositivos com uma área efetiva de 10 a 100 metros. Normalmente a taxa de transferência é de menos de 1 Mbps e é possível utilizar dispositivos *Bluetooth* para conectar de 2 a 8 aparelhos em um canal de comunicação chamado Piconet.
- *Near Field Communication (NFC)*: é uma tecnologia sem fio de curto alcance, normalmente demandando uma distância de até 4 cm. NFC permite a inicialização intuitiva de WSNs, não exige linha de visão e o método de conexão é simples e fácil. Sua taxa de transmissão de dados é de aproximadamente 424 kbps e o consumo de energia durante a leitura de dados é de menos de 15ma.
- *ZigBee*: é um dos protocolos desenvolvidos com o objetivo de aprimorar as redes de sensores sem fio. Suas características incluem baixo custo, baixo fluxo de dados, alcance de transmissão relativamente baixo, escalabilidade, confiabilidade e modelagem flexível de protocolo. A tecnologia ZigBee possui alcance de aproximadamente 100 metros e largura de banda de 250 kbps, funciona com as topologias estrela, *cluster tree* e malha.
- Atuador: é um dispositivo que transforma energia em movimento mecânico, ou seja, atuadores guiam movimentos em sistemas eletro-mecânicos. Atuadores cobrem curtas distâncias, normalmente até cerca de 10 metros e costumam se comunicar a menos de 1 Mbps.
- Inteligência Artificial (IA): é um ramo da ciência da computação com o objetivo de criar sistemas que sejam capazes de assimilar novos conceitos e chegar a resultados de uma forma semelhante às habilidades de aprender e solucionar problemas de humanos (GREWAL, 2014).

## 2.2 *Wireless Sensor Networks*

*Wireless Sensor Network* é o termo utilizado para descrever um conjunto relativamente independente de pequenos dispositivos com o objetivo de monitorar propriedades físicas do ambiente em que estão localizados. Esses dispositivos têm dois componentes: o primeiro é chamado de mote e é responsável pelo armazenamento, computação e comunicação, o segundo componente se chama sensor e é responsável por detectar fenômenos físicos como temperatura, luz, som e vibrações. Um sensor é sempre conectado a um mote. Nós sensores coletam dados e podem processar estes dados dentro da rede em nós intermediários antes de encaminhá-los a um ponto central de coleta, chamado de estação base, para análise e processamento mais detalhados (KHAN; PATHAN; ALRAJEH, 2016).

Na Figura 4, é apresentado um modelo básico da arquitetura de uma WSN. os nós sensores conectam-se entre si, com um deles servindo como *cluster head* e sendo responsável pela agregação de dados dos sensores e pela comunicação com a estação base.

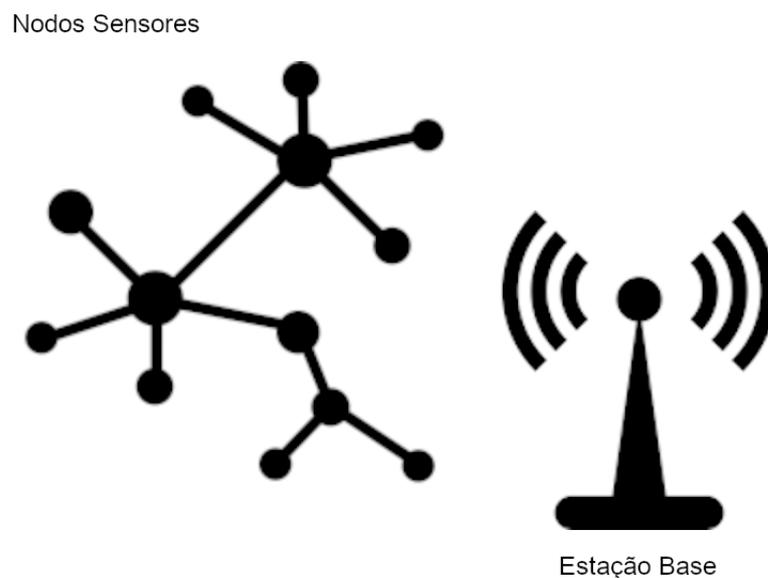


Figura 4 – Exemplo de uma arquitetura básica para WSN

Fonte: A autora

O uso de WSNs está presente em diversas áreas como: monitoramento ambiental, agricultura de precisão, monitoramento de saúde, transporte, rede elétrica e monitoramento de minas subterrâneas. Os sensores em uma WSN podem variar consideravelmente, desde sensores simples que monitoram apenas um fenômeno físico até sensores mais complexos que podem combinar diferentes tecnologias como acústica, ótica e magnética (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

A redução do consumo de energia alcançada com a miniaturização dos dispositivos proporciona uma expansão nas possibilidades de aplicação de WSNs. Cada sensor pode

ser escolhido de acordo com o ambiente no qual será utilizado. Um sensor subterrâneo deve ter mais poder de transmissão, enquanto um sensor marinho precisa de proteção contra a ação corrosiva da água (RASHID; REHMANI, 2016).

Os sensores utilizados em WSNs podem ser classificados em cinco categorias, de acordo com a natureza do sensoriamento realizado por eles (THAKUR et al., 2019). Na Tabela 1 apresenta-se essa classificação.

Tipo de Sensor	Descrição
Sensores terrestres	Normalmente são implantados em grande quantidade para monitorar condições na superfície.
Sensores subterrâneos	São utilizados embaixo da terra, como em minas e cavernas para monitorar características como a umidade do solo e sua condição.
Sensores subaquáticos	São dispositivos implantados em ambientes como oceanos e rios para observar acontecimentos dentro d'água.
Sensores multimídia	Consistem de equipamentos capazes de armazenar, processar e acessar dados multimídia, como imagens e vídeos.
Sensores móveis	Podem ser movimentados no ambiente. Sua utilização se dá em diferentes domínios como monitoramento militar, subaquático e de áreas.

Tabela 1 – Sensores

A modelagem e implementação de WSNs enfrenta diversos desafios, em grande parte devido a limitação de recursos dos sensores sem fio como bateria, largura de banda, armazenamento, processamento, sensoriamento e comunicação. Pode ser necessário implantar sensores aleatoriamente em diversos casos e em alguns se torna impossível ter acesso a eles para manutenção. Assim, é necessário o uso de muitos sensores para compensar prováveis problemas de funcionamento. Para que possam ser utilizados pelo máximo de tempo possível, os sensores também devem ser extremamente eficientes com o uso de energia (KHAN; PATHAN; ALRAJEH, 2016).

### 2.2.1 Arquitetura de WSNs para uso agrícola

Arquiteturas de WSNs para agricultura podem ser classificadas de acordo com a mobilidade dos sensores, a combinação de sensores e dispositivos presentes na rede e a sua hierarquia (OJHA; MISRA; RAGHUWANSHI, 2015). Na Figura 5 é apresentada uma representação visual dessa classificação.

- Arquitetura fixa - os sensores são instalados em uma localização fixa e não mudam

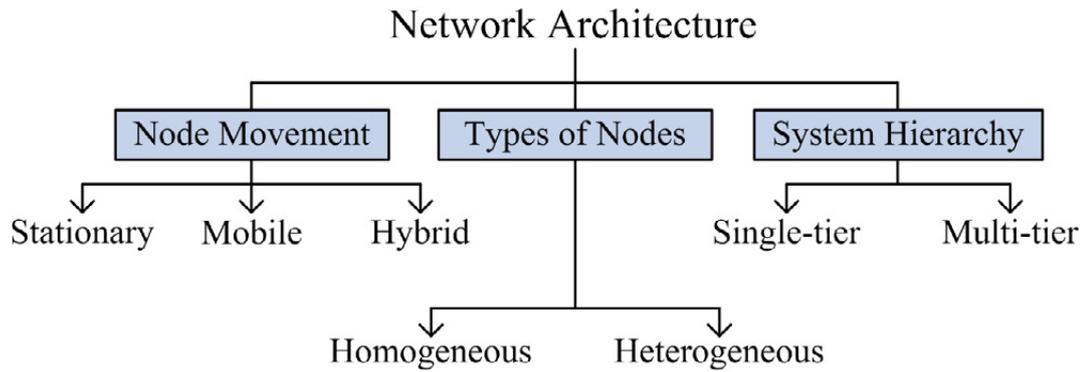


Figura 5 – Classificação de arquitetura de WSN

Fonte: (OJHA; MISRA; RAGHUWANSHI, 2015)

durante o período de utilização. É uma opção para aplicações como controle de irrigação, qualidade da água e controle do uso de fertilizantes.

- Arquitetura móvel - nesse tipo de arquitetura os sensores são movidos durante o uso, pode ser utilizada em casos nos quais pessoas utilizam celulares como parte do monitoramento e quando há presença de tratores e *drones* com sensores.
- Arquitetura híbrida - é o tipo em que ambas as arquiteturas definidas anteriormente são utilizadas em conjunto. Podendo conter sensores fixos nas plantações e sensores móveis em equipamentos e animais.
- Arquitetura heterogênea - contém sensores e dispositivos de diferentes tipos permitindo que seja implementado um sistema com sensores para monitoramento capazes de se comunicar com outros dispositivos da mesma rede.
- Arquitetura homogênea - os sensores utilizados são similares e costumam ser a escolha em casos onde não existe a necessidade de um sistema completo e os sensores são utilizados apenas para o monitoramento dos parâmetros necessários.
- Arquitetura de uma camada - comum em aplicações de menor escala, nesse tipo de arquitetura os sensores se comunicam diretamente com um nó *sink* localizado próximo a área de monitoramento.
- Arquitetura multi-camadas - nesse caso a hierarquia da aplicação envolve várias camadas com sensores heterogêneos organizados em níveis diferentes e se comunicando entre si.

### 2.3 Aprendizagem Baseada em problemas

Métodos tradicionais de ensino proporcionam um ambiente de aprendizado focado em absorver conhecimento teórico. A principal fonte de aprendizado nesses métodos vem

da memorização de conceitos pelos alunos. No entanto, isso se mostra ineficiente em transferir conhecimentos para um contexto prático.

A aprendizagem baseada em problemas (ABP) surge da necessidade de realizar reformas nos métodos de ensino para que se tornem mais adequados ao cenário atual da sociedade. Sua estrutura tem como objetivo permitir que o aluno desenvolva suas habilidades de trabalhar em grupo e encontrar soluções para um problema. Dessa forma, o foco é no desenvolvimento das capacidades dos alunos em vez de seguir uma estrutura de aulas expositivas como no ensino tradicional.

Essa mudança de foco permite que se tenha uma visão transdisciplinar com um interesse maior no levantamento de questões e na solução de problemas de forma que conceitos de diferentes disciplinas possam ser utilizados da melhor forma (DOURADO, 2015).

A ABP se mostra relevante quando leva-se em consideração sua aplicabilidade como metodologia centrada no aluno. A sua utilização possibilita que os alunos sejam envolvidos em discussões complexas em nível individual e grupal, sendo assim expostos a uma diversidade de opiniões que não costuma ser possível com outras metodologias de ensino (DELISLE; OLIVEIRA, 2000).

A aprendizagem colaborativa proporcionada pela ABP é um processo de mudança cultural no ensino superior, o professor tem um papel de tutor no espaço acadêmico, facilitando o aprendizado através da metodologia (BARRETT; MOORE, 2010).

## 2.4 Aquaponia

Aquaponia é um domínio da agricultura que integra hidroponia e piscicultura em um sistema simbiótico. A prática ganhou mais interesse nos últimos anos devido a oferecer maior produtividade e menor impacto ambiental do que outros sistemas de produção (PALM et al., 2018).

Na aquaponia a maioria dos nutrientes necessários para sustentar a produção das plantas deriva de resíduos originados pela alimentação dos organismos aquáticos (PALM et al., 2018).

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesse capítulo faz-se uma análise de um estudo de *survey* de literatura relacionado a proposta desse TCC, e que complementa o estudo de mapeamento sistemático realizado no Capítulo 4. Trata-se do estudo *Survey on Wireless Sensor Networks Simulation Tools and Testbeds* (ABUARQOUB et al., 2016).

No estudo de (ABUARQOUB et al., 2016) defende-se que o sucesso da implementação de uma WSN depende de se ter os conceitos propostos devidamente testados e avaliados antes de partir para uma plataforma física. Simulações oferecem uma alternativa eficiente e de baixo custo para analisar a performance da aplicação antes da implantação, especialmente considerando que *testbeds* de grande porte não são viáveis devido ao custo e complexidade.

O objetivo dos autores era auxiliar pesquisadores na escolha de ferramentas de simulação. Eles ressaltam o ponto de que apenas simuladores são insuficientes para avaliar algoritmos de WSNs devido a seus resultados nem sempre refletirem a realidade. Uma forma de lidar com isso é a criação de padrões que possam ser utilizados em simuladores diferentes, assim facilitando a comparação de resultados entre eles. Além disso, eles também sugerem que pesquisadores disponibilizem o código das suas simulações e dediquem mais espaço nos artigos para descrevê-las.

Na Tabela 2, apresenta-se um sumário das ferramentas discutidas no artigo, seguido de uma descrição detalhada das mesmas.

Simulador	Linguagem	GUI	Genérico ou Específico	Código Aberto
SensorSim	C++	Não	Específico	Sim
TOSSIM	C++	Sim	Específico	Sim
TOSSF	C++	Sim	Específico	Sim
GloMoSim	C/Parsec	Sim	Genérico	Sim
Qualnet	C/C++	Sim	Genérico	Não
OPNET	C/C++	Sim	Genérico	Não
EmStar	C	Sim	Específico	Sim
SENS	C++	Não	Específico	Sim
J-Sim	Java	Sim	Específico	Sim
Dingo	Python	Sim	Específico	Sim
NS-3	C++	Não	Genérico	Sim
Shawn	C++	Não	Específico	Sim
GTSNetS	C++	Sim	Genérico	Sim
CNET	C	Sim	Genérico	Sim
TRMSimWSN	Java	Sim	Específico	Sim

Tabela 2 – Sumário de Simuladores em WSN

- SensorSim - foi criado com base no NS-2 com o objetivo de fornecer elementos adicionais para a modelagem de WSNs, suas principais funcionalidades são: modelos de

protocolo de energia e comunicação, modelos de sensores e canal de sensoriamento, geração de cenários e suporte para simulações híbridas.

Além disso, existe o projeto SensorSimII. Este foi desenvolvido de forma modular com sensores sendo organizado em componentes de aplicação, rede e conexão. Ambos os projetos são de código aberto e gratuitos, porém são limitados em sua habilidade de reproduzir cenários reais, além de ser uma plataforma difícil de usar.

- TOSSIM - é um simulador de eventos discretos desenvolvido especificamente para WSN, fazendo parte do TinyOS. Permite que seja feito o desenvolvimento de aplicações para TinyOS em um ambiente virtual sem a necessidade de compilação para um equipamento físico. Por sua natureza de ser um simulador para uma plataforma específica, sua utilidade acaba sendo limitada.
- TOSSF - também ligado ao TinyOS, sofre da mesma limitação quanto a plataforma, porém foi desenvolvido como uma evolução do TOSSIM com escalabilidade sendo seu foco principal.
- GloMoSim - é um simulador de propósito geral construído seguindo um sistema de camadas semelhante ao modelo OSI de redes. Segue uma abordagem orientada a objetos, com cada objeto sendo responsável por rodar uma camada do protocolo em cada nó. Não possui atualizações depois de 2000 e foi substituído por um produto comercial chamado QualNet.
- Qualnet - foi derivado do GloMoSim, expandindo consideravelmente o conjunto de modelos e protocolos que era suportado por ele. Possui um *design* modular e uma interface intuitiva facilitando seu uso.
- OPNET - é um simulador de propósito geral, porém diferente do NS-2 e GloMoSim ele suporta a modelagem de sensores específicos. Possui atrativos como uma vasta quantidade de documentação e casos de estudo, além de permitir que o usuário grave um conjunto grande de resultados. Porém possui pontos negativos como seus problemas de escalabilidade, código fechado e ausência de variedade de protocolos disponíveis.
- EmStar - é um *framework* baseado em componentes que tem por objetivo reduzir a complexidade de modelagem, permitindo que exista reuso e compartilhamento do trabalho desenvolvido, também buscando acelerar e simplificar o desenvolvimento de novas aplicações de WSN.

Apesar de não ser tão eficiente como outros *frameworks*, como por exemplo TOSSIM, o EmStar consegue disponibilizar um modelo de ambiente e rede simples no qual pode-se trabalhar em todas as etapas de desenvolvimento de aplicações de WSN

---

heterogêneas. Uma limitação presente é que o simulador suporta código apenas para os tipos de sensores para o qual foi desenvolvido.

- SENS - é um simulador baseado em componentes desenvolvido para aplicações WSN, ele consiste de componentes para aplicações, comunicação de rede e ambiente físico. Semelhante ao TOSSIM ele possibilita que o código fonte seja portado para sensores reais.

É um simulador menos customizável do que várias outras opções, não permitindo mudanças em protocolos MAC e outros protocolos de baixo nível. Além disso, apesar de ter modelos ambientais sofisticados, o único fenômeno mensurável é som.

- J-Sim - foi modelado a partir do NS-2 e desenvolvido em Java. Algumas vantagens que ele possui sobre o NS-2 de acordo com seus desenvolvedores são: sua arquitetura baseada em componentes tem maior escalabilidade do que o modelo orientado a objetos, tem um modelo de energia melhorado e a habilidade de simular o uso de sensores para a detecção de fenômenos.

Apesar de não ser tão complicado de usar quanto o NS-2, tem a desvantagem de não ser tão popular, tornando mais difícil de encontrar ajuda na comunidade durante o aprendizado. Também possui um conjunto de limitações como a linguagem Java ser menos eficiente e só aceitar um protocolo MAC.

- Dingo - é um simulador com foco em protocolos e algoritmos mantendo independência de plataforma. Semelhante ao SensorSimII ele possui um *framework* de visualização com o objetivo de facilitar depuração de redes de sensores, análise e compreensão do programa através da visualização da topologia das redes, o estado de cada nó e a transmissão de dados sensorizados.

O Dingo também permite que nós recebam dados de um banco de dados ou objetos gráficos como mapas, tornando suas simulações mais fiéis, além de permitir que resultados de simulação sejam comparados a dados reais. A plataforma possui vários pontos negativos como falta de uma camada MAC que, como consequência, afeta as comunicações e o gerenciamento de colisões. Além disso o projeto não possui suporte de seus desenvolvedores apesar de ainda estar disponível para uso.

- *Network Simulator* (NS-2 e NS-3) - o NS-2 foi desenvolvido como um simulador orientado a objetos com foco em pesquisa de redes, originalmente para redes IP e com fio. Inclui extensões para WSNs que oferecem grande flexibilidade para pesquisa na área, porém tem um número de limitações como impor restrições em customização, conter vários *bugs*, ter problemas de escalabilidade e o uso de C++ e Tcl tornarem sua utilização difícil.

Como uma forma de superar os problemas citados foi desenvolvido o NS-3. Ele suporta emulação e simulação, totalmente desenvolvido em C++, porém suporta

o uso de Python para definir simulações. Além de ter melhoras em desempenho e escalabilidade também suporta a interação com sistemas reais.

- Shawn - é um simulador código aberto criado com o objetivo de simular WSNs de larga escala nas quais simuladores fisicamente precisos falham. O seu diferencial é utilizar modelos abstratos para simular os efeitos de um fenômeno em vez de simular o fenômeno em si. Alguns pontos negativos são: falta de suporte a visualização e exigência de muita programação.
- GTSNetS - desenvolvido em C++ em um projeto de código aberto com o objetivo de realizar simulações de WSNs em grande escala. Foi desenvolvido de forma a permitir que usuários utilizam qualquer arquitetura para modelar ou simular uma WSN em particular. Possui as vantagens de oferecer rastreamento de toda a existência da rede simulada, medição do consumo de energia de cada unidade e suporte a mobilidade. Sua principal desvantagem é não ser atualizado desde 2008.
- CNET - é um simulador código aberto desenvolvido para pesquisa e aprendizado. Implementa os protocolos IEEE 802.112 e IEEE 802.3, tornando-o capaz de simular redes móveis e sem fio. É acompanhado por um conjunto de tutoriais e documentação que descrevem o processo desde a instalação até a etapa final de simulação. Possui uma interface gráfica que permite que o usuário mova nós com o mouse e mude seus atributos usando caixas de seleção. Seu principal ponto negativo é estar limitado a rodar no máximo algumas centenas de nós, tornando impossível utilizá-lo no estudo de redes de larga escala.
- TRMSim - é um simulador baseado em Java com um objetivo específico de estudar modelos de confiança e reputação. Oferece alguns dos modelos mais comuns na literatura e novos modelos podem ser facilmente adicionados utilizando a API disponibilizada. O simulador avalia a correção e precisão desses modelos, não permitindo estudar os aspectos relacionados a desempenho de rede. Não permite a modificação de propriedades de um nó específico e somente nós estáticos podem ser simulados.

O estudo de (ABUARQOUB et al., 2016) apresenta uma boa cobertura de ferramentas de simulação utilizadas em diversos domínios que utilizam WSN. No entanto, considera-se que a lista de ferramentas apresentadas ainda é limitada, e uma busca por alternativas adotadas nas pesquisas especificamente dirigidas ao contexto de problemas envolvendo agricultura torna-se necessário. Tal limitação na literatura da área restringe o professor quanto às recomendações de possíveis arquiteturas que podem ser adotadas para a solução de problemas especificamente encontrados na agricultura, como a aquaponia. Com vistas a ampliar a cobertura das arquiteturas WSN e Simuladores, o próximo capítulo apresenta como contribuição um estudo complementar.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

Estudos dirigidos para simulação de arquiteturas de software vem ganhando destaque no estado da arte de abordagens que necessitam integrar sistemas cooperativos (NETO et al., 2021), sendo WSN uma das formas de integração destes sistemas. Este capítulo apresenta como contribuição um estudo de mapeamento sistemático que buscou identificar as contribuições no estado da arte em simulações aplicadas para a área de agricultura, apontando domínios de aplicação que necessitam de integração via WSN, ferramentas de simulação utilizadas e metodologias de avaliação empregadas.

### 4.1 Estudo Secundário de Mapeamento Sistemático

Mapeamentos sistemáticos surgiram da necessidade de se ter um método para dar estrutura para uma área de pesquisa, enquanto revisões sistemáticas existem para coletar e sintetizar evidência. Eles podem ser utilizados de forma complementar com revisões sistemáticas. Um mapeamento é uma boa opção para ser conduzida inicialmente pois auxilia na identificação de lacunas de pesquisa (PETERSEN et al., 2008).

Com base nessa definição decidiu-se conduzir um mapeamento sistemático para entender o estado atual da pesquisa em simulações de redes de sensores sem fio na agricultura.

#### 4.1.1 Protocolo

A definição do protocolo de mapeamento incluiu definir as bases de dados para a busca de estudos, as *strings* de busca, critérios de inclusão e exclusão, as questões de pesquisa que o estudo deve responder e as questões de qualidade.

**Bases:** As bases de dados escolhidas são: IEEE *Xplore*, *Science Direct*, Scopus, ACM *Digital Library* e *Springer Link*.

**Critérios de Seleção:**

- Critério de inclusão:
  - CI01 - os estudos devem tratar de simulações de WSN para agricultura.
- Critérios de exclusão:
  - CE01 - trabalhos em idiomas além do Inglês;
  - CE02 - estudos fora do domínio de WSN;
  - CE03 - artigos indisponíveis ou apenas parcialmente disponíveis para download;
  - CE04 - estudos secundários;
  - CE05 - estudos indisponíveis nas bases de dados escolhidas.

Utilizou-se a seguinte *string* base para as buscas:

("wireless sensor networks"OR wsn OR wsan) AND ("internet of things"OR IoT)  
AND (simulation) AND (agriculture)

Considerando as particularidades de cada base de dados foram feitas adaptações em alguns casos a fim de otimizar os resultados.

A *string* utilizada para busca na *Scopus* foi:

TITLE-ABS-KEY ( ( "wireless sensor networks"OR wsn OR wsan ) AND ( "internet of things"OR iot ) AND ( simulation ) AND ( agriculture ) )

E a *string* utilizada na *Springer Link* foi:

wsn AND iot AND agriculture AND simulation AND "wireless sensor networks"

#### 4.1.1.1 Questões de Pesquisa

- QP 01 - Para quais ramos da agricultura IoT e WSN estão sendo utilizados? O objetivo é caracterizar os estudos pelos seus domínios de aplicação com um mapa que descreve as oportunidades disponíveis para simulações em WSN.
- QP 02 - Quais são as soluções técnicas propostas? O objetivo é classificar as tecnologias, métodos e técnicas propostas para os trabalhos.
- QP 03 - Como os estudos implementaram as simulações? Nosso objetivo é classificar esses estudos para que se torne possível caracterizar como as simulações estão sendo executadas na área.
- QP 04 - Quais foram os pontos positivos e negativos observados no estudo? O objetivo é caracterizar vantagens e/ou desvantagens que algumas propostas introduziram na área.
- QP 05 - Quais são as lacunas de pesquisa encontradas nos trabalhos? O objetivo é identificar as principais oportunidades de pesquisa na área.

#### 4.1.1.2 Questões de Qualidade

Para melhor classificar a qualidade dos estudos definiram-se duas questões de qualidade:

- QQ 01 - O estudo foi aplicado em casos reais com análise de exequibilidade?

Com as seguintes opções de resposta:

O estudo não apresenta evidência de exequibilidade.

O estudo apresenta uma simulação ou prova de conceito.

O estudo apresenta um relatório de exequibilidade completo em um cenário real.

- QQ 02 - Quais métodos de avaliação foram aplicados no estudo?

O estudo é um *philosophical paper*, *experience report* ou *opinion paper*

O estudo é uma *validation research* (*survey*, simulação, grupo focal, estudo analítico)

O estudo é uma *evaluation research* (experimento controlado, *quasi-experiment*, estudo de caso real, pesquisa de ação no mundo real)

#### 4.1.2 Condução e Execução

Após a criação do protocolo de mapeamento deu-se início a execução. Primeiramente a *string* de busca foi aplicada em todas as bases de dados escolhidas com os ajustes necessários para cada uma delas. A busca nas bases retornou 699 artigos no total. Na Figura 6 é apresentado um gráfico mostrando a quantidade de artigos divididos por base de dados:

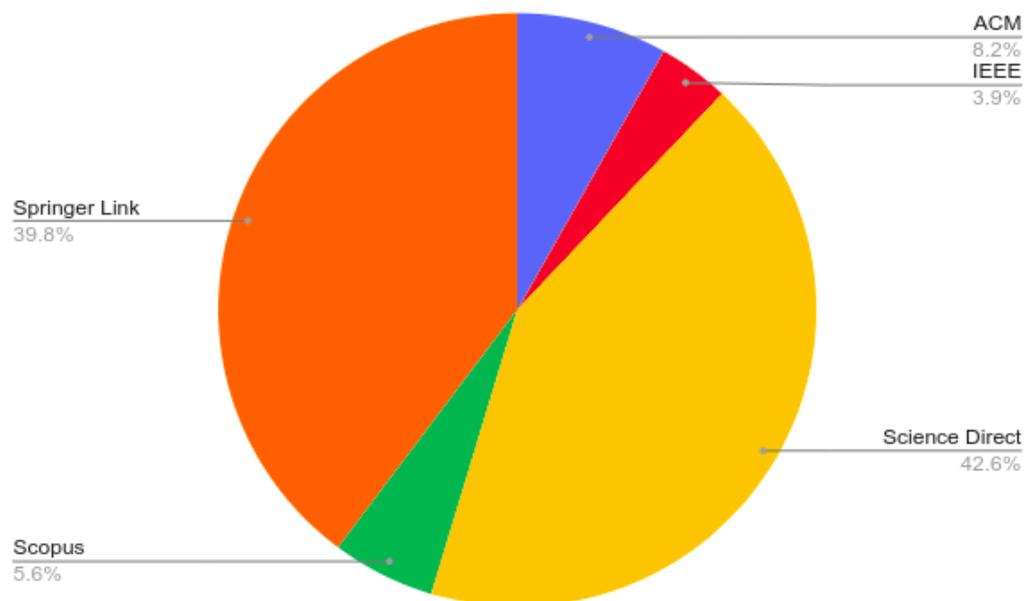


Figura 6 – Porcentagem de artigos por base de dados

Fonte: A autora

A partir dos resultados obtidos foi realizada a remoção de trabalhos repetidos e então foi feita a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave utilizando os critérios de inclusão e exclusão para selecionar os artigos que passariam para a próxima parte do mapeamento.

Após a primeira fase de seleção havia um total de 75 estudos, estes foram lidos por completo para realizar a seleção final que resultou em um total de 35 estudos. Na Tabela 3 é mostrado o número de artigos retornados inicialmente e o total de trabalhos aceitos em cada base de dados:

Base de Dados	Resultados	Aceitos
ACM	57	1
IEEE	27	8
Science Direct	298	8
Scopus	39	8
Springer Link	278	10

Tabela 3 – Bases de dados

### 4.1.3 Análise

#### 4.1.3.1 Respostas para as Questões de Pesquisa

**QP 01 - Para quais ramos da agricultura IoT e WSN estão sendo utilizados?**

Os artigos analisados englobam uma série de diferentes domínios, desde soluções mais genéricas que podem ser utilizadas em vários contextos até soluções focadas em um problema bastante específico. Na tabela 4 eles são listados e na tabela 5 eles estão organizados por domínio.

ID	Referência	ID	Referência
S01	(BHANU; HUSAIN; MIRZA, 2020)	S19	(AGRAWAL et al., 2019)
S02	(WU et al., 2020a)	S20	(NICOLAE et al., 2019)
S03	(MAHALAKSHMI et al., 2020)	S21	(ZHANG; XIONG; WANG, 2019)
S04	(KHELIFI, 2020)	S22	(LINSNER; VARMA; REUTER, 2019)
S05	(IQBAL; BUTT, 2020)	S23	(WANG et al., 2019)
S06	(JAIN, 2020)	S24	(IBRAHIM et al., 2018)
S07	(WU et al., 2020b)	S25	(DHALL; AGRAWAL, 2018)
S08	(MUKHERJEE et al., 2020)	S26	(JIANG et al., 2018)
S09	(SHAMSHIRI et al., 2020)	S27	(TANAKA et al., 2018)
S10	(LAVANYA; RANI; GANESHKUMAR, 2020)	S28	(SHIPU et al., 2018)
S11	(BAYRAKDAR, 2020)	S29	(UDDIN et al., 2018)
S12	(FAID; SADIK; SABIR, 2020)	S30	(UDDIN et al., 2017)
S13	(CASTELLANOS et al., 2020)	S31	(STEWART; STEWART; KENNEDY, 2017)
S14	(TROTTA et al., 2020)	S32	(NANDHINI et al., 2017)
S15	(BANÜR et al., 2019)	S33	(OJHA; MISRA; RAGHUWANSHI, 2017)
S16	(YASSINE; FATIMA et al., 2019)	S34	(CHEN et al., 2015)
S17	(UDDIN et al., 2019)	S35	(MUSAAZI; BULEGA; LUBEGA, 2014)
S18	(KHAN; KUMAR, 2019)		

Tabela 4 – Trabalhos selecionados para análise e extração dos dados

Os domínios com maior número de estudos tratam de Agricultura inteligente e de precisão, que em sua essência já trazem o uso de sensoriamento remoto. Sua natureza genérica permite que diversas pesquisas sejam realizadas dentro deles, o que significa que integram diversos sensores, em ambientes heterogêneos e dinâmicos de culturas e de fontes de dados. São, portanto, ambientes de menor controle, mais difíceis de simulação.

O domínio de estufa de vegetais inclui diferentes aspectos presentes em agricultura de precisão e inteligente. Porém, por se tratar de um ambiente fechado que oferece maior controle, facilita o uso de sensores.

Domínio	Estudo Mapeado
Agricultura de precisão	S04, S05, S06, S07, S13, S16, S19, S20, S22, S23, S25, S29, S31, S33, S34, S35
Agricultura inteligente	S01, S03, S08, S10, S11, S12, S14, S15, S17, S30
Estufa de vegetais	S02, S09, S24, S28
Irrigação inteligente	S21, S26
Cultivo de arroz	S27
Campo agrícola	S18
Detecção de doenças	S32

Tabela 5 – Domínios de pesquisa

A área de irrigação inteligente se baseia na utilização de sensores para monitorar as condições da plantação, e assim garantir que a irrigação seja feita de acordo com a necessidade. Ou seja, controlam a água conforme o ambiente monitorado, diferente de outros sistemas automatizados em que a irrigação é feita seguindo horários programados.

O campo agrícola possui mais variáveis de ambiente e oferece oportunidades de avanços com o uso de *drones* e câmeras. Em um domínio mais específico, o cultivo de arroz atualmente ainda exige muitos recursos, podendo se beneficiar de alternativas mais eficientes de produção.

A detecção de doenças é uma área relevante para todos os domínios de agricultura. Encontrar formas de realizar a detecção e controle de doenças é indispensável para obter alimentos de qualidade com maior eficiência.

#### **QP 02 - Quais são as soluções técnicas propostas?**

A análise das soluções técnicas propostas permite caracterizar os problemas encontrados na área de IoT e WSN, bem como apontar as tendências para sua resolução.

A análise das soluções técnicas propostas permite caracterizar os problemas encontrados na área de IoT e RSSFs, bem como apontar as tendências para sua resolução.

Em (KHELIFI, 2020), é feita a proposta de um algoritmo híbrido de rota com o uso de *clusters* baseados em regiões para a implantação de sensores. Portanto, o problema foco envolve *prover uma melhor cobertura para a área onde são utilizados os sensores*.

Em (SHIPU et al., 2018), propõe-se o uso de algoritmos de roteamento para resolver o seguinte problema: *melhorar a comunicação e o consumo de energia em RSSFs*. Tal problema se mostra ideal para simular ambientes motivados para domínios de estufas de vegetais, uma vez que se encaixarem melhor no ambiente controlado.

Em (JIANG et al., 2018), apresenta-se a proposta que trata de um problema relevante para *avaliar a eficiência em distâncias entre os nós da RSSF*. Por exemplo, em domínios de irrigação inteligente, onde os nós da rede necessitam de transmissão de longa distância e de baixo consumo de energia para operarem. Outro problema também derivado na motivação de irrigação é a tecnologia de nuvem de sensores (ZHANG; XIONG;

WANG, 2019).

Um problema comum investigado na literatura é para a *detecção e alastramento de doenças*. Por exemplo, (NANDHINI et al., 2017) explora a simulação num sistema *web* de detecção de doenças para segmentar e classificar doenças em folhas de romã, tomate e berinjela com o uso de *wireless multimedia sensor networks* (WMSNs).

Outro problema possível de ser tratado em simulação é para *identificar vulnerabilidades em RSSFs*. Por exemplo, o estudo de (LINSNER; VARMA; REUTER, 2019) apresenta testes de ataques em RSSFs, discutindo sobre questões de segurança na área e como elas afetam os custos de adesão. Outro trabalho neste problema adota um modelo de aplicação de *encryption-as-a-service* para verificar a comunicação entre nós via criptografia (MAHALAKSHMI et al., 2020).

Outro problema para simulação envolve *medir parâmetros pela mobilidade das bases de sensoriamento*. Por exemplo, a solução proposta por (KHAN; KUMAR, 2019) trata de um sistema de monitoramento de ambiente do campo utilizando uma base móvel para reduzir consumo de energia, *delay*, e *hop count* durante transmissão de dados.

*Medir a proximidade da modelagem com cenários reais* é outro problema possível de estudos exploratórios. Por exemplo, (WANG et al., 2019) e (WU et al., 2020b) trabalham no desenvolvimento de um simulador para investigar o uso de LoRaWan para RSSFs subterrâneas com o objetivo de permitir uma modelagem mais próxima da implantação.

Por fim, *sensoriamento de movimento para controle de invasão* também caracterizam potenciais para educação. Por exemplo, em (IQBAL; BUTT, 2020) os autores propõem um sistema para prevenção de ataques de animais em plantações utilizando os dados coletados por sensores colocados no campo.

### **QP 03 - Como os estudos implementaram as simulações?**

A seleção de uma ferramenta adequada para realizar a simulação também é do interesse de professores ministrantes de ABP. Nos estudos analisados, foram utilizadas 10 ferramentas, alguns trabalhos realizaram simulações em mais de uma delas dependendo da necessidade. A Tabela 6 apresentada a relação de ferramentas por estudos.

Além das ferramentas utilizadas para simulações, também buscou-se coletar os parâmetros monitorados pelos estudos analisados. Os sensores mais utilizados entre os trabalhos foram os de ambiente, incluindo parâmetros como umidade, pH, temperatura, luz, salinidade, pesticidas, sereno, dióxido de carbono e pressão do ar. Outros tipos comuns de sensores são os de imagens com câmeras para capturar imagens e vídeos e *drones* incluindo sensores de diferentes tipos.

### **QP 04 - Quais foram os pontos positivos e negativos observados no estudo?**

No geral, os autores argumentam que o uso de simulações se mostra útil para demonstrar as soluções motivadas, podendo inclusive ser usadas para comparações com outras propostas já existentes na literatura. Simulações são, portanto, muito interessantes

Simulação	Total de estudos	Estudos Mapeados
Network Simulator	11	S01, S04, S05, S06, S16, S18, S19, S21, S25, S28, S33
MATLAB	9	S02, S03, S12, S17, S09, S26, S29, S30, S32
Ferramenta própria	6	S07, S08, S09, S13, S23, S27
OMNET++	5	S14, S17, S22, S29, S35
COOJA	3	S14, S15, S20
Riverbed Simulator	2	S11, S24
MSPSim	1	S34
AGI-STK	1	S17
OPNET	1	S31
QualNet	1	S10

Tabela 6 – Ferramentas de simulação

para utilização em disciplinas de ABP.

Outro ponto positivo da simulação é que auxiliam na previsão do comportamento do sistema em um ambiente real. Portanto, podem ser utilizadas como alternativas pelos professores em disciplinas curriculares como Resolução de Problemas, que em particular é do interesse de cursos de graduação de Engenharia de Software, Ciência da Computação e Engenharia da Computação.

Apesar de apresentarem casos interessantes para a problematização em ABP, percebe-se uma limitação na literatura da área para servirem como materiais prontos para os estudantes. Por exemplo, a falta de informação disponibilizada sobre as simulações dificulta a compreensão do seu uso na prática do ABP. Por exemplo, o estudo (TANAKA et al., 2018), por ter um carácter mais científico, apresenta como principal contribuição uma ferramenta própria, sem motivar o problema e contextualizar um estudo aplicado. Um contra-exemplo é o estudo (UDDIN et al., 2017), que envolveu um cenário composto de três ferramentas de simulação para permitir que diferentes aspectos da proposta fossem simulados, sendo o único trabalho a utilizar a ferramenta AGI-STK.

Outra dificuldade para mapear estudos que possam servir como base para a condução de ABP é identificar os parâmetros dos estudos de simulação. Em alguns estudos como (AGRAWAL et al., 2019), (DHALL; AGRAWAL, 2018), (IQBAL; BUTT, 2020), (KHELIFI, 2020) e (ZHANG; XIONG; WANG, 2019), os autores oferecem informações sobre os parâmetros definidos, versão do simulador, configurações da máquina e sistema operacional, o que é positivo para a formulação de problemas práticos de desenvolvimento de software. Porém, as informações sobre os parâmetros geralmente estão implícitas, dificultando para professores e cientistas a materialização de problemas.

No geral, apesar de existir um bom número de trabalhos utilizando simulações, o que demonstra o potencial da área, percebe-se que não são estudos prontos para utilização em disciplinas de ABP. Em geral, a literatura da área foca na divulgação de suporte ferramental para demonstrar o funcionamento das propostas feitas, não oferecendo uma

visão detalhada das técnicas de simulação, que possuem maior valor para ABP.

#### **QP 05 - Quais são as lacunas de pesquisa encontradas nos trabalhos?**

A área apresenta potencial para estudos que sirvam como entrada para professores e cientistas que necessitam educar estudantes com base em problemas. Na execução do mapeamento, observou-se uma carência de informações sobre as simulações realizadas nos trabalhos. Algumas exceções são os estudos (IQBAL; BUTT, 2020), (ZHANG; XIONG; WANG, 2019), (KHELIFI, 2020) e (SHIPU et al., 2018), que dedicaram mais atenção ao ambiente de simulação, facilitando assim a compreensão de como o uso de simulações pode contribuir para a pesquisa de RSSFs na agricultura.

Existe uma carência de estudos que se aprofundem no problema do tema de simulações. Uma vez que o problema costuma ficar em segundo plano, o que dificulta o entendimento e torna difícil a reprodução dos cenários apresentados em possíveis disciplinas de ABP.

A preferência por ferramentas de simulação genéricas indica que há espaço para expandir a utilização de simuladores específicos para RSSFs, que poderiam proporcionar uma visão mais completa de como as soluções propostas podem ser aplicadas. Neste ponto, técnicas de visualização do cenário simulado, assim como realidade virtual e aumentada, podem contribuir para a assimilação de problema e desenvolvimento de soluções.

#### **4.1.3.2 Questões de Qualidade**

##### **QQ 01 - O estudo foi aplicado em casos reais com análise de exequibilidade?**

Método de avaliação	Quantidade	Estudos Mapeados
Não apresenta evidência de exequibilidade	1	S22
Simulação ou prova de conceito	31	S01, S03, S04, S05, S06, S08, S09, S10, S11, S12, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20, S21, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S30, S31, S32, S33, S34, S35
Relatório completo em cenário real	3	S02, S07, S13

Tabela 7 – Análise de exequibilidade

##### **QQ 02 - Quais métodos de avaliação foram aplicados no estudo?**

A classificação dos artigos é baseada no trabalho de (WIERINGA et al., 2005). Os autores definem seis categorias de pesquisa para serem usadas na avaliação de artigos.

- *Evaluation research* - é a investigação de um problema ou implementação de uma técnica em prática.

- *Proposal of solution* - é a proposta de uma solução, com uma justificativa para a sua relevância, porém sem uma validação completa.
- *Validation research* - é a investigação de uma solução proposta e ainda não implementada. Pode utilizar métodos como simulações, experimentos e análise matemática.
- *Philosophical papers* - propõem uma nova forma de ver as coisas, um novo *framework* conceitual.
- *Opinion papers* - são artigos que expressam a opinião do autor sobre um tópico, podendo ser positiva ou negativa, ou até mesmo sugerir como algo deve ser feito.
- *Personal experience papers* - focam na experiência pessoal do autor, tratando da prática e não da pesquisa. Estudos desse tipo devem conter as lições aprendidas pelo autor em sua experiência.

Na tabela 10 são apresentadas as categorias presentes nos estudos analisados, seguindo as questões de qualidade desenvolvidas no protocolo de mapeamento.

Método de avaliação	Quantidade	Estudos Mapeados
Validation research	25	S01, S02, S04, S05, S06, S08, S09, S10, S11, S12, S14, S15, S16, S18, S19, S20, S22, S23, S24, S25, S27, S28, S31, S33, S35
Solution proposal	5	S03, S17, S21, S26, S30
Evaluation research	5	S07, S13, S29, S32, S34

Tabela 8 – Métodos de avaliação

A maior parte dos estudos se concentrou no método de pesquisa de validação, este resultado se deve principalmente a natureza do mapeamento sendo realizado. Grande parte dos casos em que os pesquisadores escolhem utilizar simulações são aqueles em que tem o interesse em demonstrar se a solução proposta é viável.

#### 4.1.4 Ameaças à Validade

Foram consideradas algumas ameaças à validade do estudo de mapeamento sistemático que serão aqui discutidas. Na Tabela 9, descrevem-se os tipos de ameaças a validade de acordo com (PETERSEN; VAKKALANKA; KUZNIARZ, 2015).

O estudo foi realizado utilizando um protocolo detalhado e mantendo todas as informações relevantes salvas, para a extração de informações foi utilizado um formulário, assim seguindo as recomendações para garantir a validade descritiva e de repetibilidade. Quanto a generalizabilidade tentou-se criar um equilíbrio entre generalizar o suficiente para ter acesso a estudos diversos e manter o foco em um nicho de pesquisa, considerando os resultados obtidos conclui-se que a tentativa foi bem-sucedida.

Tipo de Ameaça	Descrição
Descritiva	O quanto observações são corretas e objetivas.
Teórica	Estudos podem não ser encontrados na fase de busca, pesquisadores podem ser parciais desde a identificação de estudos até sua classificação.
Generalizabilidade	O quanto pode-se generalizar dentro e fora de grupos do tópico de pesquisa.
Interpretativa	As conclusões alcançadas de acordo com os dados disponíveis, também sofre risco de pesquisadores serem parciais.
Repetibilidade	O detalhamento do protocolo utilizado para a realização do mapeamento.

Tabela 9 – Tipos de ameaças à validade

Uma ameaça do tipo teórica surgiu na criação da *string* de busca quando foi utilizado o termo “*simulation*”, como o termo não seria necessariamente usado pelos autores no título, resumo ou palavras-chave, o que em consequência faz com que alguns trabalhos que poderiam ser úteis para a nossa pesquisa não tenham sido incluídos. Porém foi necessário fazer essa especificação para que o número de resultados ficasse dentro de um intervalo que viabilizasse a continuação do estudo.

Como tentativa de mitigar esse problema fez-se a busca de trabalhos relevantes na área de IoT para agricultura, focando em estudos específicos que pudessem contribuir para o desenvolvimento do presente trabalho. Como resultado foi encontrado um estudo complementar que é discutido no Capítulo 3.

Outra ameaça à validade é do tipo interpretativa devido ao mapeamento ter sido executado pela autora deste trabalho, porém o estudo foi revisado por membros da pesquisa que tinham total acesso ao formulário de coleta de dados, evitando assim que a parcialidade do pesquisador tenha um impacto negativo nos resultados.

## 4.2 Análise de Domínio de Arquiteturas WSN Aplicáveis a Problemas de IoT para a Agricultura

Uma vez que se concluiu o estudo de mapeamento sistemático, realizou-se um estudo de agrupamento para com os materiais discutidos anteriormente sobre arquiteturas WSN e ferramentas de simulação. O objetivo foi, portanto, derivar um modelo arquitetural contendo as características de sistemas de IoT aplicados para o domínio de agricultura.

Além disso, de modo a auxiliar o professor na definição da estratégia de ensino, elaborou-se um modelo bastante utilizado para guiar o arquiteto de software na seleção de características do domínio: o Modelo de Features (BASSO, 2014).

O modelo derivado do estudo de agrupamento é apresentado na Figura 7. O mo-

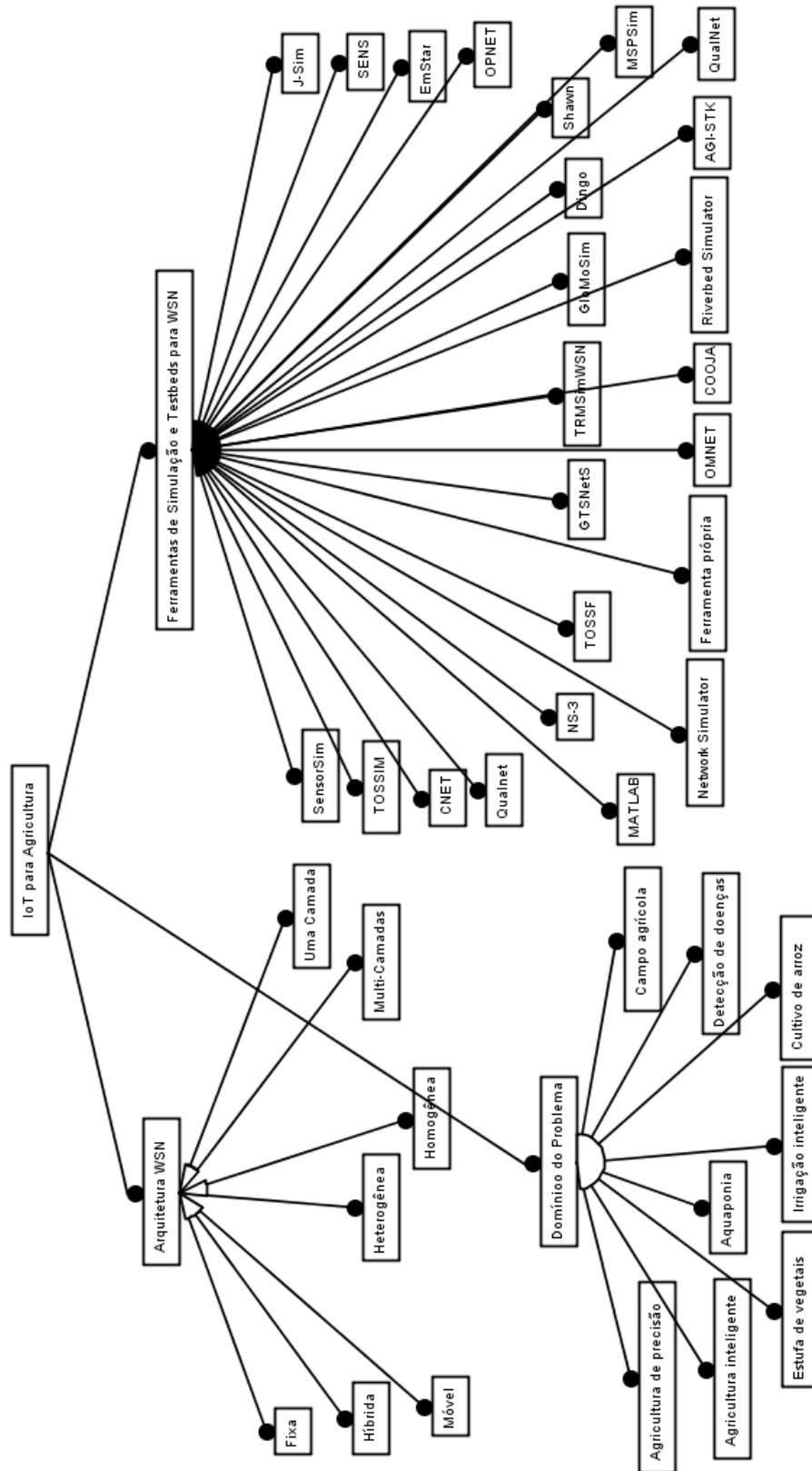


Figura 7 – Modelo de Features com as Possibilidades para Instanciação em Estratégias de Ensino

Fonte: A autora

delo contem as características e relações de sistemas de IoT aplicados na agricultura. Estas características foram discutidas ao longo do trabalho de conclusão de curso e foram derivadas tanto de trabalhos de terceiros como do estudo de mapeamento sistemático conduzido. Neste modelo, é preciso definir a arquitetura WSN utilizada, uma ou mais ferramentas de simulação e o domínio do problema à ser tratado na disciplina de ABP. Assim, o professor pode selecionar entre uma arquitetura fixa ou híbrida, heterogênea ou homogênea, de uma camada ou multi-camadas. Deve selecionar no mínimo uma ferramenta de simulação e/ou testbed, e apenas um domínio de problema.

Por fim, o próximo passo da pesquisa foi a definição de uma estratégia de ensino tendo como base a análise de domínio realizada, o que é detalhado no próximo capítulo.

## 5 ESTRATÉGIA DE ENSINO

Este capítulo apresenta a estratégia de ensino proposta para aplicação em disciplinas que utilizem a metodologia de ABP com simulações no domínio de aquaponia. Incluindo sugestões de como caracterizar um problema, recomendação de ferramentas, e como organizar os marcos da disciplina.

Simulações permitem que sejam realizados testes para o funcionamento dos sistemas tanto em condições normais quanto em cenários em que algo não ocorra como o esperado. Elas tornam possível que soluções sejam testadas em estágios iniciais com custo reduzido por não serem diretamente dependentes de *hardware*. Implementar algo fisicamente exige um investimento maior e quando a solução não foi extensivamente testada as chances de problemas ocorrerem são maiores.

O uso de simulações também permite que os desenvolvedores possam demonstrar o funcionamento da solução oferecida, assim tornando possível que os interessados possam avaliar se a proposta se encaixa às suas necessidades. Isso se torna particularmente interessante quando considera-se a barreira de adoção de sistemas IoT, como o que foi apontado por (YANES; MARTINEZ; AHMAD, 2020) sobre grande parte das instalações comerciais de aquaponia não serem economicamente viáveis.

Em um ambiente acadêmico esses pontos se mostram ainda mais aparentes, o custo e impraticabilidade de desenvolver soluções de WSN utilizando dispositivos físicos torna virtualmente impossível sua utilização envolvendo dezenas de alunos. No entanto, é importante que acadêmicos tenham a oportunidade de desenvolver pesquisas na área, assim é essencial que o uso de simulações seja explorado nesse contexto.

Com esse propósito, a proposta deste trabalho é explorar o uso de simulações como uma alternativa a implementação em dispositivos físicos que seja acessível para disciplinas que usem a metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas.

### 5.1 Caracterização de um problema

O primeiro passo é a definição da característica à ser explorada na disciplina de ABP quanto à "Domínios de Problema". Para facilitar a compreensão dos alunos em relação à pesquisa a ser realizada, sugere-se que o problema apresentado de forma que seja possível entender sua aplicação fora do ambiente acadêmico. Como exemplo, será discutido o domínio de aquaponia, que é apresentado de modo muito didático em diversos vídeos encontrados no canal do Youtube "Aquaponia MS"<sup>1</sup>. No canal, o autor apresenta muitas soluções mecânicas, ou "as coisas", para automatizar a produção aquapônica. No entanto, falta ao canal elementos associados com a automação viabilizada por elementos de IoT, em especial os que necessitam de processamento de sinais entre sensores em uma WSN. Esta limitação é o foco de contribuição que se dará em uma disciplina de ABP.

<sup>1</sup> Aquaponia MS - <<https://www.youtube.com/channel/UChPkO6sN9lG40NveH0OyJAw>>

Em um cenário utilizando um problema de WSN em aquaponia, onde hidroponia e aquicultura são combinados em um ambiente simbiótico, cada nó sensor poderia representar um sensor real para diferentes parâmetros que precisam ser medidos no domínio. Em sua revisão, (YANES; MARTINEZ; AHMAD, 2020), define 19 parâmetros considerados cruciais em sistemas aquapônicos. Estes parâmetros são descritos na Tabela 10.

Um ponto levantado pelos autores e que pode ser utilizado para auxiliar no entendimento do objetivo da pesquisa é a importância cada vez maior de avançar as técnicas de produção agrícola, levando em consideração o impacto ambiental e a demanda constante de alimentos. Uma alternativa para o processo tradicional de produção de alimentos está presente na aquaponia.

O sistema simbiótico da aquaponia, que combina a aquicultura com hidroponia, imita a maneira que plantas e peixes interagem na natureza. Também é uma alternativa para auxiliar na redução do consumo de carne vermelha, que tem o maior impacto ambiental entre as proteínas de origem animal, e reduz o uso de pesticidas em vegetais (YANES; MARTINEZ; AHMAD, 2020).

### 5.1.1 Seleção da Arquitetura WSN

O segundo passo é a seleção das características para a "Arquitetura WSN". Neste caso, é importante realizar uma análise do problema (das coisas, da internet e dos parâmetros de simulação) que se pretende agregar ao desafio de implementação da solução de IoT. Com base nesta análise, será possível ao professor, e mesmo aos alunos, determinar qual será a arquitetura WSN à ser adotada para a solução do problema.

Para tal, uma análise mais aprofundada dos parâmetros de cada "Domínio de Problemas" deve ser realizada. Uma vez que para esta estratégia de ensino o domínio do problema é a automação da produção de aquaponia, derivou-se os parâmetros apresentados na Tabela 10. Caberá ao professor e alunos decidirem quais destes parâmetros serão empregados em problemas menores, que devem ser planejados em Marcos de até dois meses de duração.

Com base nos parâmetros selecionados, determina-se a arquitetura WSN à ser utilizada: uma opção dentre Fixa, Móvel e Híbrida, uma opção dentre homogênea e Heterogênea, e uma opção dentre uma camada e multi-camadas.

## 5.2 Seleção dos Simuladores

A próxima etapa pode ser a seleção das características que serão exploradas para "Ferramentas de Simulação e *Testbeds* para WSN".

Nessa seção serão discutidas algumas alternativas de ferramentas, incluindo seus pontos positivos e negativos, além disso é feita uma recomendação de ferramenta a ser utilizada. Também é feito o uso de uma demonstração conceitual para justificar a reco-

Tabela 10 – Parâmetros Associados com Sistemas Aquapônicos

Parâmetro	Descrição
Água	O fator mais importante em sistemas aquapônicos, afinal, é o meio usado para prover nutrientes para as plantas. É também o fator mais complexo no que se trata de automação, pois depende do controle de diversos parâmetros simultaneamente.
Nitrificação	É o processo de transformação da amônia—obtida a partir dos dejetos dos peixes— em nitrogênio com a utilização de bactérias. Esse processo envolve o monitoramento do total de amônia-nitrogênio (TAN) presente na água e a transformação da amônia em nitritos e nitratos pelas bactérias. Sempre monitorando para garantir que nenhuma dessas substâncias alcance níveis tóxicos.
pH	É uma medida de concentração de íons de hidrogênio, comumente conhecido como uma medida de acidez ou alcalinidade de uma solução. Alterações no pH da água podem alterar o equilíbrio do sistema aquapônico, alterando a taxa de reprodução dos peixes ou causando deficiência de nutrientes nas plantas.
Temperatura	Está ligada à maioria dos outros parâmetros relacionados à água. Se a temperatura fica fora do intervalo ideal para os organismos presentes no sistema aquapônico isso pode afetar o processo de nitrificação, pois afeta a produtividade das bactérias, e também pode ser nocivo para a saúde dos peixes e das plantas.
Nível	importante principalmente para a parte de aquacultura do sistema. O nível de água em relação a quantidade de peixes é o principal fator de estresse para os organismos, podendo afetar negativamente a sua saúde e crescimento.
Oxigênio dissolvido	É a quantidade de oxigênio disponível na água para os organismos. Sendo reportado como o fator com efeitos mais drásticos e imediatos em sistemas aquapônicos. O nível baixo de oxigênio dissolvido afeta a produção de TAN dos peixes, o processo de nitrificação, pode fazer com que as raízes das plantas morram e facilita o surgimento de fungos.
Condutividade elétrica	é a medida da habilidade de um meio de conduzir corrente elétrica, quando se trata de água está altamente relacionada à sua salinidade. Níveis baixos podem indicar que o sistema não está balanceado, enquanto níveis altos indicam que a água está poluída—o que pode causar morte dos peixes.
Total de sólidos dissolvidos	Representam o conteúdo de sais inorgânicos, material orgânico e outros materiais dissolvidos na água. Níveis altos podem tornar o ambiente tóxico para a maioria dos peixes. O sensor utilizado para o monitoramento costuma ser o mesmo de condutividade elétrica.
Salinidade	Indica a concentração de sal presente na água e afeta o crescimento e densidade dos peixes. Também pode ser monitorado com o mesmo sensor de condutividade elétrica.
Dureza da água	É a medida da concentração de sais de cálcio e magnésio com carga positiva presentes na água. Ambos são essenciais para a saúde dos peixes, principalmente para a formação de escamas e ossos. Níveis baixos podem causar estresse nos peixes e níveis altos podem ser letais, pois aumentam o pH da água, causando um baixo índice de nitrificação e prejudicando a absorção de nutrientes pelas plantas.
Alcalinidade	É a medida de concentração das bases, normalmente de carbonato e bicarbonato. Diferente da dureza da água que mede os íons positivos, a alcalinidade mede os íons negativos. Em níveis baixos faz com que pequenas quantidades de ácidos alterem drasticamente o pH da água, enquanto níveis altos tornam amônia não tóxica em tóxica.
Fluxo	É extremamente importante para estimar a capacidade de filtração e nitrificação do sistema, além de determinar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. O fluxo ideal varia dependendo do tipo de sistema aquapônico implementado.
Ambiente	Trata das condições do ar em contato com as plantas. Para garantir o crescimento estável e saudável dos peixes e das plantas é necessário monitorar e controlar alguns fatores ambientais.
Temperatura do ar	Tem influência na saúde dos plantas, temperaturas altas fazem com que verduras comecem a florescer. Também é responsável pela transpiração adequada das plantas.
Umidade relativa	É uma expressão da umidade do ar. A maioria das plantas produzidas em sistemas aquapônicos exigem que o ar seja úmido, por isso é um parâmetro que deve ser bem gerenciado.
Dióxido de carbono	É um componente essencial da fotossíntese, em ambientes de produção em massa é possível que as plantas utilizem todo o dióxido de carbono do ambiente, fazendo necessário que se tenha o controle da disponibilidade e até mesmo a adição de dióxido de carbono.
Umidade de substrato	Quando o componente hidropônico do sistema utiliza plantio em substrato é necessário monitorar a sua umidade. Um sensor de umidade do solo oferece as leituras necessárias e em conjunto com as informações sobre a quantidade para o tipo de solo e planta pode-se facilmente manter a umidade dentro do ideal.
Intensidade de luz	É um fator essencial para a saúde das plantas, porém quando a produção se dá em locais fechados pode se tornar limitada ou inexistente. As plantas utilizam uma parte do espectro de luz chamada radiação fotossinteticamente ativa. A presença de níveis adequados de luz garante o crescimento saudável das plantas. Em algumas culturas, como alface e repolho, a presença de luz excessiva tem um efeito negativo no sabor das plantas.

mendação de ferramenta e ilustrar como a mesma pode ser utilizada em um cenário de ensino.

### 5.2.1 COOJA

Cooja Simulator é uma ferramenta de simulação distribuída como parte do projeto Contiki OS<sup>2</sup>. O simulador é baseado em Java e desenvolvido com o objetivo específico de ser utilizado para simulações de *Wireless Sensor Networks*, além disso a plataforma é capaz de simular diversos modelos de sensores reais (VELINOV; MILEVA, 2016).

#### 5.2.1.1 Instalação

Para utilizar o Cooja existem duas possibilidades, instalar o Contiki OS de forma independente, ou utilizar a máquina virtual disponibilizada pelos desenvolvedores. Para instalar o Contiki OS é necessário utilizar um sistema operacional baseado em Linux, como muitos alunos utilizam outros sistemas operacionais essa alternativa se mostra menos adequada.

Recomenda-se a utilização do Instant Contiki, uma máquina virtual já previamente configurada que facilita o uso do Cooja Simulator, especialmente no ambiente acadêmico onde o ideal é diminuir a dificuldade para utilização das ferramentas. Outra vantagem do uso de uma máquina virtual dentro das disciplinas de Resolução de Problemas é que assim o ambiente de todos os grupos é padronizado.

Após iniciar a máquina virtual é necessário abrir um terminal e executar alguns comandos para utilizar o simulador, como pode ser visto na Figura 8.

### 5.3 Demonstração Conceitual Genérica de Simulação

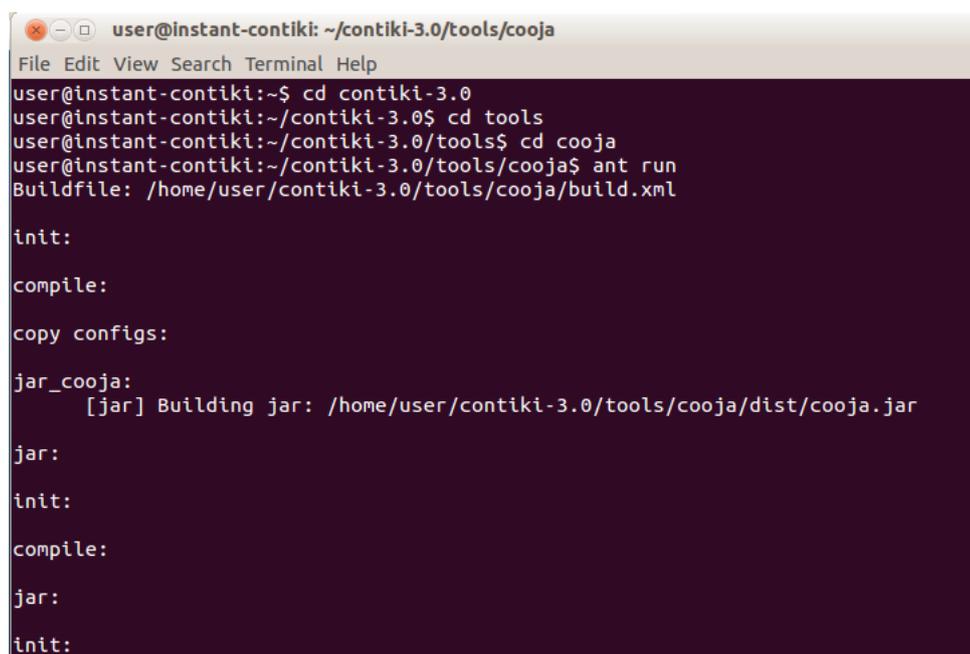
Para fins didáticos foi executada uma simulação utilizando Cooja na versão 3.0 do Instant Contiki. Na Figura 9 está a tela inicial onde é possível criar uma nova simulação. A seguir, na Figura 10 pode ser visto o menu para escolha de sensor. Os sensores utilizados para a simulação foram nós Sky, que são um dos modelos disponíveis no simulador e podem ser vistos na Figura 11.

Após escolher o sensor a ser utilizado é preciso compilar o código para o nó, o Cooja Simulator inclui uma seleção de códigos de exemplo que podem ser usados nas simulações. Na Figura 12 é apresentada a tela onde é realizada a etapa de compilação, nesse exemplo está sendo executada a compilação do nó base.

O ambiente simulado é composto por dez nós sensores enviando dados para uma base, na Figura 13 apresenta-se a topologia da simulação com o nó 1 sendo a base e os de 2 a 11 sendo nós sensores. A organização foi definida aleatoriamente pelo simulador,

---

<sup>2</sup> <https://www.contiki-ng.org/>



```
user@instant-contiki: ~/contiki-3.0/tools/cooja
File Edit View Search Terminal Help
user@instant-contiki:~$ cd contiki-3.0
user@instant-contiki:~/contiki-3.0$ cd tools
user@instant-contiki:~/contiki-3.0/tools$ cd cooja
user@instant-contiki:~/contiki-3.0/tools/cooja$ ant run
Buildfile: /home/user/contiki-3.0/tools/cooja/build.xml

init:
compile:
copy configs:
jar_cooja:
[jar] Building jar: /home/user/contiki-3.0/tools/cooja/dist/cooja.jar
jar:
init:
compile:
jar:
init:
```

Figura 8 – Comandos para executar o simulador

Fonte: A autora

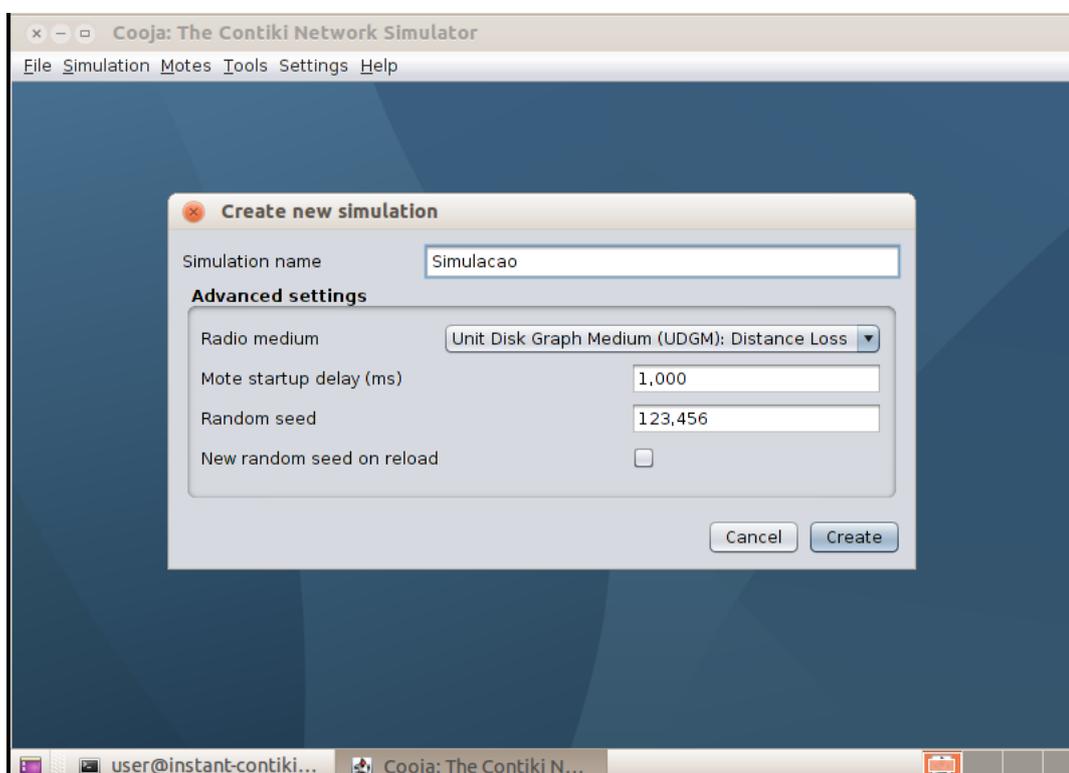


Figura 9 – Tela de criação de simulação

Fonte: A autora

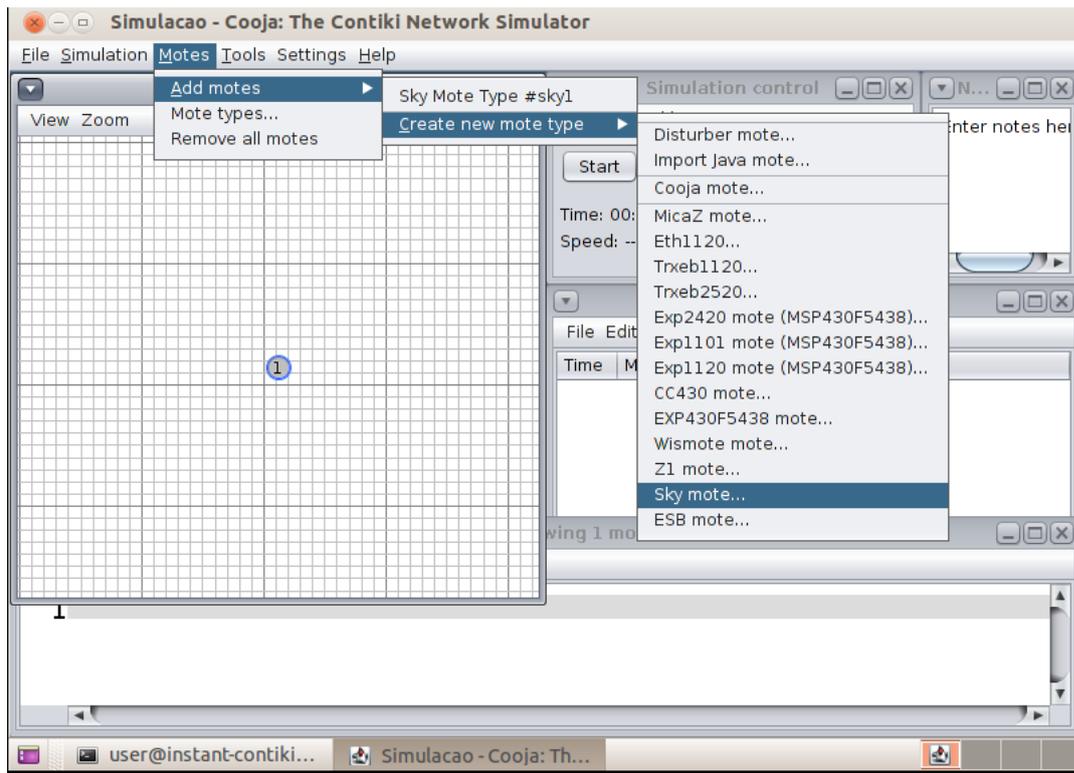


Figura 10 – Menu de escolha de sensor

Fonte: A autora

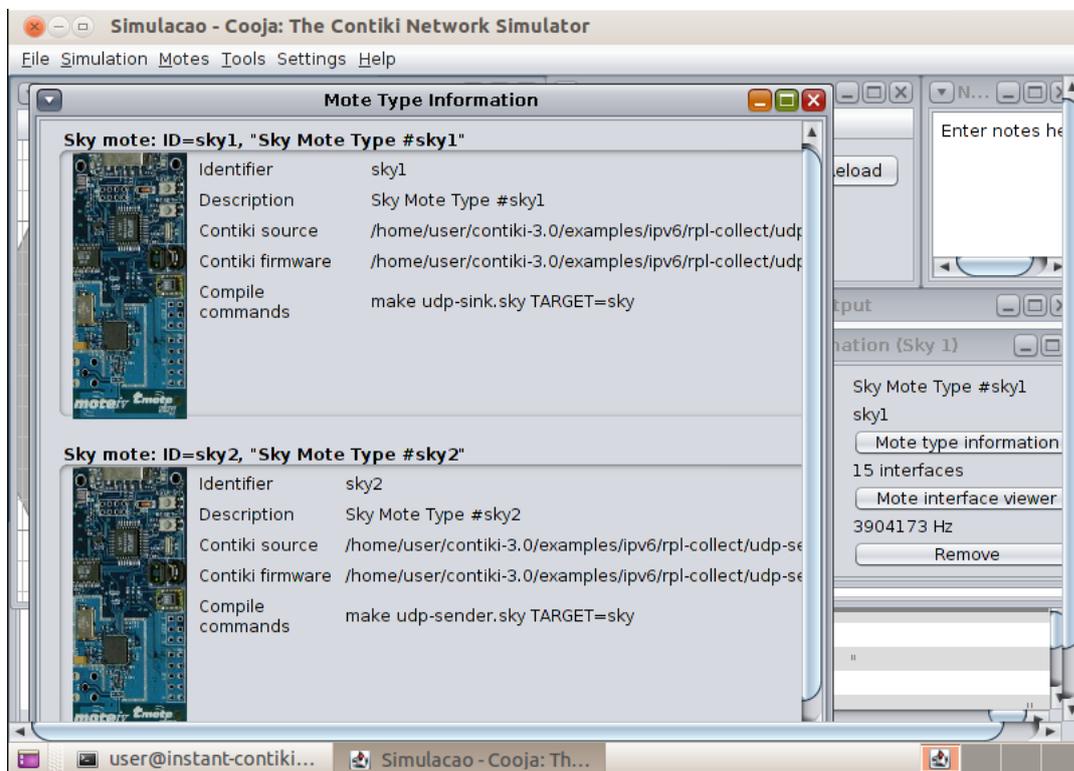


Figura 11 – Sensores utilizados

Fonte: A autora

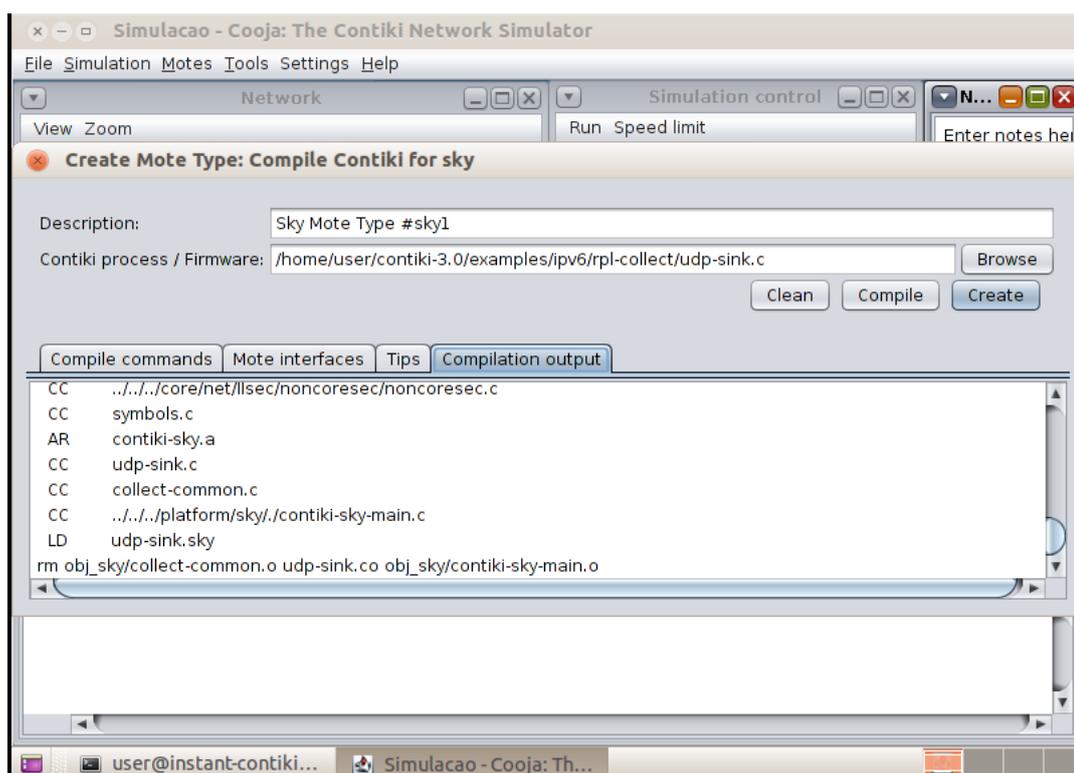


Figura 12 – Compilação de código para o sensor

Fonte: A autora

no entanto foram feitos ajustes para que a base ficasse localizada no centro da grade com todos os nós sensores dentro do seu alcance.

Na Figura 14 pode ser vista a simulação sendo executada com os códigos para base e sensores disponíveis na ferramenta, mostrando a comunicação entre nós enquanto acontecem. Essas e outras informações podem ser capturadas durante a simulação para serem analisadas posteriormente.

Para a análise da simulação é preciso fazer uma coleta dos dados, na Figura 15 está a tela na qual o usuário deve configurar como deseja que seja feita a coleta dos dados. Quando a etapa de coleta de dados é completada é possível acessar os resultados, um exemplo pode ser visto na Figura 16 onde está a média de consumo de energia dos sensores.

## 5.4 Recomendação

Considerando o objetivo de aplicar simulações em um ambiente acadêmico, considerou-se importante encontrar uma ferramenta de fácil instalação e que esteja disponível para diversas plataformas, a fim de atender as necessidades de alunos e professores. Assim, a ferramenta escolhida foi o Cooja Simulator, o mesmo é disponibilizado em forma de máquina virtual permitindo assim emular um sistema real de IoT nas mesmas condições em qualquer computador.

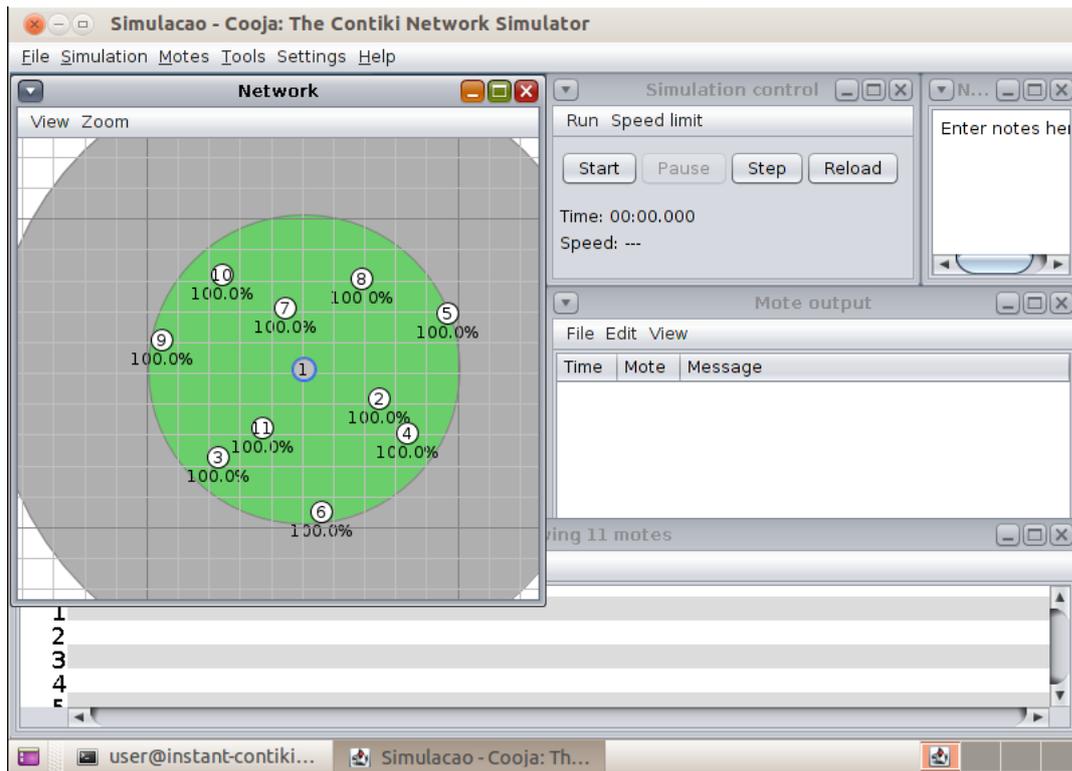


Figura 13 – Topologia da simulação

Fonte: A autora

Além de garantir que o ambiente de simulação esteja disponível para todos os envolvidos de maneira equivalente, outra vantagem do uso de Cooja é não possuir uma barreira para iniciar o desenvolvimento de simulações. Por ser uma máquina virtual previamente configurada, não existe um grande risco de complicações de instalação e em poucos minutos até mesmo um usuário inexperiente é capaz de realizar uma simulação com a ferramenta.

Em um ambiente de ABP a utilização dessa ferramenta possibilita que alunos desenvolvam algoritmos diferentes como solução do problema apresentado e os mesmos sejam executados facilmente por qualquer um dos envolvidos, sejam outros alunos ou professores.

#### 5.4.1 TOSSIM

A principal alternativa ao Cooja Simulator é o TinyOS Simulator (TOSSIM), ferramenta desenvolvida para a simulação de soluções projetadas para TinyOS. Ele tem uma proposta semelhante ao Cooja Simulator na sua busca de disponibilizar uma plataforma capaz de realizar simulações mais próximas do ambiente real. Os desenvolvedores do TOSSIM realizaram apenas algumas mudanças de baixo nível nos componentes do TinyOS e assim o simulador funciona executando o mesmo código utilizado nas redes físicas (LEVIS et al., 2003).

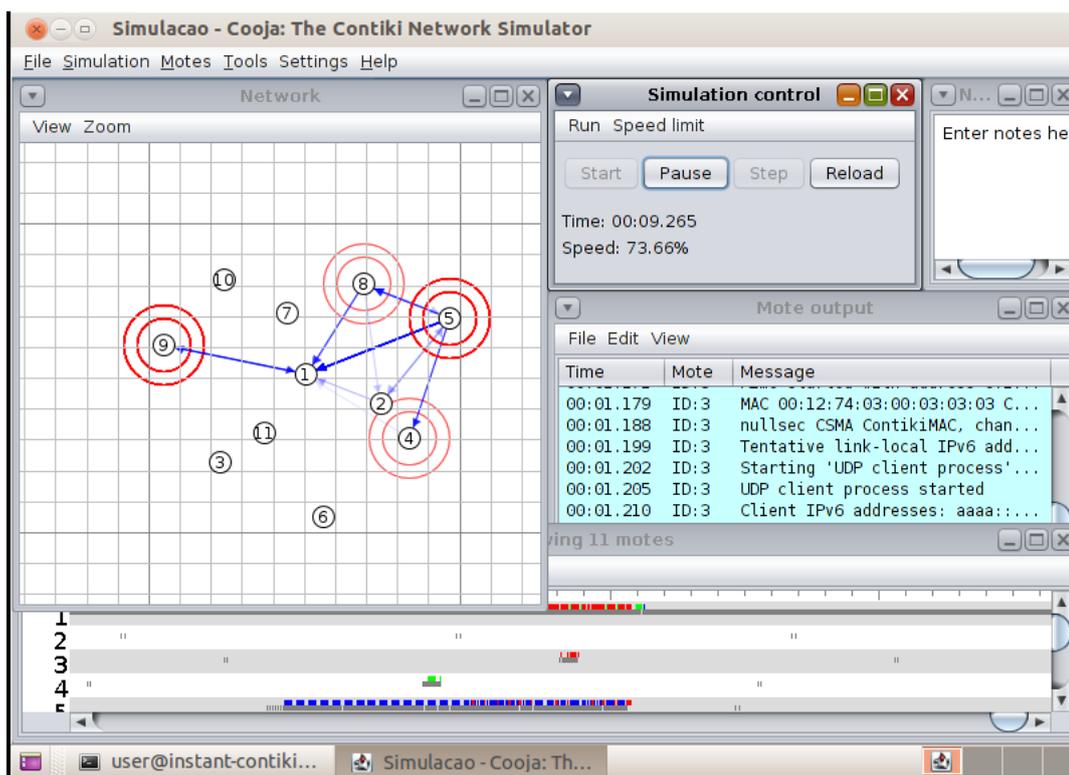


Figura 14 – Simulação sendo executada

Fonte: A autora

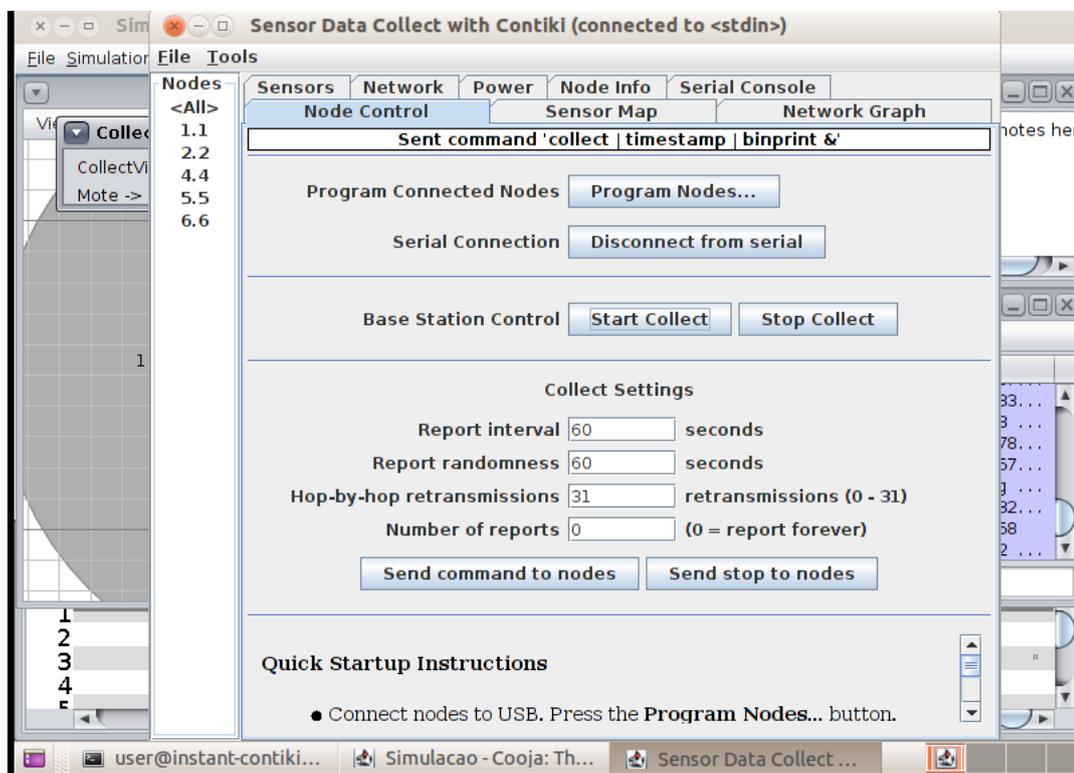


Figura 15 – Coleta de dados

Fonte: A autora

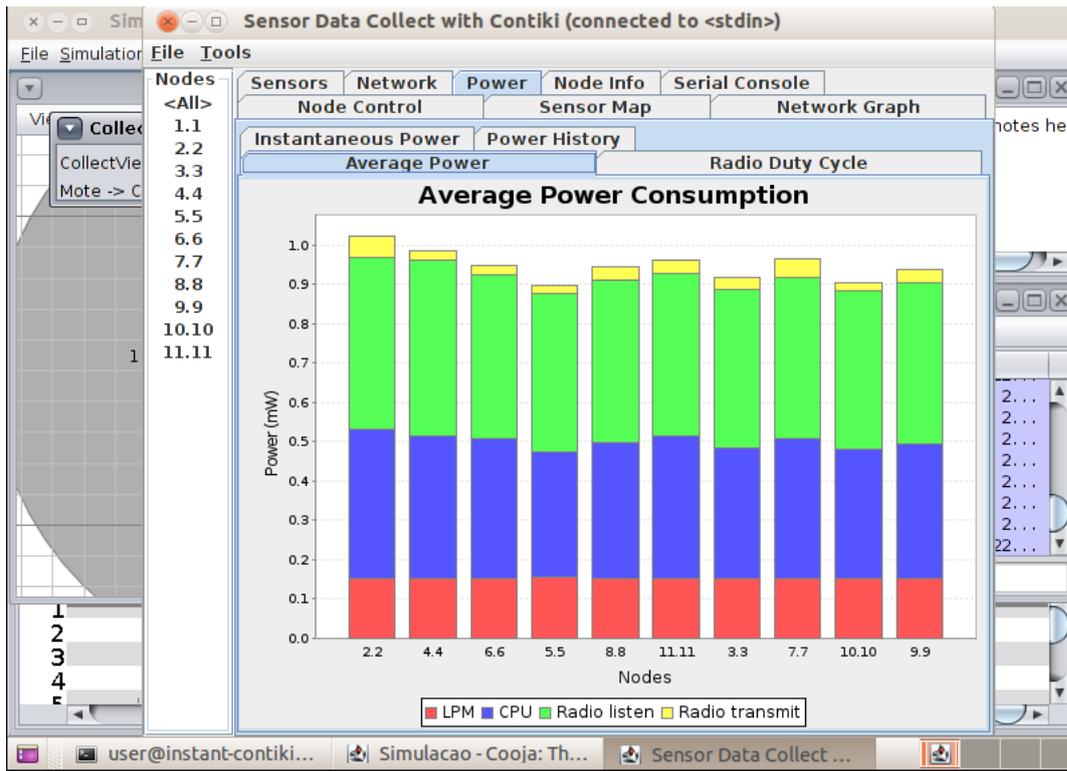


Figura 16 – Média de consumo de energia

Fonte: A autora

Apesar do seu objetivo ser equivalente ao do Cooja Simulator, a instalação do TOSSIM se mostra mais difícil por não contar com facilidades como a máquina virtual disponível para o contikiOS. Isso faz com que a instalação do TOSSIM apresente desafios especialmente ao considerar a utilização da ferramenta dentro de uma disciplina de Resolução de Problemas, um cenário onde os alunos não teriam tempo disponível para se familiarizarem com uma ferramenta complexa.

O uso do TOSSIM também apresenta desafios, principalmente para os alunos de Engenharia de Software, pois a linguagem utilizada por ele é o NesC. Essa não é uma linguagem que os alunos tenham contato durante o curso e sua complexidade cria uma barreira de entrada maior para o início da utilização da ferramenta.

#### 5.4.2 J-Sim

Considerando a grade curricular do curso de Engenharia de Software e o seu foco na utilização de Java como principal linguagem de programação nas disciplinas, foi importante buscar alternativas de simuladores que utilizem Java.

J-Sim é um simulador de redes baseado em componentes desenvolvido em Java. Além do uso de Java como linguagem para a utilização da ferramenta, também existe um suporte para linguagens de *script*, com a versão 1.3 possuindo integração completa com Tcl. Com as classes sendo escritas em Java e ligadas com *Tool Command Language* (Tcl)

(SOBEIH et al., 2006).

O que dificulta a utilização do J-Sim para o objetivo desse trabalho é que sua versão mais recente foi lançada em 2006, fazendo com que atualmente a ferramenta esteja se aproximando de 15 anos sem nenhuma atualização. Até mesmo a documentação do J-Sim não está mais disponível no site da ferramenta, tornando inviável que venha a ser utilizada em um ambiente acadêmico.

## 5.5 Organização da Estratégia de Ensino

As disciplinas de Resolução de Problemas são organizadas entre 3 e 5 marcos, nos quais os alunos devem desenvolver um determinado conjunto de atividades. Para auxiliar na aplicação da estratégia de ensino apresentada neste trabalho, são definidos exemplos de marcos que podem ser utilizados pelos professores em disciplinas de ABP.

**Requisitos para os alunos:** Para garantir que os alunos matriculados possam desempenhar as tarefas exigidas na disciplina, alguns conhecimentos prévios são recomendados. Os alunos devem ter conhecimento de algoritmos e programação, análise de requisitos e redes de computadores.

**Requisitos para o agente externo:** O agente externo é aquele indivíduo ou grupo que traz o problema para ser incubado na disciplina. Para finalidade de exemplificação, este documento assume que o agente externo é um profissional da área da agricultura que produza peixes e hortaliças com técnicas de aquaponia.

**Requisitos para a estruturação da estratégia de ensino:** A estrutura definida a seguir pode ser adaptada de acordo com as necessidades de cada disciplina em que for aplicada e deve ser usada como um modelo para auxiliar os professores no planejamento para disciplinas de ABP. Para exemplificar cenários específicos do domínio de aquaponia, para cada marco são descritos problemas, os dispositivos relacionados, como utilizá-los em sistemas de IoT e o que pode ser simulado para estes cenários. É tarefa do professor fazer essa instanciação tendo como base a revisão de literatura apresentada neste TCC, além de outros materiais que aprofundem o problema à ser resolvido.

### 5.5.1 Marco 1

No primeiro marco do semestre é importante dedicar tempo para que os alunos possam se familiarizar com as tecnologias a serem utilizadas no semestre. Essa primeira etapa se torna ainda mais relevante quando se trata de algo que os alunos não tem contato em disciplinas anteriores, o que é o caso no desenvolvimento de pesquisa com o uso de simulações de WSNs.

Após os alunos estarem familiarizados com a ferramenta de simulação, pode-se então partir para o trabalho com a primeira etapa do problema definido pelo professor. Recomenda-se que nesse momento seja apresentado um problema mais simples para ga-

rantir que os alunos sejam capazes de desenvolver soluções sem que exista uma sobrecarga de tarefas, mas que ainda ofereça um nível de complexidade que permita que as atividades sejam divididas entre os membros do grupo.

Durante esse marco as atividades devem ser limitadas a interação com poucos sensores, de forma a permitir que os alunos entendam melhor o seu funcionamento e assim seja possível focar no aprendizado.

**Problema:** Como automatizar a alimentação dos peixes?

**Coisa (*Thing*):** Kit automação *fish in box* ou semelhante. É um kit que utilizando conexão *bluetooth* possam ser programados os horários para alimentação dos peixes. Quando chega o horário programado um mecanismo é acionado para que a ração dos peixes seja distribuída no tanque.

**Internet:** Considerando que esse primeiro marco deve ser mais simples para que os alunos consigam se familiarizar com as atividades, o ideal para esse momento é o uso de um temporizador associado a um atuador que seria acionado nos horários de alimentação dos peixes.

**Teste/Simulação:** Nesse primeiro momento a simulação pode focar em acompanhar o comportamento do sistema de alimentação, procurando avaliar a comunicação do temporizador com o atuador e como lidar com casos em que o mecanismo não é acionado ou quando existe uma falha na comunicação.

### 5.5.2 Marco 2

Essa é a etapa em que os alunos devem ser capazes de executar tarefas com maior complexidade, logo, é quando o professor pode expandir o escopo do problema apresentado para os grupos. Também é recomendado que esse marco seja utilizado para desenvolver as habilidades de análise dos resultados das simulações com os grupos, incluindo essa tarefa como parte do escopo.

Com os grupos estando suficientemente familiarizados com as tecnologias sendo utilizadas e as atividades envolvidas na realização de simulações, podem então avançar para a etapa final da disciplina.

**Problema:** Como otimizar os períodos em que a bomba de água fica ligada?

**Coisa (*Thing*):** A bomba de água que é utilizada para manter o fluxo do sistema aquapônico.

**Internet:** Para tratar deste problema é importante focar em alguns dos parâmetros especificados na Tabela 10, principalmente os parâmetros fluxo, temperatura e nível de água.

**Teste/Simulação:** A simulação deve permitir que sejam avaliados os efeitos de diferentes configurações de tempo de atividade da bomba de água nos parâmetros relacionados, assim buscando otimizar o consumo de energia e a vida útil do equipamento.

### 5.5.3 Marco 3

Nessa etapa os alunos devem ser capazes de completar uma simulação utilizando a ferramenta escolhida e assim completar o desenvolvimento da solução para o problema apresentado no início do semestre letivo. O ideal é que seja apresentado um problema que incentive os alunos a buscarem soluções para problemas com um maior impacto que podem surgir em um ambiente real de aquaponia.

**Problema:** Como garantir a oxigenação da água em casos de falta de energia?

**Coisa (*Thing*):** Oxigenadores alimentados por bateria que são acionados quando ocorre uma falta de energia para garantir que a oxigenação da água seja mantida.

**Internet:** Para esse cenário devem ser utilizados sensores que monitoram o parâmetro de oxigênio dissolvido, como especificado na Tabela 10 esse é o fator com efeitos mais drásticos em sistemas aquapônicos.

**Teste/Simulação:** Considerando a importância da oxigenação da água em sistemas aquapônicos, a simulação deve buscar mostrar o impacto da mudança de fonte de energia dos oxigenadores e assim buscar formas de otimizar o consumo de energia para garantir que eles funcionem por mais tempo.

### 5.5.4 Exemplos de Problemas Adicionais

Além dos problemas exemplificados anteriormente também podem-se listar alguns outros para a definição de cenários para as disciplinas que utilizem essa estratégia de ensino. A seguir são listados problemas acompanhados de uma breve descrição:

- **Como otimizar o controle de temperatura da água?**

A temperatura da água pode afetar todo o sistema aquapônico e deve ser controlada, de forma semelhante ao problema do controle de acionamento de bombas de água existe um espaço para otimizar o funcionamento de equipamentos relacionados a isso.

- **Como automatizar o controle de iluminação em ambientes fechados?**

O controle de iluminação é importante principalmente para a parte de hidroponia em sistemas aquapônicos, havendo uma oportunidade para investigar formas de automatizar o controle de iluminação artificial para alcançar melhores resultados.

- **Como otimizar o controle de umidade de substrato?**

Sistemas que utilizam substrato na parte hidroponia podem ser beneficiados de uma melhoria no controle de umidade, utilizando os sensores de umidade e realizando pesquisa para analisar padrões de mudança e como garantir que os níveis de umidade sejam mantidos em um intervalo ideal.

## 5.6 Análise de Cobertura

A validação da proposta de estratégia de ensino é do tipo análise de cobertura. Ou seja, tendo como base todas as possibilidades de sensoriamento apresentadas na Tabela 10, a Tabela 11 apresenta aquelas que são exploradas em cada marco. Com base nessa tabela o professor pode identificar se a estratégia definida cobre boa parte das necessidades de automação e simulação em sistemas de gerenciamento de aquaponia.

Marco	Coisas	Parâmetros de Simulação
1	Kit para automação da alimentação de peixes	Tempo, acionamento do mecanismo
2	Bomba de água	Fluxo, temperatura, nível
3	Oxigenadores	Oxigênio dissolvido

Tabela 11 – Análise de cobertura de parâmetros associados com elementos de IoT propostos na estratégia de ensino

Outra alternativa é o uso do Modelo de *Features*, marcando as características exploradas no Marco e até mesmo durante toda a disciplina, como ilustrado na Figura 17.

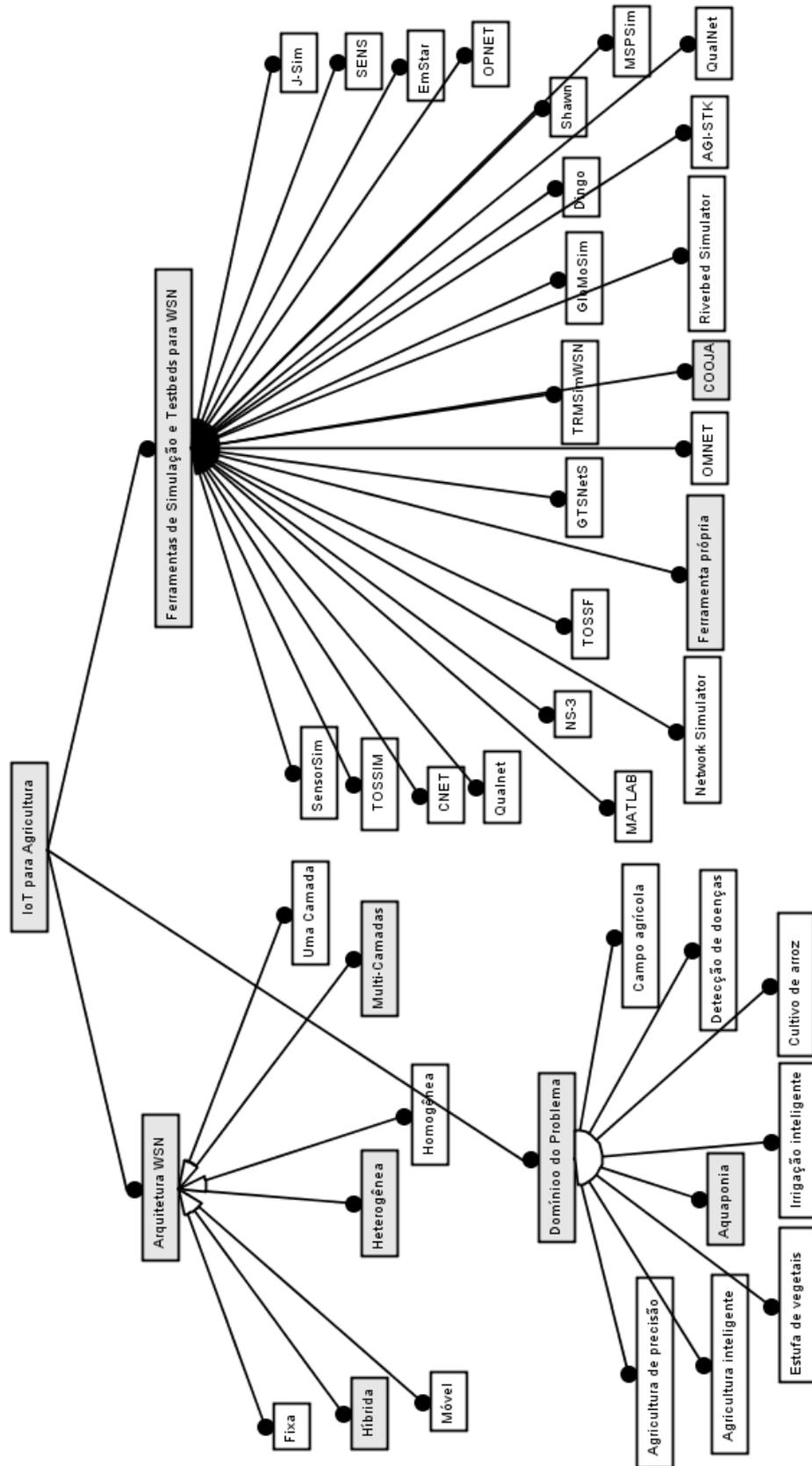


Figura 17 – Modelo de *Features* Contendo a Seleção das Características Utilizadas ao Longo da Disciplina de ABP

Fonte: A autora



## 6 CONCLUSÃO

A utilização de WSNs na agricultura tem se mostrado essencial para atender as demandas da área, porém a utilização de dispositivos físicos para a realização de testes se torna inviável pelo alto custo e impraticabilidade em alguns cenários educativos.

A literatura atual carece de estudos sobre o uso de simulações que caracterizem bem os problemas nos domínios de WSNs e agricultura. Ou seja, no geral, não são estudos prontos para utilização em disciplinas de ABP.

Os resultados encontrados no mapeamento levam a conclusão de que, apesar dos pontos levantados anteriormente, simulações não recebem atenção suficiente para a problematização dos domínios nas pesquisas conduzidas. Os 35 trabalhos discutidos têm caráter mais científico, são desenhados com o intuito de testar as soluções propostas em simulação, e negligenciam demonstrações conceituais de um ambiente completo de sensoriamento. Portanto, há espaço para estudos direcionados para demonstrações conceituais na área, o que é essencial para utilização em disciplinas construídas nos preceitos de ABP.

Por fim, sabe-se da necessidade de inovação na pesquisa de WSNs aplicada para agricultura. No entanto, os desafios se tornam ainda mais aparentes para a aplicação dessas simulações em um ambiente acadêmico. Portanto, o uso de ABP em conjunto com simulações oferece uma oportunidade para enriquecer a pesquisa na área.

Este trabalho busca investigar a forma como simulações de WSNs vem sendo utilizadas e o seu potencial para uso com a metodologia de ABP. A partir dos resultados obtidos durante a primeira etapa da pesquisa foi feita uma análise de possíveis ferramentas que poderiam ser utilizadas dentro das disciplinas de Resolução de Problemas, chegando a decisão de recomendar o uso do Cooja Simulator. A etapa final envolveu o desenvolvimento de uma estratégia de ensino que pode ser utilizada como guia para professores que desejem utilizar simulações de WSN em suas disciplinas, incluindo um exemplo de cenário onde a pesquisa pode ser aplicada e como organizar o semestre letivo em três marcos.

### 6.1 Trabalhos Futuros

A partir da estratégia de ensino definida no presente trabalhos existem alguns trabalhos futuros a serem desenvolvidos:

- Realizar uma avaliação da viabilidade da estratégia de ensino com especialistas.
- Aplicar a estratégia de ensino em uma disciplina utilizando a metodologia de ABP no domínio de aquaponia para avaliar o seu desempenho ao longo de um semestre. Já se executa tratativas com agente externo interessado em incubar o problema de automação da aquaponia com simulações de IoT na Embrapa de Dourados, Mato Grosso do Sul.

- Reexecutar o estudo de mapeamento sistemático incluindo o termo *analytical study* na *string* de busca para incluir estudos de simulação que tenham usado esse termo.
- Desenvolver um *guideline* para instanciação de estratégias de ensino que contemplem as três visões de ecossistemas de software (NETO et al., 2019): **1) Visão técnica**, contemplada neste TCC em termos de simulação; **2) Visão social**, que busca agregar elementos sociais em escopos de IoT, como mineração de redes sociais ou *web pages* em busca de dados que afetem fatores produtivos do domínio do problema, para sugerir reprogramação de microcontroladores por exemplo; e **3) Visão de negócios**, que busca identificar fatores de negócio e redes de colaboração dentro do domínio do problema, o que pode acarretar na inclusão de diferentes *softwares* que fazem uso dos dados que são trocados entre as redes de sensores.

## 6.2 Considerações Finais

Por fim, considera-se que este trabalho é bastante novo quanto à sua proposta. Ele busca mapear características técnicas de simulação, para o ensino-aprendizagem, em disciplinas de ABP, focadas em domínios que necessitam de implementações de WSN. Além disso, mapeia as características para uma temática também em constante demanda de pesquisa: A aplicação de simulação no contexto de IoT para a agricultura. Apesar de permitir derivar uma estratégia de ensino, este TCC não pode ser considerado como um *guideline*, uma vez que apresenta limitações e é focado em características mais técnicas. Tal limitação gera novas lacunas de pesquisa, com desafios para se identificar requisitos sociais e de negócio associados com diversos domínios de agricultura discutidos no estudo de mapeamento sistemático.

## REFERÊNCIAS

- ABUARQOUB, A. et al. A survey on wireless sensor networks simulation tools and testbeds. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2016. p. 283–302. ISBN 978-84-608-7705-9. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 34.
- AGRAWAL, H. et al. An improved energy efficient system for iot enabled precision agriculture. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 41.
- BANDUR, Đ. et al. An analysis of energy efficiency in wireless sensor networks (wsns) applied in smart agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 156, p. 500–507, 2019. Citado na página 38.
- BARRETT, T.; MOORE, S. **New approaches to problem-based learning: Revitalising your practice in higher education**. [S.l.]: Routledge, 2010. Citado na página 30.
- BASSO, F. P. Ras++: A dsl to systematize solutions for automated software engineering as reusable assets. In: **13th International Conference on Generative Programming: Concepts & Experiences (On Review)**. [s.n.], 2014. (GPCE'14). Disponível em: <<http://prisma.cos.ufrj.br/wct/articles/gpce14a.pdf>>. Citado na página 44.
- BAYRAKDAR, M. E. Employing sensor network based opportunistic spectrum utilization for agricultural monitoring. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, Elsevier, v. 27, p. 100404, 2020. Citado na página 38.
- BHANU, B. B.; HUSAIN, M. A.; MIRZA, M. A. A high throughput offering iot system for agriculture applications. 2020. Citado na página 38.
- CASTELLANOS, G. et al. System assessment of wusn using nb-iot uav-aided networks in potato crops. **IEEE Access**, IEEE, v. 8, p. 56823–56836, 2020. Citado na página 38.
- CHEN, Y. et al. A scalable context-aware objective function (scaof) of routing protocol for agricultural low-power and lossy networks (rpal). **Sensors**, v. 15, p. 34, 07 2015. Citado na página 38.
- DARGIE, W.; POELLABAUER, C. **Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice**. [S.l.]: Wiley Publishing, 2010. ISBN 0470997656, 9780470997659. Citado na página 27.
- DELISLE, R.; OLIVEIRA, V. **Como realizar a aprendizagem baseada em problemas**. [S.l.: s.n.], 2000. Citado na página 30.
- DHALL, R.; AGRAWAL, H. An improved energy efficient duty cycling algorithm for iot based precision agriculture. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 41.
- DOURADO, S. C. de Souza e L. Aprendizagem baseada em problemas (abp): Um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **HOLOS**, v. 5, n. 0, p. 182–200, 2015. ISSN 1807-1600. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 30.
- FAID, A.; SADIK, M.; SABIR, E. Iot-based low cost architecture for smart farming. In: **IEEE. 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)**. [S.l.], 2020. p. 1296–1302. Citado na página 38.

- FIALHO, D. et al. Emprego de simulações computacionais em problemas envolvendo agricultura: Um estudo de mapeamento sistemático. In: **Anais do III Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2021. p. 20–29. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/mssis/article/view/17256>>. Citado na página 22.
- FIALHO, D. et al. Um estudo exploratório do cooja para simulação de cenário em internet das coisas. In: **Anais da V Escola Regional de Engenharia de Software**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2021. p. 31–39. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/eres/article/view/18448>>. Citado na página 22.
- GIGLI, M.; KOO, S. **Internet of Things: Services and Applications Categorization Abstract**. 2011. Citado na página 25.
- GREWAL, D. S. A critical conceptual analysis of definitions of artificial intelligence as applicable to computer engineering. **IOSR Journal of Computer Engineering**, v. 16, n. 2, p. 9–13, 2014. Citado na página 26.
- IBRAHIM, H. et al. A high availability networked control system architecture for precision agriculture. **2018 International Conference on Computer and Applications (ICCA)**, p. 457–460, 2018. Citado na página 38.
- IQBAL, R.; BUTT, T. Safe farming as a service of blockchain-based supply chain management for improved transparency. 2020. Citado 4 vezes nas páginas 38, 40, 41 e 42.
- JAIN, J. K. A coherent approach for dynamic cluster-based routing and coverage hole detection and recovery in bi-layered wsn-iot. **Wireless Personal Communications**, v. 114, 09 2020. Citado na página 38.
- JIANG, X. et al. Energy efficient smart irrigation system based on 6lowpan: 4th international conference, icccs 2018, haikou, china, june 8-10, 2018, revised selected papers, part v. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2018. p. 308–319. ISBN 978-3-030-00017-2. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.
- KHAN, F.; KUMAR, D. Ambient crop field monitoring for improving context based agricultural by mobile sink in wsn. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.
- KHAN, S.; PATHAN, A.-S. K.; ALRAJEH, N. A. **Wireless Sensor Networks: Current Status and Future Trends**. 1st. ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Inc., 2016. ISBN 1138199877, 9781138199873. Citado 3 vezes nas páginas 21, 27 e 28.
- KHELIFI, F. Monitoring system based in wireless sensor network for precision agriculture. In: \_\_\_\_\_. **Internet of Things (IoT): Concepts and Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 461–472. ISBN 978-3-030-37468-6. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-030-37468-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37468-6_24)>. Citado 4 vezes nas páginas 38, 39, 41 e 42.
- LAVANYA, G.; RANI, C.; GANESHKUMAR, P. An automated low cost iot based fertilizer intimation system for smart agriculture. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, Elsevier, v. 28, p. 100300, 2020. Citado na página 38.

- LEVIS, P. et al. Tossim: Accurate and scalable simulation of entire tinyos applications. In: **Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003. (SenSys '03), p. 126–137. ISBN 1581137079. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/958491.958506>>. Citado na página 54.
- LINSNER, S.; VARMA, R.; REUTER, C. Vulnerability assessment in the smart farming infrastructure through cyberattacks. In: MEYER-AURICH, A. et al. (Ed.). **39. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich?** Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2019. p. 119–124. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.
- MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of things (iot): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, v. 3, p. 164–173, 04 2015. Citado na página 25.
- MAHALAKSHMI, J. et al. Iot sensor-based smart agricultural system. In: SUBRAMANIAN, B.; CHEN, S.-S.; REDDY, K. R. (Ed.). **Emerging Technologies for Agriculture and Environment**. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 39–52. ISBN 978-981-13-7968-0. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.
- MUKHERJEE, A. et al. Distributed aerial processing for iot-based edge uav swarms in smart farming. **Computer Networks**, Elsevier, v. 167, p. 107038, 2020. Citado na página 38.
- MUSAAZI, K.; BULEGA, T.; LUBEGA, S. Energy efficient data caching in wireless sensor networks: A case of precision agriculture. In: . [S.l.: s.n.], 2014. p. 154–163. ISBN 978-3-319-16885-2. Citado na página 38.
- NANDHINI, A. et al. Web enabled plant disease detection system for agricultural applications using wmsn. **Wireless Personal Communications**, 12 2017. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.
- NETO, V. V. G. et al. Model-driven engineering ecosystems. In: **SESoS-WDES '19: Proceedings of the 7th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 13th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 58–61. Citado na página 64.
- NETO, V. V. G. et al. Simulation of software architectures of smart ecosystems: Theory and practice (short paper). In: HEINRICH, R.; MIRANDOLA, R.; WEYNS, D. (Ed.). **ECSA 2021 Companion Volume, Virtual (originally: Växjö, Sweden), 13-17 September, 2021**. CEUR-WS.org, 2021. (CEUR Workshop Proceedings, v. 2978). Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-2978/tutorial-paper8.pdf>>. Citado na página 35.
- NICOLAE, M. et al. Large scale wireless sensor networks based on fixed nodes and mobile robots in precision agriculture. In: ASPRAGATHOS, N. A.; KOUSTOUMPARDIS, P. N.; MOULIANITIS, V. C. (Ed.). **Advances in Service and Industrial Robotics**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 236–244. ISBN 978-3-030-00232-9. Citado na página 38.

OJHA, T.; MISRA, S.; RAGHUWANSHI, N. S. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. **Computers and electronics in agriculture**, Elsevier, v. 118, p. 66–84, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.

OJHA, T.; MISRA, S.; RAGHUWANSHI, N. S. Sensing-cloud: Leveraging the benefits for agricultural applications. **Computers and electronics in agriculture**, Elsevier, v. 135, p. 96–107, 2017. Citado na página 38.

ONU, N. U. **UN calls for urgent action to feed the world's growing population healthily, equitably and sustainably**. 2021. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2021/04/un-calls-for-urgent-action-to-feed-the-worlds-growing-population-healthily-equitably-and-sustainably/>>. Citado na página 21.

PALM, H. W. et al. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. **Aquaculture international**, Springer, v. 26, n. 3, p. 813–842, 2018. Citado na página 30.

PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. **Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**, v. 17, 06 2008. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 35.

PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and Software Technology**, v. 64, p. 1 – 18, 2015. ISSN 0950-5849. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584915000646>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 43.

RASHID, B.; REHMANI, M. H. Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 60, p. 192 – 219, 2016. ISSN 1084-8045. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804515002702>>. Citado na página 28.

SHAMSHIRI, R. R. et al. Model-based evaluation of greenhouse microclimate using iot-sensor data fusion for energy efficient crop production. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 263, p. 121303, 2020. Citado na página 38.

SHINGHAL, D.; SRIVASTAVA, N. et al. Wireless sensor networks in agriculture: for potato farming. **Neelam, Wireless Sensor Networks in Agriculture: For Potato Farming (September 22, 2017)**, 2017. Citado na página 21.

SHIPU, X. et al. Research on wsn routing algorithm for vegetable greenhouse. In: . [S.l.: s.n.], 2018. p. 37–42. ISBN 978-1-4503-6485-0. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 42.

SOBEIH, A. et al. J-sim: a simulation and emulation environment for wireless sensor networks. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 13, n. 4, p. 104–119, 2006. Citado na página 57.

STEWART, J.; STEWART, R.; KENNEDY, S. Dynamic iot management system using k-means machine learning for precision agriculture applications. In: **Proceedings of the Second International Conference on Internet of Things, Data and Cloud Computing**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (ICC

'17). ISBN 9781450347747. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3018896.3036385>>. Citado na página 38.

TANAKA, K. et al. Low delay data gathering method for rice cultivation management system: Iot specialized outdoor communication procedure. In: . [S.l.: s.n.], 2018. p. 139–143. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 41.

THAKUR, D. et al. Applicability of wireless sensor networks in precision agriculture: A review. **Wireless Personal Communications**, Springer, v. 107, n. 1, p. 471–512, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 28.

TROTТА, A. et al. Bee-drones: Ultra low-power monitoring systems based on unmanned aerial vehicles and wake-up radio ground sensors. **Computer Networks**, Elsevier, v. 180, p. 107425, 2020. Citado na página 38.

UDDIN, M. A. et al. Affordable broad agile farming system for rural and remote area. **IEEE Access**, v. 7, p. 127098–127116, 2019. Citado na página 38.

UDDIN, M. A. et al. Agriculture internet of things: Ag-iot. In: **2017 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 41.

UDDIN, M. A. et al. Uav-assisted dynamic clustering of wireless sensor networks for crop health monitoring. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 18, n. 2, February 2018. ISSN 1424-8220. Citado na página 38.

VELINOV, A.; MILEVA, A. Running and testing applications for contiki os using cooja simulator. 2016. Citado na página 50.

WANG, K. I.-K. et al. Lws: A lorawan wireless underground sensor network simulator for agriculture applications. In: **2019 IEEE (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 475–482. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.

WIERINGA, R. et al. Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion. **Requir. Eng.**, v. 11, n. 1, p. 102–107, dec 2005. Citado na página 42.

WU, H. et al. Directional sensor placement in vegetable greenhouse for maximizing target coverage without occlusion. **Wireless Networks**, v. 26, 05 2020. Citado na página 38.

WU, S. et al. Long range wide area network for agricultural wireless underground sensor networks. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, Springer, p. 1–17, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.

YANES, A. R.; MARTINEZ, P.; AHMAD, R. Towards automated aquaponics: A review on monitoring, iot, and smart systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, p. 121571, 2020. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620316188>>. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 48.

YASSINE, S.; FATIMA, L. et al. Dynamic cluster head selection method for wireless sensor network for agricultural application of internet of things based fuzzy c-means clustering algorithm. In: IEEE. **2019 7th Mediterranean Congress of Telecommunications (CMT)**. [S.l.], 2019. p. 1–9. Citado na página 38.

ZHANG, M.; XIONG, S.; WANG, L. Sensor-cloud based precision sprinkler irrigation management system. In: . [S.l.: s.n.], 2019. Citado 4 vezes nas páginas 38, 40, 41 e 42.

**ÍNDICE**

ABP, 21–23, 25, 30, 47, 54, 57, 63, 64

IoT, 23, 25, 36, 38, 39, 44, 47, 48, 53, 57,  
63, 64

TCC, 11, 22, 23, 31, 57, 64

UNIPAMPA, 21

WSN, 19, 21–28, 31–36, 38, 39, 47, 48,  
50, 57, 63, 64